



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



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

Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica
Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico



ZONIFICACIÓN SÍSMICA – GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE PAITA

Lima - Perú
2019

Instituto Geofísico del Perú

Presidente Ejecutivo: Hernando Tavera

Director Científico: Danny Scipion

Autores

Isabel Bernal

Caracterización Sísmica y Geofísica de la ciudad de Paita

Juan Carlos Gomez

Caracterización Geológica y Geotécnica de la ciudad de Paita

Equipo de Evaluación Geológica y Geotécnica: Mariana Vivanco

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

Personal de apoyo: Augusto Cárdenas / Roberth Yupanqui

Personal administrativo: Marisol Enriquez

Este Informe ha sido producido por:

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

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

Distrito de Paita – Provincia de Paita – Región Piura

RESUMEN

En el marco del Programa Presupuestal por Resultados N°068: Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres se ejecutó el proyecto “Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica”, el mismo que tuvo como una de sus actividades la “Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico” obteniéndose como resultado final, la Zonificación Sísmica - Geotécnica de las áreas urbanas de las ciudades/localidades de Piura (distrito de Piura), Castilla (distrito de Castilla), Sullana (distrito de Sullana), Paita (distrito de Paita), Chulucanas (distrito de Chulucanas), Catacaos (distrito de Catacaos), Sechura y Parachique (distrito de San Luis). Estos estudios permiten conocer el Comportamiento Dinámico de los Suelos a partir de la recolección de datos de campo utilizando técnicas geofísicas, sísmicas, geológicas y geotécnicas.

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

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

ÍNDICE

RESUMEN

ÍNDICE

PARTE 1: Presentación

1. Introducción
 - 1.1. Objetivo
 - 1.2. Historia
 - 1.3. Accesibilidad y clima
 - 1.4. Economía
 - 1.5. Estudios Previos

2. Condiciones locales de sitio
 - 2.1. La Norma Técnica E.030

Conclusiones y Recomendaciones

PARTE 2: Caracterización geológica y geotécnica de la ciudad de Paita

PARTE 3: Caracterización sísmica y geofísica de la ciudad de Paita

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS: Documentos y anexos se adjunta en un CD.

1. INTRODUCCIÓN

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

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

De acuerdo a la historia sísmica del Perú, la región norte-centro ha sido afectada en varias oportunidades por eventos sísmicos de variada magnitud que han generado altos niveles de intensidad, puesta en evidencia con los daños observados post-sismo en la región de Piura (Silgado, 1978; Tavera et al. 2016). Al ser los sismos cíclicos, es de esperarse que, en el futuro, las mismas ciudades y/o áreas urbanas sean afectadas por nuevos eventos sísmicos con la misma o mayor intensidad. Entonces, no es tan importante el tamaño del sismo, sino la intensidad del sacudimiento del suelo, la educación de la población y la calidad de las construcciones.

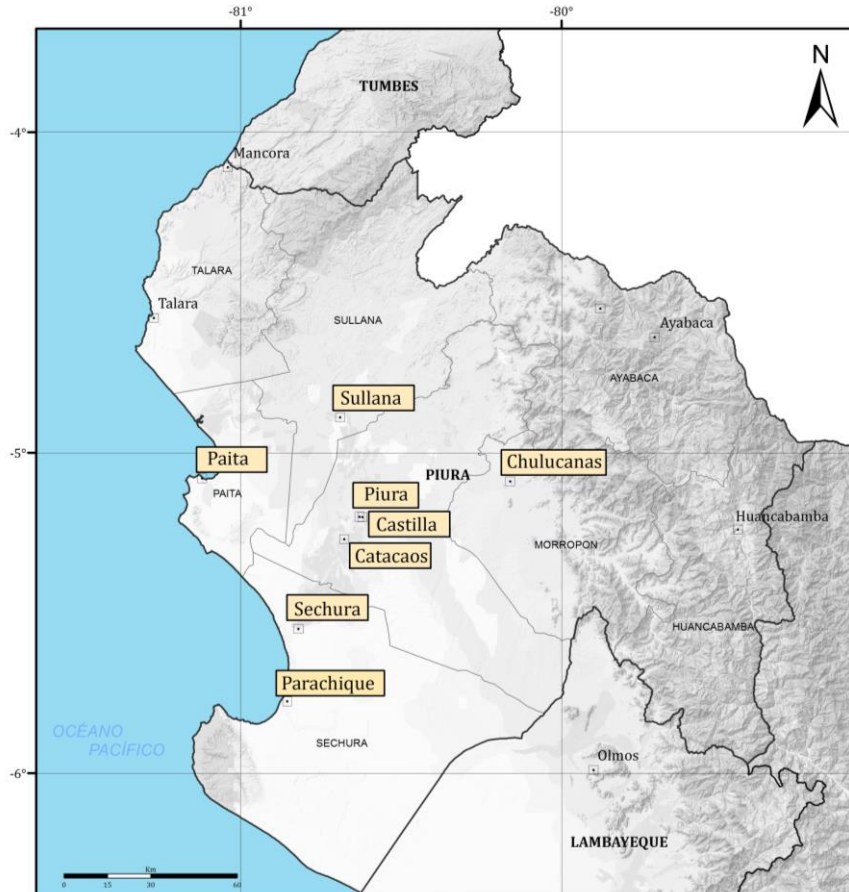


Figura 1: Distribución espacial de las ciudades intervenidas durante el año 2018: Zonificación Sísmica – Geotécnica de suelos.

Los estudios de Zonificación Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo), permitirán tener mayor conocimiento sobre las características dinámicas del suelo sobre el cual se levantan las ciudades y/o futuras áreas de expansión. Para ello se realiza la aplicación de diferentes metodologías que consideran datos sísmicos, geofísicos, geológicos y geotécnicos. Los resultados que se obtienen permiten comprender que no hay suelo malo y que solamente se debe considerar el diseño y la construcción de viviendas y estructuras apropiadas para cada tipo de suelo. Dentro de este contexto, la población de la localidad de Paita debe comprender que existen tres (3) reglas para construir una casa sismorresistente (www.acerosarequipa.com):

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

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

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

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

1.1. Objetivo

El principal objetivo a cumplir en este estudio es obtener el mapa de Zonificación Sísmica - Geotécnica para la ciudad de Paita, provincia de Paita, 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

Los antecedentes históricos señalan que el nombre Paita se debe al Cacicazgo de los Payta, una nación ancestral que existió también en la época pre-inca y que su último gobernante fue el cacique de Payta. Según el paleontólogo Edgar Herning (1960), desde hace 9000 años ya existían pueblos primitivos de la costa como Colán, Payta y Amotape 5.

La historia económica y social de este puerto señala que Paita fue el punto de vínculo del norte con el tráfico naval regional y Lima. Según Glave (1991), no existe una consistente historiografía del puerto y no hay ningún estudio sistemático de Paita; sin embargo, a nivel macro social la actividad portuaria fue uno de los centros de sustento de la actividad económica y de las zonas sujetas a su radio de acción directa, así como a su contribución a la economía piurana y del país. A nivel regional, se destaca el nexo entre su dinámica económica-social y las articulaciones espaciales que generaba la actividad

portuaria; mientras que, a nivel micro social destacaba la relación entre economía y sociedad del puerto, lo que permitió en esas épocas que los grupos indígenas de entonces facilitaron las relaciones comerciales al interior de los mercados coloniales.

De acuerdo a los hallazgos de Glave (1991), entre los siglos XVI – XVII; la sociedad nativa fue incorporada en el mercado colonial como abastecedora de insumos, tecnología, modos de cooperación social y mano de obra para el funcionamiento de las redes de circulación más vitales del sistema económico y político colonial; mientras que, entre los siglos XVIII – XIX, se desarrolló un deterioro y erosión de las formas de resistencia económica manifestada en inculturación económica, fragmentación política y homogenización social. Como resultado de este proceso, los nativos devinieron en pescadores, arrieros, peones o campesinos amestizados; inmersos en una actividad portuaria que empobrecía progresivamente (Meca, 2013).

En la actualidad, Paita se encuentra habitado por 87,979 personas (INEI, 2017), que representa el 67.7% del total de habitantes establecidos en la provincia del mismo nombre. Estas cifras permiten estimar una densidad poblacional del distrito de 115.4 hab/km² (Figura 2).



Figura 2: Plaza principal de la ciudad de Paita.

Asimismo, se debe mencionar que el distrito de Paita es uno de los siete que conforman la provincia peruana de Paita, bajo la administración del Gobierno Regional de Piura. Este distrito limita por el norte con el Balneario de Colán; al este con el distrito de La Huaca; al sur con la provincia de Piura y Sechura; y por el oeste con el Océano Pacífico. En la Figura 3 se muestra la ubicación geográfica de la ciudad de Paita.

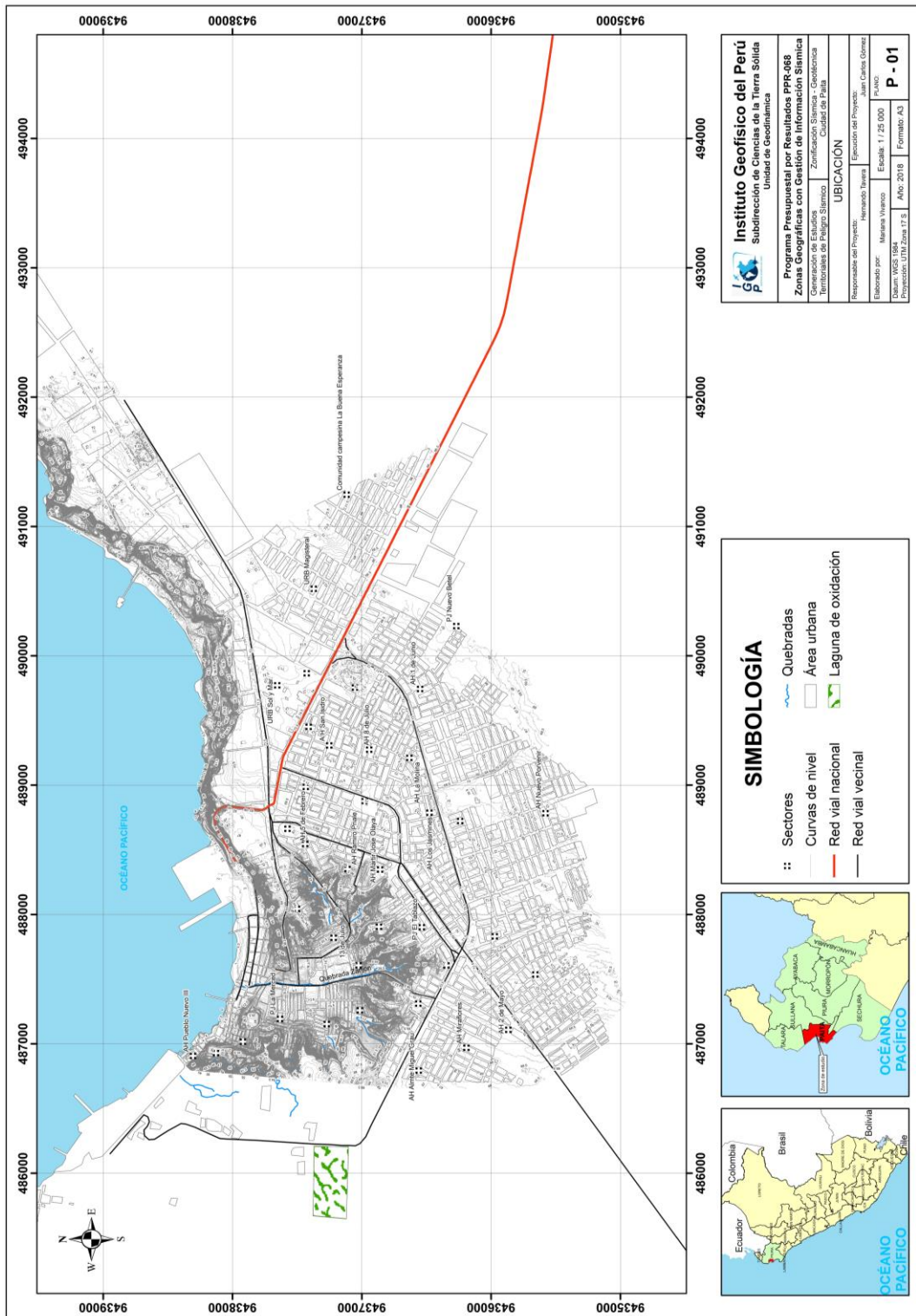


Figura 3: Mapa de ubicación geográfica de la ciudad de Paita

1.3. Accesibilidad y Clima

La accesibilidad hacia la ciudad de Paita desde la ciudad de Lima se realiza por vía terrestre a través de la carretera Panamericana Norte en un recorrido aproximado de 1000 km en un tiempo de 16 horas, luego se continua por la carretera Interoceánica Norte con un recorrido aproximado de 50 km en un tiempo de 30 min.

Para determinar las condiciones climáticas en la ciudad de Paita se ha tomado los datos de la estación meteorológica “La Esperanza” de la web del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Tal estación se ubicada a 18 km al noreste de la ciudad de Paita en las coordenadas geográficas; Latitud: 4° 55' 16.09", Longitud: 81° 3' 34.89" y cota 7 m.s.n.m. Según la información registrada en la estación (periodo 2012-2018), la ciudad presenta un clima cálido en los meses de verano (Diciembre-Mayo) con una temperatura máxima de 34.5 ° C y en invierno (Junio-October), temperatura mínima de 14.8 °C. Durante los eventos Niño la temperatura puede aumentar de 2 °C a 4°C (Figura 4 y Tabla 1a).

Las precipitaciones en la ciudad de Paita, en promedio se encuentran entre 1 mm a 38 mm (acumulada mensual) en condiciones climáticas normales (periodo 2012-2018). Según el Centro de Operaciones de Emergencia del Gobierno Regional, en los Eventos Niño se han registrado precipitaciones de 910,8 mm (Niño 1983) y lluvias diarias máximas entre 70 a 100 mm (Niño, 1997-1998). Por otro lado, en el Evento Niño del año 2017, se registró una acumulación mensual de precipitaciones de 198.40 mm, teniendo como precipitación máxima diaria de 65.9 mm (Tabla 1b).

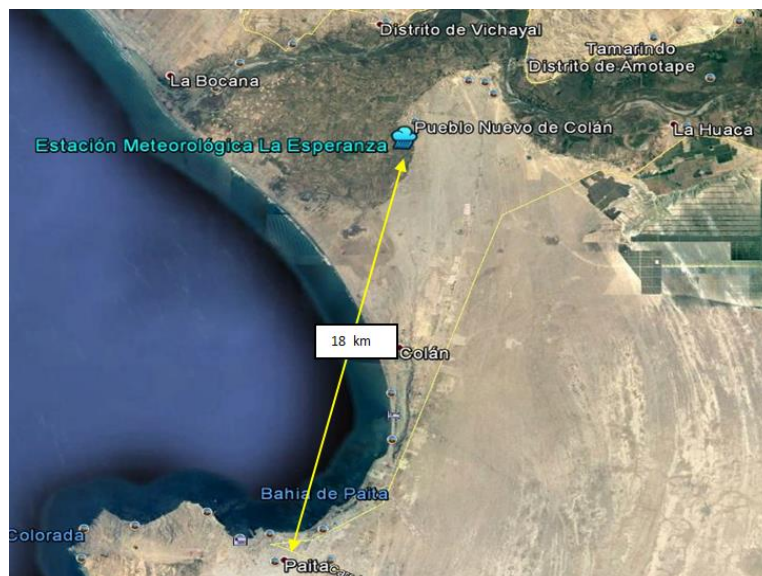


Figura 4: La estación meteorológica La Esperanza se ubica a 18 km al noreste de la ciudad de Paita.

Tabla 1: Datos recopilados de la estación meteorológica La Esperanza para el periodo 2012-2018 (SENAMHI, 2018). a) Temperaturas máximas y mínimas: la celda roja indica la temperatura máxima; mientras que, la celda amarilla la mínima. b) Precipitación mensual acumulada: la celda roja indica el mayor valor registrado en el mes de febrero del 2017 (Evento del Niño). SD indica la no disponibilidad de datos.

Meses		Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre		
		TMax(°C)	TMin(°C)	TMax(°C)	TMin(°C)	TMax(°C)	TMin(°C)	TMax(°C)	TMin(°C)	TMax(°C)	TMin(°C)	TMax(°C)	TMin(°C)	TMax(°C)	TMin(°C)	TMax(°C)	TMin(°C)	TMax(°C)	TMin(°C)	TMax(°C)	TMin(°C)	TMax(°C)	TMin(°C)	TMax(°C)	TMin(°C)	
2012	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	
2013	31.20	20.60	33.80	19.70	32.70	20.20	31.70	18.00	S.D	S.D	S.D	S.D	28.50	15.60	27.9	14.8	27.4	15.00	28.2	17.90	28.8	S.D	28.9	19.10	30.20	16.00
2014	32.40	20.50	33.20	20.30	32.80	20.70	32.20	20.00	32.60	21.70	32.40	19.10	32.40	19.10	29.7	16.7	31.2	15.70	30.4	15.70	27.4	16.5	26.3	15.00	31.10	17.00
2015	31.90	21.00	32.80	21.90	33.30	23.00	33.80	21.50	32.90	21.10	30.60	18.90	30.60	18.90	29.6	17.7	29.3	17.00	30.5	18.50	29.7	19	31.6	16.70	31.60	20.10
2016	33.20	22.20	34.50	23.50	34.50	22.80	33.50	19.80	33.00	19.40	30.30	17.80	30.30	17.80	28.7	17.2	30.1	15.50	30.7	17.00	29.5	14.8	30.2	12.00	S.D	S.D
2017	32.80	20.10	33.10	23.10	33.20	23.50	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	28.5	16.30	28.4	15.20	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D
2018	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	26.6	15.00	28.8	15.00	28.8	15.00	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D

Meses		Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre		
		Precipitación (mm)	Precipitación (mm)	Precipitación (mm)	Precipitación (mm)	Precipitación (mm)	Precipitación (mm)	Precipitación (mm)	Precipitación (mm)	Precipitación (mm)	Precipitación (mm)	Precipitación (mm)	Precipitación (mm)	Precipitación (mm)	Precipitación (mm)	Precipitación (mm)	Precipitación (mm)	Precipitación (mm)	Precipitación (mm)	Precipitación (mm)	Precipitación (mm)	Precipitación (mm)	Precipitación (mm)	Precipitación (mm)	Precipitación (mm)	
2012	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	
2013	0.00	0.50	63.70	1.50	8.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	N.P	N.P	0.00	0.00	N.P	N.P	
2014	N.P	N.P	2.30	1.10	4.40	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P
2015	1.90	N.P	20.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	N.P	N.P	0.20	0.00	0.70	0.70	
2016	1.90	5.00	38.00	3.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	N.P	
2017	10.50	124.40	198.40	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	
2018	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D	

1.4. Economía

Según el INEI (2007), la principal actividad económica del distrito de Paita, es la actividad comercial, siendo el 27% del total de la población económicamente activa (PEA): vendedores y comerciantes. En segundo lugar, se tiene la actividad pesquera con un valor de 20% de la PEA; y a los empleados de las industrias manufactureras, siendo un 20% del total de la PEA.

1.5. Estudios previos

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

- Mapa de Peligros, plan de usos de suelos y plan de mitigación de los efectos producidos por los desastres naturales en la ciudad de Paita (PNUD-2000). Este documento describe las características físicas, geomorfológicas, geológicas y geodinámicas de los sectores denominados Paita Baja (malecón de Paita) y Paita Alta (nuevas urbanizaciones). Asimismo, menciona que la ciudad de Paita, dentro de la Zonificación Sísmica del Perú, se encuentra ubicado en la Zona I, considerada de alta sismicidad y que cinco sismos de moderada magnitud han ocurrido en el área de estudio en los años 1912 (mayor intensidad), 1928, 1940, 1953 y 1968, de los cuales no hay evidencia escrita de reporte de daños. Del mismo modo, señala que en la costa de Paita no se tiene conocimiento de eventos de tsunami (olas generadas por sismos ocurridos cerca a las costas).
- INGEMMET “Riesgo Geológico en la Región Piura” (2013). En este estudio, se considera a Paita como un acuífero poroso no consolidado presente en las zonas denominadas tablazos. Estos materiales tienen características permeables y semipermeables, ya que están conformadas por conglomerados poco consolidados con cantos esporádicos de gravas y cantos rodados angulosos en matriz arenosa y salina. El componente permeable y semipermeable da lugar a zonas de aniego y bofedales temporales. Según la caracterización hidrogeológica de la región Piura, los acuíferos más importantes son los que engloban acuíferos de tipo libre semiconfinado y confinado, encontrándose en la parte baja, en la

llanura desértica. Están constituidos por materiales rocosos Pliocuaternarios de características detríticas y permeables (mixturas de arenas, arcillas, margas con restos de conchas, otros organismos marinos, gravas y depósitos evaporíticos) que cubren las zona de Sechura, Paita, y extensos campos de la provincia de Sullana, Piura, Talara, Chulucanas. Por otro lado, las unidades hidrogeológicas con mayor contenido de agua son más susceptibles a movimientos en masa (flujos de detritos y lodo, derrumbes, erosión de laderas), influyendo el material impermeable que impide el paso de las corrientes de agua subterráneas.

- CENEPRED “Evaluación de Riesgo por inundaciones de Paita”. Este menciona que la bahía de Paita esta expuesta a inundaciones provocados por el FEN, tsunamis, licuación de suelos y a derrumbes de los acantilados que no tienen estabilización de taludes y a escorrentías de desagües de la zona industrial, que es un distrito bastante antiguo con edificaciones en la parte histórica monumental de más de 100 años y actualmente de gran importancia económica por su actividad portuaria. Asimismo, el fenómeno de El Niño Costero en febrero y marzo del 2017 produjo inundaciones que causaron daños a la población e infraestructuras, así como los eventos de gran intensidad de los años de 1925-26, 1982-83 y 1998-99. En el aspecto físico, Paita Alta es del tipo desierto costero llamado Tablazo, es escaso en relieves y cubiertos de arena eólica; mientras que, Paita Baja es una cuenca rodeada de cerros empinados. En el tema de drenajes, Paita Baja presenta un sistema pluvial que confluyen en el dren El Zanjón; por otro lado, en Paita Alta, en el sector del Tablazo, la red de drenaje es escasa y en épocas lluviosas se forman microcuencas ciegas. Las quebradas presentes, en la zona de estudios, son Nueva Esperanza, La Piscina, La Catarata, Villa Naval y El Zanjón, estas se reactivan en épocas de intensas precipitaciones pluviales. Las aguas subterráneas, en la zona de estudio, no constituyen un recurso aprovechable y los tipos de suelos que se han encontrado son suelos expansivos, aquellos que contienen arcillas muy plásticas que se contraen cuando se secan y se expanden cuando se humedecen. Estos suelos se presentan en las pendientes de los cerros, donde existe las zonas de formación de cárcavas. Por otro lado, los suelos colapsables, aquellos que contienen sales y sulfatos conglomerados con carbonatos y solubilizan con el incremento de humedad, se presentan en el Tablazo, Paita Alta, La Punta y el A.H. Puerto Nuevo.

2. CONDICIONES LOCALES DE SITIO

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

Las condiciones locales de sitio son evaluadas en los estudios de Zonificación Sísmica - geotécnica y el resultado es considerado como una de las herramientas más importantes para minimizar los daños producidos por los sismos. La finalidad es evaluar el comportamiento dinámico de los suelos (CDS), teniendo en cuenta que la intensidad de las sacudidas sísmicas varía considerablemente a distancias cortas y áreas pequeñas. Diversos estudios muestran, que los suelos ante la incidencia de ondas sísmicas asociadas a movimientos débiles y/o fuertes, responden de acuerdo a sus condiciones locales, pudiendo estos modificar el contenido frecuencial de las ondas y/o generar amplificaciones de las ondas sísmicas (Hartzell, 1992; Beresnev et al., 1995; Bard 1995; Lermo y Chávez-García, 1993, 1994 a, b; Bard y Sesame, 2004; Bernal, 2002), ver Figura 5.

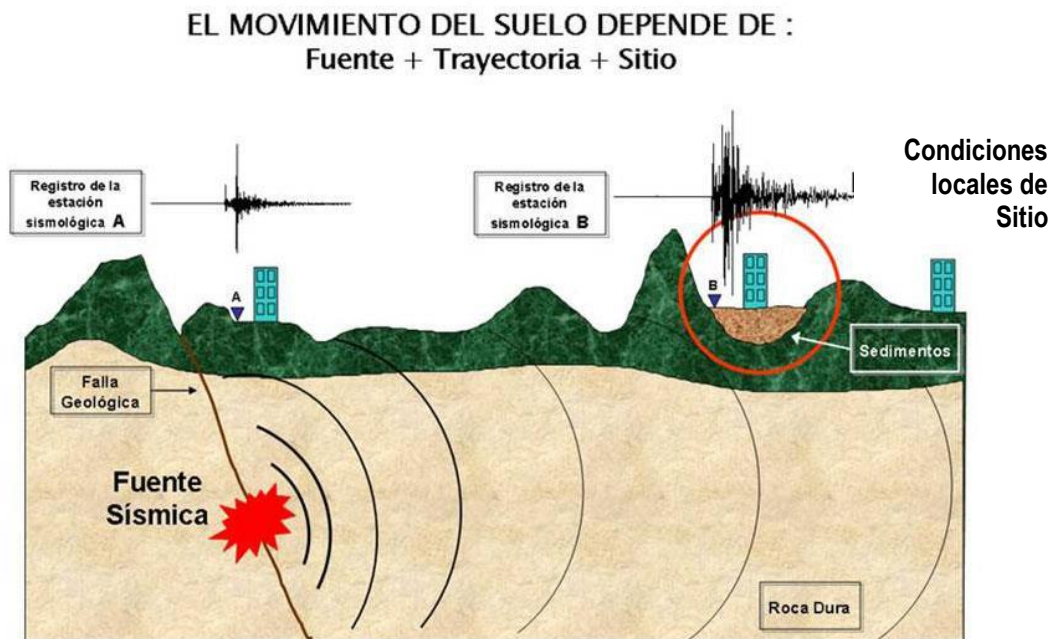


Figura 5: Las condiciones locales de sitio controlan la amplificación del sacudimiento del suelo, puesto en evidencia con la amplitud del registro sísmico obtenido sobre roca y sedimentos.

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

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

2.1. La Norma Técnica E.030

En el Perú, la construcción de obras civiles de cualquier envergadura debe considerar la Norma Técnica E.030 “Diseño Sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones, modificada según Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda. Básicamente, esta norma considera los perfiles de suelos en función de sus propiedades mecánicas, tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte (V_s), o alternativamente, para suelos granulares, considera el promedio ponderado de los N60 obtenidos mediante un ensayo de penetración estándar (SPT), o el promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada S_u para suelos cohesivos. Se estable 5 perfiles (Tabla 2):

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

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

Perfil	V_{s30} (m/s)	Descripción
S₀	> 1500	Roca dura
S₁	500 a 1500	Roca o suelo muy rígido
S₂	180 a 500	Suelo medianamente rígido
S₃	< 180	Suelo blando
S₄	Clasificación basada en el EMS	Condiciones Excepcionales

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

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

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

Dónde:

d_i = espesor de cada uno de los estratos n .

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

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

ZONA I: Zona conformada por estratos de grava coluvial-eluvial que se encuentran a nivel superficial o cubiertos por un estrato de material fino de poco espesor. Este suelo tiene comportamiento rígido con periodos de vibración natural determinados por las mediciones de microtrepidaciones (registros de vibración ambiental) que varían entre 0.1 y 0.3 s, con velocidad de las ondas de corte (V_s)

varía entre 500 y 1500 m/s. Corresponden a suelos Tipo S1 de la norma sismorresistente peruana.

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

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

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

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

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

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

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

Conclusiones

- En la localidad de Paita se han identificado 06 unidades geomorfológicas que corresponden a colina, loma, tablazo, terraza marina, playa y acantilado, la población del área de estudio se asienta sobre la terraza marina que corresponde al sector de Paita Baja (casco antiguo) y en el tablazo se desarrollan las nuevas poblaciones e industrias pesqueras, sector que es conocido comúnmente como Paita Alta.
- Los eventos geodinámicos que afectan la seguridad física de la población de Paita son: Inundaciones fluviales que ocurren en el sector de Paita Baja en parte del centro cívico (plaza de armas, municipalidad) y zonas aledañas por el desborde de la quebrada el Zanjón en épocas de ocurrencia de eventos Niño; inundaciones pluviales que ocurren en el sector de Paita Alta debido a las precipitaciones extremas producto de los eventos Niño y las características del terreno (depresiones mínimas) a las cual se les denomina cuencas ciegas; y los flujos de lodo que descienden por las quebradas en épocas de precipitaciones extremas (evento Niño) que confluyen a la quebrada principal El Zanjón, en el 2017 Paita se vio afectada con la ocurrencia de los eventos mencionaos anteriormente producto de las ocurrencia del evento Niño.
- Se identificó zonas susceptibles a caídas de rocas en la parte superior al suroeste de Paita Baja, lugar donde se están emplazando nuevos asentamientos urbanos, los bloques meteorizados pueden desprenderse y afectar a los Asentamientos humanos de Paita Baja (San Martín Occidente, PJ La Merced, PJ San Pedro).
- Los suelos sobre los cuales se asienta la localidad de Paita corresponden a arenas pobremente graduadas (SP), arenas limosas (SM), arenas arcillosas (SC) y limos (ML y MH) de baja y alta compresibilidad, respectivamente. Los suelos tipo SM se ubican en el sector de Paita Alta de capacidad portante baja a media. Suelos tipo ML de baja compresibilidad, MH de alta compresibilidad y SC se

ubican en Paita Baja y presentan valores de capacidad portante muy bajos (inferiores a la unidad) entre 0.86 Kg/cm². a 0.38 Kg/cm².

- Los resultados obtenidos para el área urbana de Paita a partir de sus características físicas y dinámicas del suelo, han permitido identificar, de acuerdo a las consideraciones indicadas en la Norma de Construcción Sismorresistente E-030, la existencia de suelos de Tipo S2, S3 y S4, como parte del Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica para la ciudad de Paita (Figura 6).

Recomendaciones

Es necesario tener en cuenta las zonas con presencia de nivel freático (San Martín Central) que, ante la ocurrencia de un sismo, puede presentarse licuación de suelos y afectar las infraestructuras físicas asentadas en el mismo. Así, como diseñar obras de ingeniería (drenes, canales, entre otros) en la Quebrada el Zanjón y avenida San Francisco, de manera que al ocurrir eventos extremos (Niño), el flujo hídrico y de lodo no generen inundación en el centro cívico, calles aledañas y centros educativos.

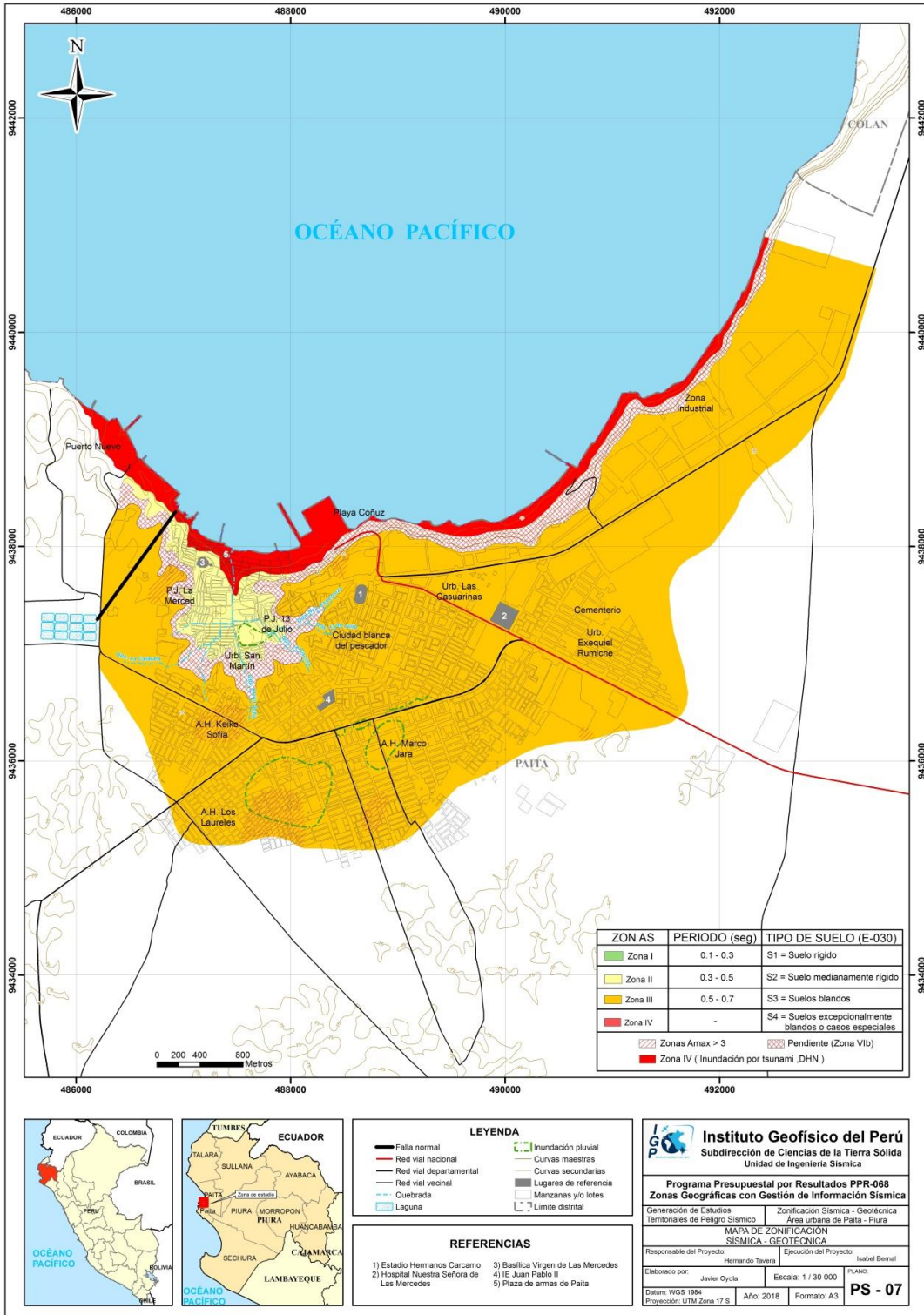


Figura 6: Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica para la ciudad de Paita.

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

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
 - 2.3.1. Colinas
 - 2.3.2. Lomas
 - 2.3.3. Tablazo
 - 2.3.4. Terraza marina
 - 2.3.5. Playa
 - 2.3.6. Acantilado

3. GEOLOGÍA

- 3.1. Geología regional
 - 3.1.1. Geología histórica
- 3.2. Geología local
 - 3.2.1. Indiviso (Pi)
 - 3.2.2. Formación Chira Verdum (Te-chv)
 - 3.2.3. Formación Miramar (Tm-m)
 - 3.2.4. Formación Tablazo Talara (Qp-tt)
 - 3.2.5. Depósitos de playa (Qr-ml)

4. GEODINÁMICA

- 4.1. Procesos de geodinámica interna
- 4.2. Procesos de geodinámica externa
 - 4.2.1. Inundación
 - 4.2.2. Flujo de lodo
 - 4.2.3. Caída de rocas

5. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

- 5.1. Exploraciones a cielo abierto (Norma ASTM D420)
- 5.2. Densidad del suelo in-situ (Norma ASTM D1556)
- 5.3. Exploraciones con posteadora manua (Norma ASTM D1452)

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

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

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

5.6.1. Capacidad de carga admisible

CONCLUSIONES

1. METODOLOGÍA

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

- ✓ **Gabinete I:** Las actividades realizadas incluyeron la revisión e Interpretación de imágenes satelitales de la zona de Paita, obtenidas del servidor Sasplanet y del servidor Google Earth con la finalidad de delimitar el área de estudio. Asimismo, se realiza la recopilación de información bibliográfica de la zona a escala regional y local (boletines geológicos, informes técnicos, entre otros).
- ✓ **Campo I:** Se realizó el reconocimiento de eventos geodinámicos y la delimitación de las unidades geomorfológicas y geológicas a escalas relacionadas a las inundaciones fluviales (Paita Baja); así como pluviales (Paita Alta). Asimismo, se identificaron zonas para realizar las exploraciones geotécnicas (calicatas, DPL y posteos).
- ✓ **Campo II:** Elaboración de ensayos geotécnicos de acuerdo al siguiente detalle:
 1. Elaboración de calicatas, se realizaron un total de 09 calicatas.
 2. Ensayos de penetración dinámica ligera (DPL), estos se realizaron con el fin de determinar la resistencia de los suelos al ser penetrados. En Paita se llevaron a cabo 11 ensayos DPL.
 3. Ejecución de auscultaciones haciendo uso de posteadora, estas se distribuyeron en zonas intermedias a la ubicación de las calicatas más próximas, a fin, de determinar el tipo de suelo. En el área de estudio se llevaron a cabo 13 posteos.
- ✓ **Laboratorio:** Procesamiento de las muestras de suelos, a través de ensayos de laboratorio: granulometría (tipo de suelos SUCS), humedad natural, límites de atterberg, densidad y corte directo (capacidad portante).
- ✓ **Gabinete II:** Elaboración del informe técnico que se adjunta en sus Anexos: fichas geotécnicas (calicatas, posteos, DPL, correlación DPL con SPT y análisis granulométrico) y fichas geodinámicas (identificación de zonas susceptibles a movimientos en masa e inundaciones). Asimismo, incluye la digitalización del cartografiado de campo para la obtención de los mapas temáticos.

2. GEOMORFOLOGÍA

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

Previamente, en base al levantamiento topográfico y mediante herramientas computacionales (SIG) se ha elaborado los planos: Modelo Digital del Terreno (MDE) y pendientes, con el fin de delimitar las características geomorfológicas del terreno, éstas fueron verificadas y validadas durante el trabajo de campo, para cartografiar y delimitar las unidades geomorfológicas en la ciudad de Paita.

2.1. Modelo Digital del Elevación (MDE)

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

Para la elaboración del MDE de la ciudad de Paita, se tomó en cuenta el uso de herramientas SIG sobre las curvas de nivel diseñadas anteriormente, obteniendo como resultado la representación digital de la superficie del terreno de la localidad, que cubre un área de 1304 ha aproximadamente (Figura 1).

En base al MDE elaborado de la localidad de Paita, para el sector de Paita Baja (casco urbano antiguo) las elevaciones están comprendidas desde los 3 m.s.n.m

(próximo al mar) hasta los 24 m.s.n.m; asimismo, presenta una elevación de 29 m.s.n.m donde se asienta la Basílica de la Virgen de las Mercedes (colina), el sector de Paita Alta la elevación es de 70 m.s.n.m.

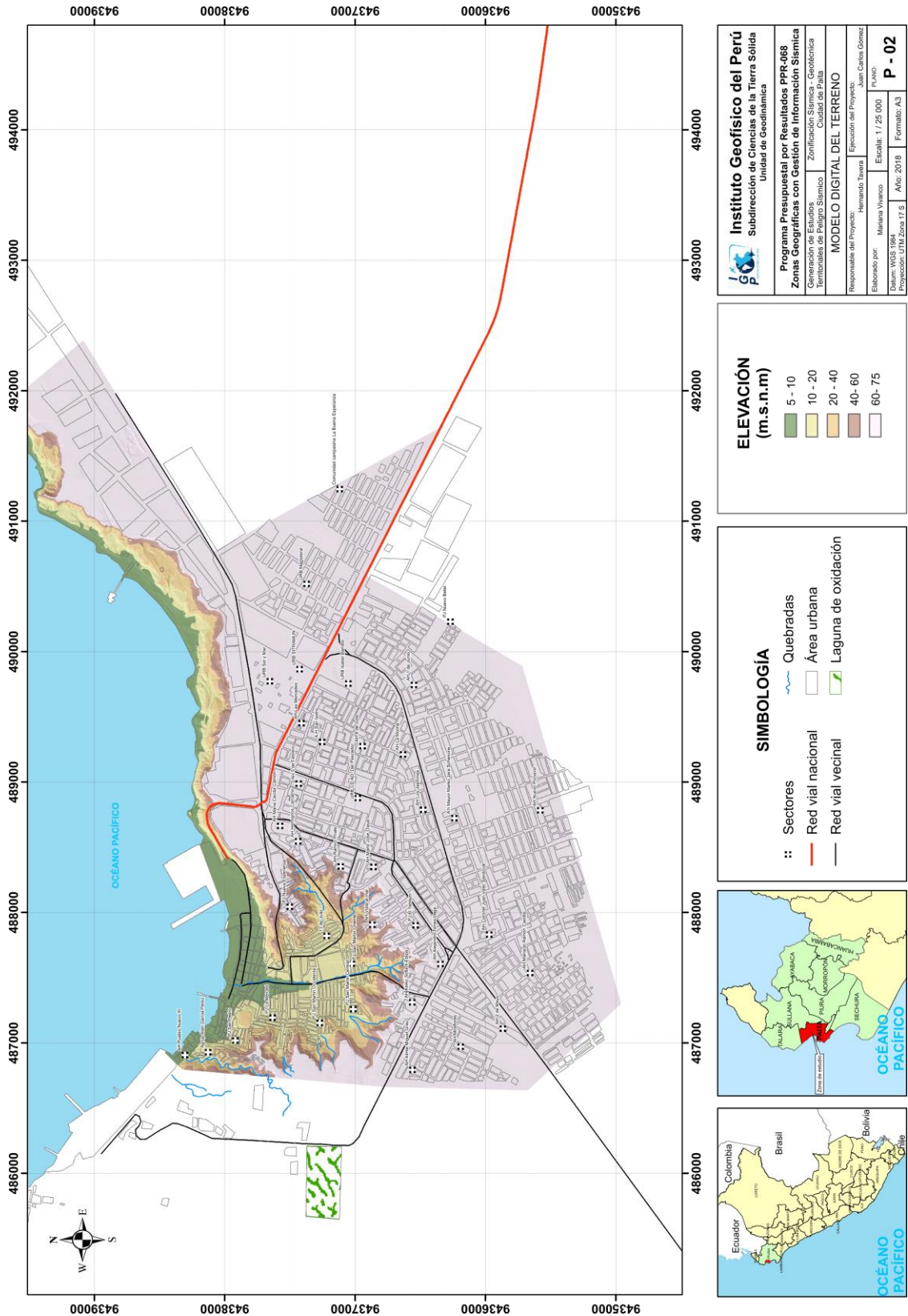


Figura 1: Mapa de modelo digital del terreno de la ciudad de Paita y alrededores.

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

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

2.2.1. Clasificación del grado de pendientes

Para la clasificación de los rangos de pendientes se usó como base el informe: “Estudio de riesgos geológicos del Perú” (Tabla 1).

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

Pendientes en grados (°)	Clasificación
<5	Muy baja
5 - 20	Baja
20 - 35	Media
35 - 50	Fuerte
>50	Muy fuerte

De acuerdo al mapa de pendientes obtenido (Figura 2), Paita Baja y Paita Alta se ubican en terrazas con pendientes menores a 5° de relieve ondulante. Las quebradas que nacen en Paita Alta tienen una pendiente de 20° a 30° y confluyen en la Quebrada Zanjón que presentan pendientes de 10°. En esta última quebrada, sus pendientes disminuyen según su cercanía al Océano Pacífico (desembocadura). La colina sobre la cual se asienta la Basílica presenta pendiente de 20° y el acantilado presenta pendiente de 45°.

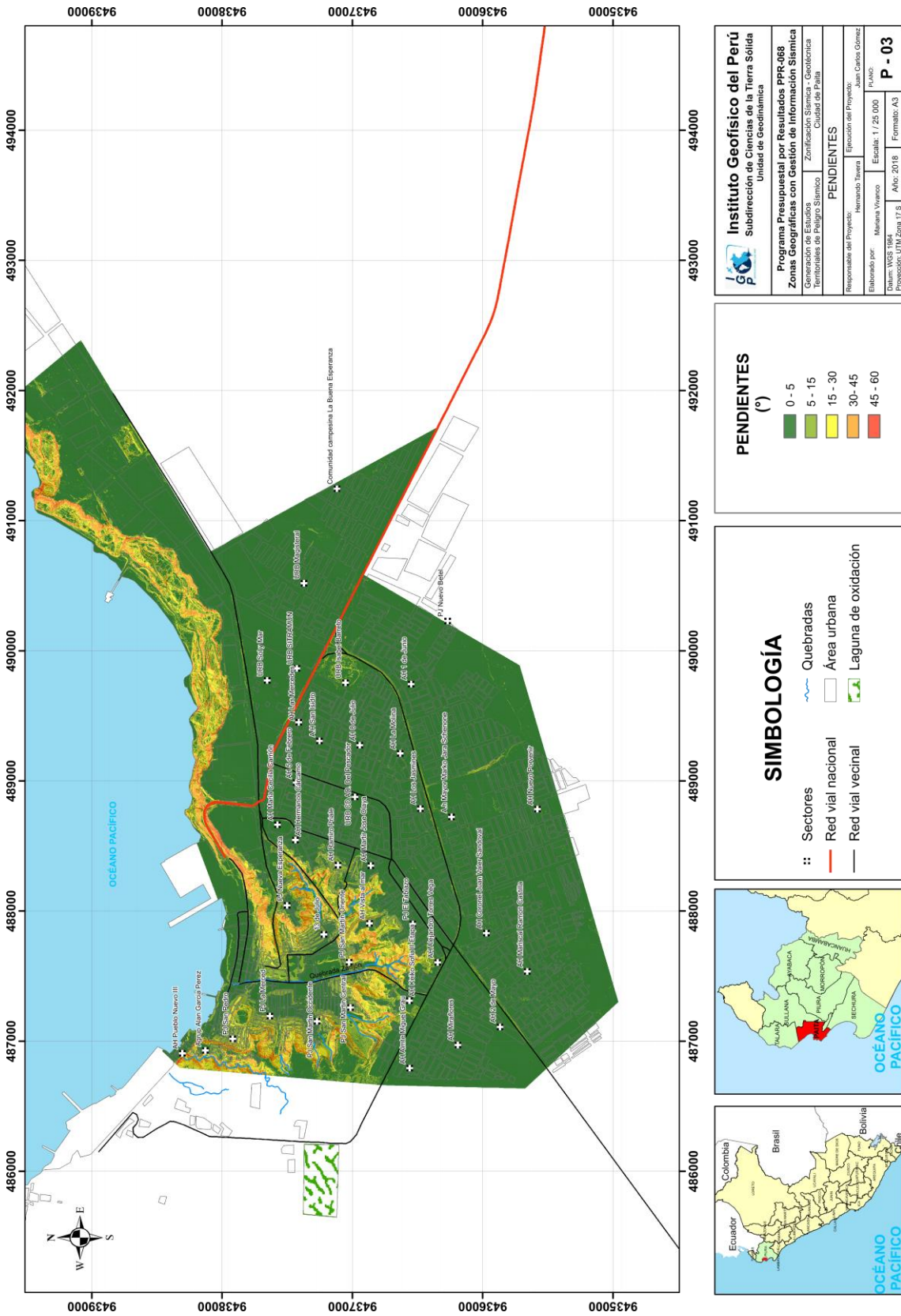


Figura 2: Mapa de pendientes del terreno de la ciudad de Paita y alrededores.

2.3. Unidades geomorfológicas

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

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

Procesos: Los agentes modeladores como el agua, viento, temperatura, entre otros, desencadenan diversos procesos externos tales como: intemperismo, meteorización, erosión, transporte y depositación generando diferentes geoformas, clasificándose de acuerdo a su origen en depositacional y 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 Paita, se cartografiaron seis unidades: Colina, lomas, tablazo, terraza marina, playa y acantilado (Tabla 2 y Figura 3).

Tabla 2: Determinación de geformas en el distrito de Paita en base a las características físicas y su origen.

GEOMORFOLOGÍA PAITA			
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		PROCESO	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA
Pendiente	40°	Denudacional	Colina
Altura	29 m		
Geometría	Redondeada		
Drenaje	Radial		
Pendiente	30°		Loma
Altura	50 m		
Geometría	Alargada		
Drenaje	Paralelo		
Pendiente	< 5°	Tectónico	Tablazo
Altura	70 m		
Geometría	Alargado		
Drenaje	variado		
Pendiente	5°- 10°	Deposicional	Terraza marina
Altura	3 m -24 m		
Geometría	Alargada		
Drenaje	Dendrítico		
Pendiente	3°		Playa
Altura	0-3 m		
Geometría	Alargada		
Pendiente	> 65°		
Altura	40 m		
Geometría	Alargada		
Drenaje	variado		

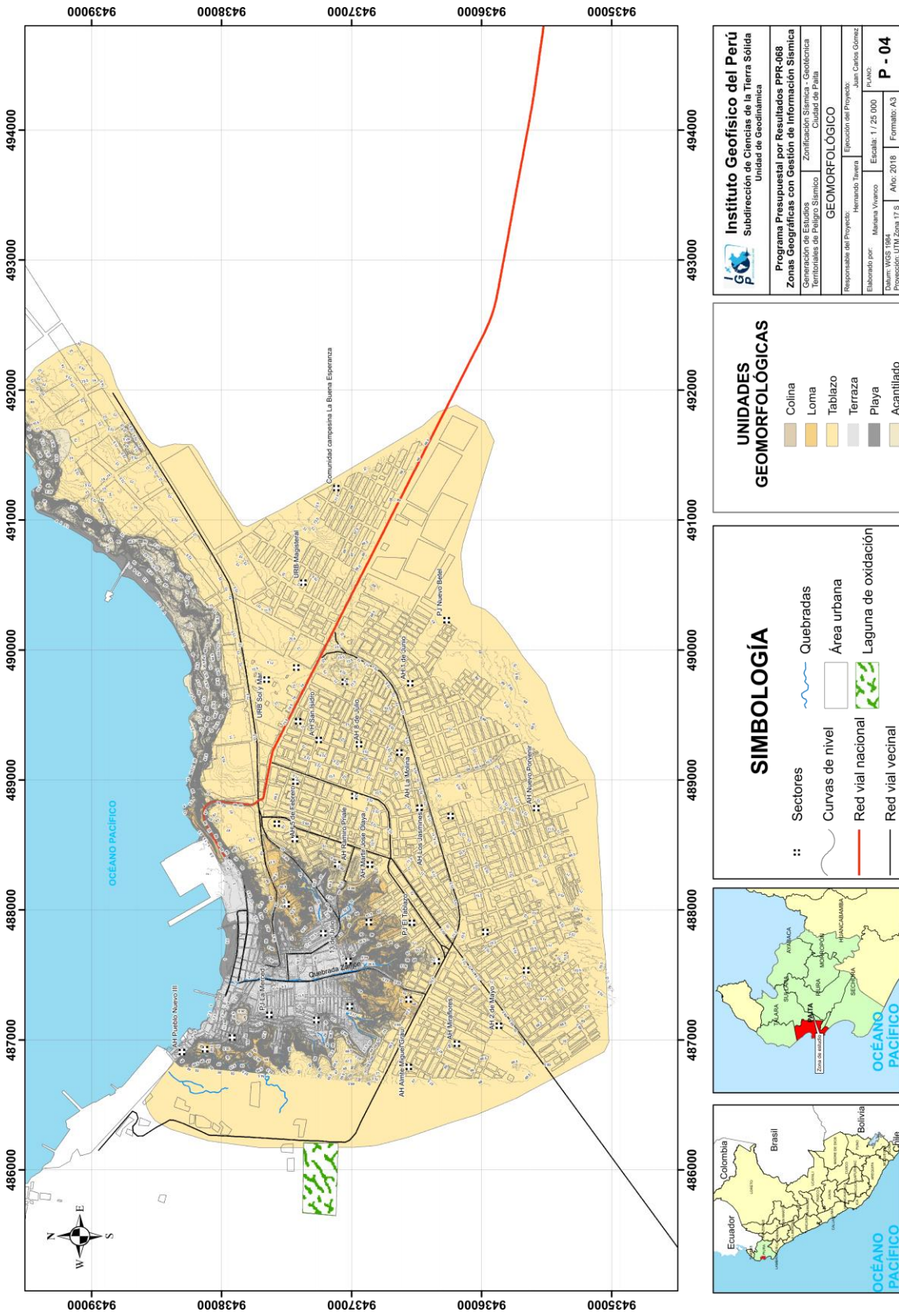


Figura 3: Mapa geomorfológico para la ciudad de Paita y alrededores.

2.3.1. Colinas

En el distrito de Paita, esta geofoma está ubicada en el sector de Paita Baja (casco urbano antiguo), sobre esta se asienta la Basílica (iglesia) de la “Virgen de las Mercedes”, está conformada por roca sedimentaria tipo lutitas y abarca un área aproximada de 1.50 ha (Figura 4).



Figura 4: Colina en la ciudad de Paita (flecha amarilla) ubicada en el sector de Paita Baja.

2.3.2. Lomas

Elevaciones topográficas de altura menor a 100 m cuyo relieve presenta pendientes menores a 35°, se caracteriza por tener forma alargada. Estas geofomas se encuentran rodeando el sector de Paita Baja (Figura 5). Debido a su conformación litológica (materiales finos) y erosión (escorrentía superficial), las laderas están disectadas por drenes paralelos que confluyen en la red hídrica principal (quebrada Zanjón) para desembocar en el Océano Pacífico. Las quebradas son de régimen estacional, se activan en épocas de precipitaciones extraordinarias (evento Niño). En la parte superior de las lomas se evidencian asentamientos de poblaciones de material precario. Esta geofoma abarca un área aproximada de 20 ha.



Figura 5: Lomas (interlineado amarillo) que rodean el sector San Martín Oriente en Paita Baja.

2.3.3. Tablazo

Áreas elevadas sobre el nivel del mar por procesos tectónicos, de relieve plano o llano, que están expuestas a la acción erosiva del mar (desgaste de costas). En el norte del Perú en el cuaternario (pleistoceno), aproximadamente hace 10 000 años los procesos del levantamiento del zócalo continental en la costa y las oscilaciones del nivel del mar (trasgresiones y regresiones) dan como origen a los Tablazos. En el área de estudio la unidad geomorfológica Tablazo, comprende el sector de Paita Alta con una elevación de 70 m.s.n.m, en donde se evidencian la presencia de restos marinos (conchuelas) y abarca un área aproximada de 1 000 ha (Figura 6). Sobre esta geoforma se desarrolla la expansión urbana del distrito de Paita.



Figura 6: Paita Alta (Tablazo), están constituidas por material marino (conchuelas, limos).

2.3.4. Terraza marina

Son superficies horizontales o ligeramente inclinadas con pendientes menores a 5° . Generalmente, se encuentran conformadas por materiales heterogéneos (clastos angulosos a subredondeados envueltos en una matriz arenosa y/o fina), principalmente de origen marino. La terraza marina en el distrito de Paita es producto de la actividad erosiva del mar (oleaje) sobre el tablazo, cuyo límite se ha reconocido por el desnivel que presenta respecto a este. Paita Baja se asienta sobre la terraza marina. Cabe resaltar que, se ha evidenciado la presencia de dos terrazas marinas, cuyos límites se han reconocido por el desnivel topográfico que se presenta entre ellas. Sobre la primera se asienta el casco antiguo de la ciudad conocida como Paita Baja; mientras que, sobre la segunda se asienta el área urbana de Paita Alta y expansión urbana (Figura 7).



Figura 7: Terraza marina, donde se asienta el casco urbano antiguo (Paita Baja).

2.3.5. Playa

Está constituida por acumulaciones de arenas, gravas o una mezcla de ambas. Están situadas en el límite del mar y el continente, en cuya dinámica interviene fundamentalmente el oleaje por ubicarse en la zona del litoral costero. En la localidad de Paita la unidad geomorfológica playa recibe el nombre de El Toril, conformada por arenas de color beige (Figura 8).

2.3.6. Acantilado

Son escarpas verticales, que delimitan las costas formando una transición entre el continente y el mar. Estos pueden estar conformados por rocas ígneas o clásticas, que frecuentemente están en proceso erosivo por la dinámica marina (oleaje), ver Figura 9.



Figura 8: El Toril, presenta una longitud de 450 m y está ubicada en el sector de Paita Baja.



Figura 9: El acantilado se ubica al norte de la localidad de Paita con una longitud aproximada de 3 km. Se observa la playa Coñuz que no es concurrida por bañistas debido a que se construyó un muelle para carga y descarga de contenedores. Parte de la zona presenta vegetación debido a la saturación de suelo por el desecho de las fábricas pesqueras que se asienta en la parte superior del tablazo.

3. GEOLOGÍA

La geología es la ciencia que estudia la composición, estructura interna y externa de los materiales que componen al planeta Tierra y los procesos por los cuales ha venido evolucionando a lo largo de millones de años desde su origen hasta la actualidad.

Para entender la geología de un lugar se estudia la litología de las formaciones geológicas o unidades litoestratigráficas, determinando las características físicas de los componentes de las rocas, comprendiendo que estas son originadas por procesos internos (tectónica de placas, ascenso de magma, etc.) como también, por procesos externos que modelan la superficie terrestre, tales como: Meteorización, erosión, transporte y depositación de rocas preexistentes, en base a estos procesos también se puede entender cuál es la dinámica de formación de los suelos.

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

3.1. Geología regional

El marco geológico regional de una ciudad es importante para comprender los procesos y eventos geológicos que ocurrieron a gran escala. Es así que, se recopiló la información geológica regional del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET, 1993) a escala 1: 100, 000. En ésta, se describen las unidades litológicas aflorantes cuyas edades se encuentran desde el Terciario Superior (66 M.A) hasta el Cuaternario Reciente.

3.1.1. Geología histórica

Según, Palacios, (1994), la historia geológica empieza con la depositación de sedimentos de facies pelíticas en una cuenca, luego estos serían sometidos a una serie

de procesos tectónicos, metamórficos e intrusiones. Sobre un relieve labrado en rocas Precámbricas, se desarrolla la cuenca Paleozoica que está constituida por una secuencia lutácea y areniscas cuarcíticas, seguida de una secuencia de depósitos continentales como consecuencia del fallamiento. Durante el Cretácico las cuencas alcanzan un gran desarrollo (secuencia clástica y carbonatada). A fines del Cretácico y comienzos del Terciario, con el levantamiento de los Andes, se producen en el noroeste movimientos epigénicos seguidos de erosión en forma cíclica, lo que permite la depositación de conglomerados cubiertos por areniscas, limolitas y argilitas. En el Eoceno Superior, el mar alcanzó su máxima extensión entre Paita y Sullana e ingresando a la cuenca Sechura y en el Oligoceno se produce la transgresión de norte a sur. A fines del Mioceno, un nuevo levantamiento reactiva fallas y fracturas ubicadas al noroeste y norte, dando lugar a la regresión del mar y erosión intensa. Nuevamente en el Plioceno los mares ingresan al continente por el norte y sur, depositando una secuencia clástica arcillo-arenosa, proceso que continuó hasta el Plio-Pleistoceno, formándose los tablazos a manera de terrazas.

3.2. Geología local

La geología local, consistió en el reconocimiento y cartografiado de las unidades litológicas aflorantes en la ciudad de Paita a escala 1:25,000, abarcando un área de 14 km², aproximadamente. En la Tabla 3 se describen estas unidades litológicas (Figura 10).

Tabla 3: Columna cronolitoestratigráficas de la zona de estudio.

Eratema	Sistema	Serie	Unidades Litoestratigráficas	Símbolo	Litología
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Depósito de playa	Qr-ml	Arenas
		Pleistoceno	Formación Tablazo Talara	Qp-tt	Conglomerados con lumaquelas, conglomerados coquiníferos, coquinas.
	Terciario	Mioceno	Formación Miramar	Tm-m	Conglomerados, areniscas tobáceas y areniscas coquiníferas
		Eoceno	Formación Chira Verdum	Te-chv	Intercalación de areniscas y lutitas bentoníticas
Paleozoico			Indiviso	Pi	Pizarras esquistosas

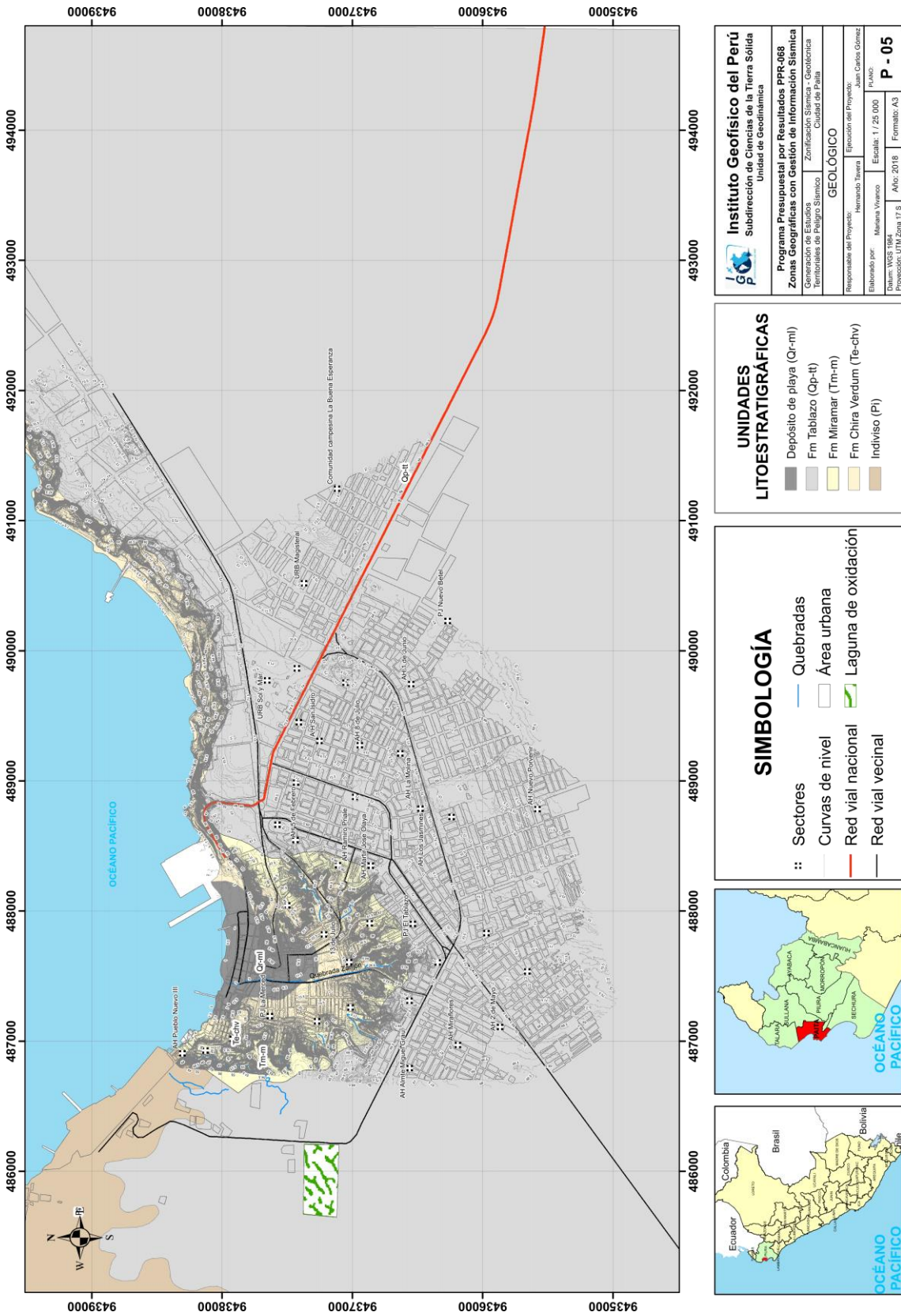


Figura 10: Mapa de geología local para la ciudad de Paita y alrededores.

3.2.1. Indiviso (Pi)

Conformado por rocas metamórficas del tipo pizarras esquistosas (predominantemente) de color oscuro y cuarcita con material brechoide, este tipo de material aflora en la zona noroeste de Paita (Figura 11).



Figura 11: Afloramiento del Indiviso (cuarcita).

3.2.2. Formación Chira Verdum (Te-chv)

Consiste en la intercalación de areniscas de grano medio a grueso y lutitas bentoníticas de color gris verdoso y púrpura, conglomerados heterogéneos con clastos subangulosos a subredondeados en matriz de areniscas poco compactas (Figura 12).



Figura 12: Areniscas de la formación Chira Verdum, afloran al norte de Paita en la Zona Industria.

3.2.3. Formación Miramar (Tm-m)

Conformado por conglomerados con matriz de arenisca arcósica poco compactas, deleznales, areniscas tobáceas y areniscas coquiníferas. Esta formación subyace la formación Tablazo Talara. En la localidad de Paíta, afloran en el límite de Paíta Baja y Paíta Alta (Figura 13).



Figura 13: Formación Miramar constituido por conglomerados y coquinas.

3.2.4. Formación Tablazo Talara (Qp-tt)

Constituido por conglomerados con lumaquelas en matriz de arenisca arcósica, conglomerados coquiníferos o coquinas (Figura 14).

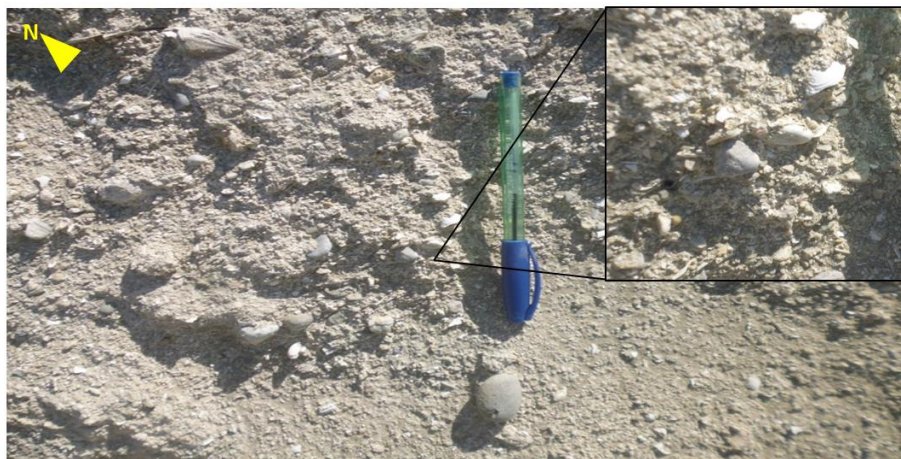


Figura 14: Formación Talara Tablazo, conformado por conglomerados coquiníferos en matriz de arenisca arcósica.

3.2.5. Depósito de playa (Qr-mI)

Conformado por fajas angostas de arenas por la influencia marina y continental dispuestas longitudinalmente y paralelamente a la línea de costa. En la localidad de Paita, las playas Toril y Coñuz se ubican en el sector de Paita Baja (Figura 15).



Figura 15: Playa El Toril, conformada por arena de color blanquecina.

4. GEODINÁMICA

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

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

4.1. Procesos de geodinámica interna

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

4.2. Procesos de geodinámica externa

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

La acción conjunta de uno o más factores desencadenantes que actúan con los factores condicionantes, favorecen la generación de procesos externos y consiguio la ocurrencia de eventos de geodinámica superficial, las mismas que se describen en detalle en la Figura 16.

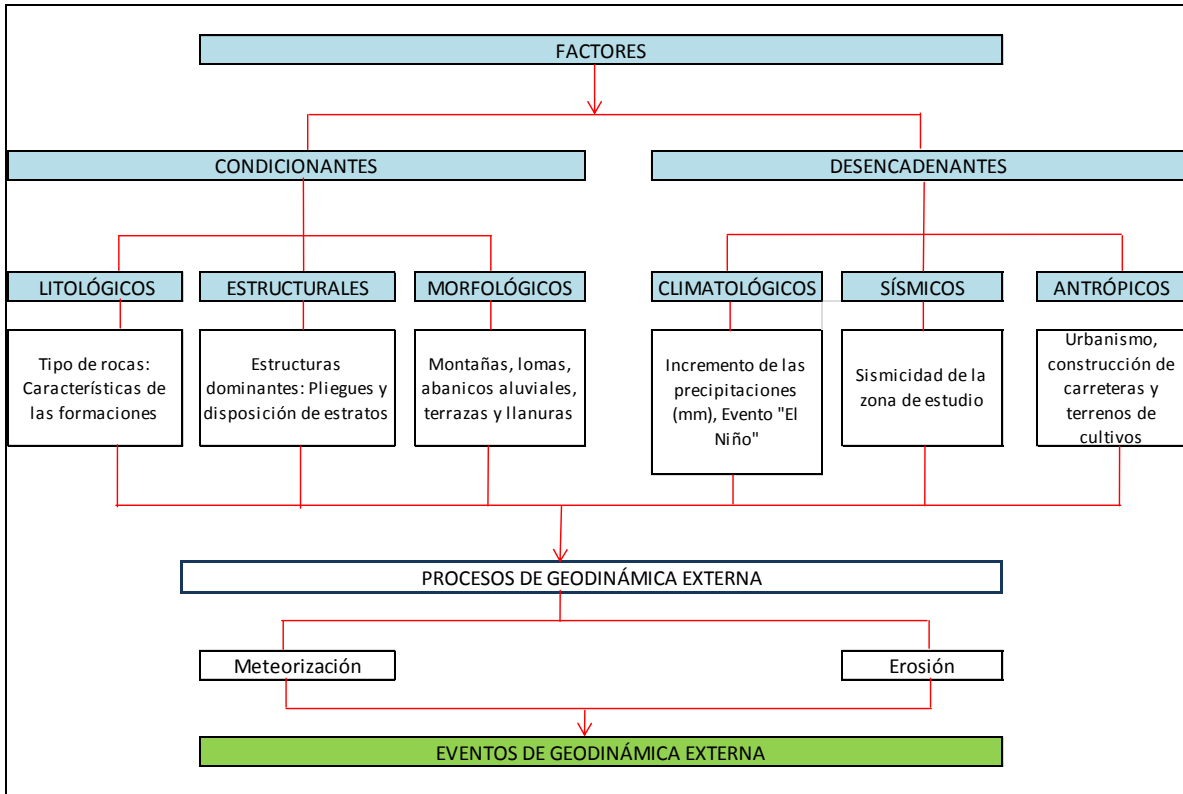


Figura 16: Factores asociados a procesos de geodinámica externa que contribuyen a la ocurrencia de eventos geodinámicos.

Los eventos de geodinámica superficial se dividen, según su origen en:

a) Hidrometeorológico: Aquí se encuentran la inundación pluvial que se genera directamente de las precipitaciones pluviales; es decir, sin que el aporte de agua llega de alguna otra escorrentía superficial, se acumulan en hondonadas o depresiones naturales siendo saturadas y permaneciendo allí muchas horas y días. También se encuentran las inundaciones fluvio-aluvial, generadas por desborde de agua de los ríos o quebradas en periodos de precipitaciones extremas cubriendo grandes extensiones de terreno adyacentes a las fuentes de agua. La inundación costera son las que afectan las zonas litorales causados por tsunamis y mareas, generadas por vientos de ciclones. Finalmente, se encuentran las inundaciones por falla de las infraestructuras hidráulicas realizadas por el hombre, que presentan insuficiencia de retención del flujo hídrico hasta llegar al colapso e inundar zonas urbanas ubicadas aguas abajo (CENAPRED, MEXICO 2004).

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

En la ciudad de Paita existen tres tipos de eventos geodinámicos (Figura 17) y según los procesos y factores que intervienen, se han clasificado de la siguiente manera:

4.2.1. Inundación

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

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

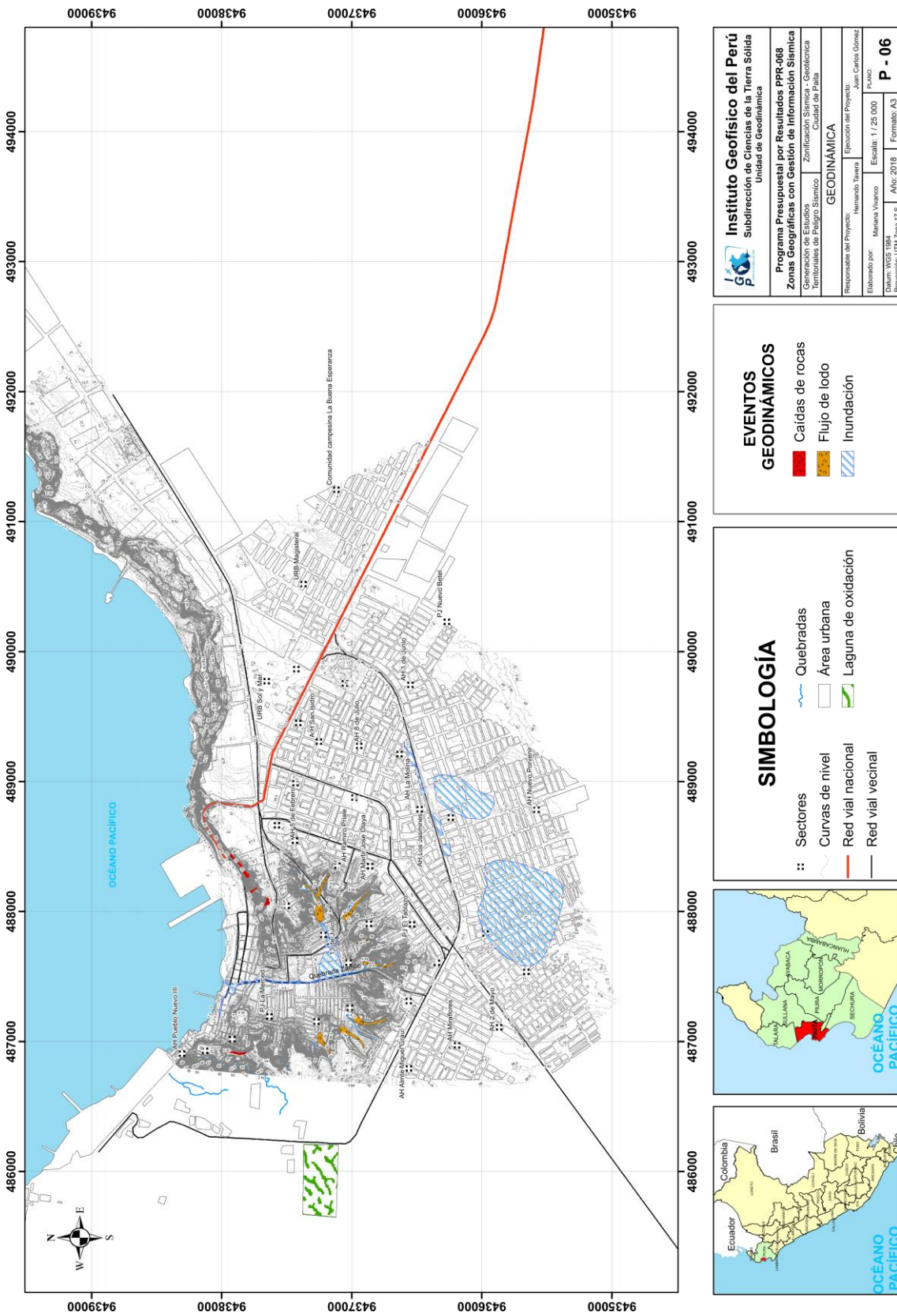


Figura 17: Mapa de eventos geodinámicos en la ciudad de Paita y alrededores.

Cuando las lluvias superan el promedio normal de precipitación (mayor al 50%) de una zona se le denominan lluvias extraordinarias o tormenta extrema. Estas al desarrollarse generan crecidas causando inundaciones de las áreas circundantes al río, esta anomalía es conocida como un evento hidrometeorológico (Figura 18).

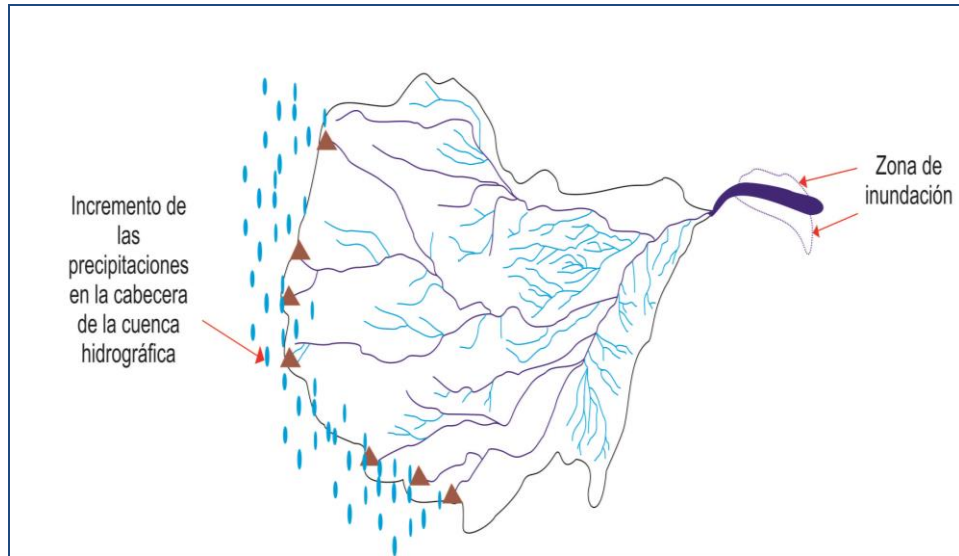


Figura 18: Inundación por incremento de las precipitaciones en la cabecera de la cuenca hidrográfica.

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

En la ciudad de Paita se han identificado dos tipos de inundaciones fluvial y pluvial a consecuencia de las precipitaciones por la ocurrencia del evento Niño (febrero-marzo del 2017) y cuyas características se describen a continuación:

Inundaciones fluviales: Se producen por el desborde de la margen izquierda de la quebrada el Zanjón antes de la desembocadura de la misma. El nivel de inundación en el año 2017 fue aproximadamente de 0.70 cm y la municipalidad, plaza de armas y las calles aledañas (Paita Baja-casco urbano antiguo), se vieron afectadas por la inundación, ver Figuras 19 y 20.



Figura 19: Quebrada Zanjón, lluvias febrero-marzo 2017 (Fuente: Ralph Zapata).

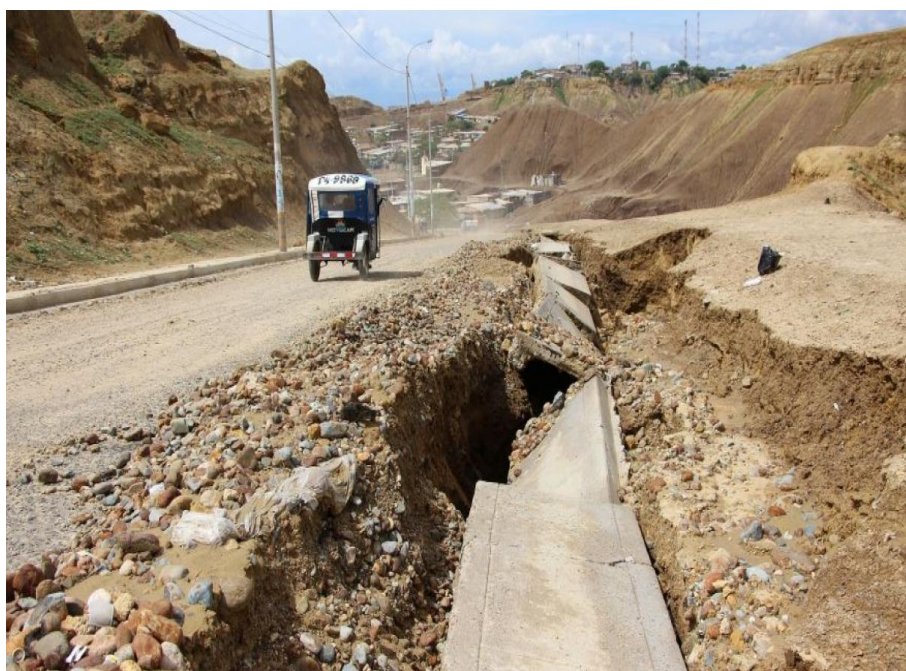


Figura 20: Quebrada Zanjón-Avenida San Francisco, lluvias febrero-marzo 2017 afectaron una de las vías de acceso a Paita Baja (Fuente: Ralph Zapata).

Inundaciones pluviales: Es la acumulación del agua proveniente de las precipitaciones y/o por el desborde de los drenes en forma de laguna debido a las depresiones mínimas del terreno, denominadas cuencas ciegas. En el área de estudio, se evidencio que en el sector de Paita Alta en el año 2017, con la ocurrencia del evento Niño (precipitaciones extraordinarias), se formaron cuencas ciegas afectando a los poblados, debido a que carecen de drenaje, siendo fuente de enfermedades infecciosas y plagas (Figura 21).

El colegio emblemático Nuestra Señora de Las Mercedes (nivel secundario mixto), ubicado en el sector de Paita Alta en el Asentamiento Humano El Porvenir y zonas aledañas, fueron afectadas por la inundación pluvial el febrero-marzo 2017.

La Institución Educativa San Francisco, ubicada en el sector de Paita Baja en la Avenida San Francisco que forma parte del cauce de la Quebrada Zanjón, se asienta debajo del nivel de la avenida, razón por la cual las precipitaciones de febrero-marzo del 2017, inundaron el colegio en mención.



Figura 21: Inundación pluvial a causa de depresiones en el terreno (carece de drenaje) en el sector de Paita Alta, el agua tuvo que ser bombeada para evitar que sea fuente de plagas (proliferación de dengue).

4.2.2. Flujo de lodo

Son movimientos de materiales que se comportan como fluidos a causa del agua (provoca la pérdida total de resistencia de estos materiales) y se desplazan sin presentar superficies de rotura definidas, en algunos casos depositan sus materiales en forma de conos de deyección (Figura 22). Los flujos de lodo son muy rápidos a extremadamente rápidos, ya que su contenido de agua es mayor a la del material fuente y ocurre en materiales saturados plásticos.

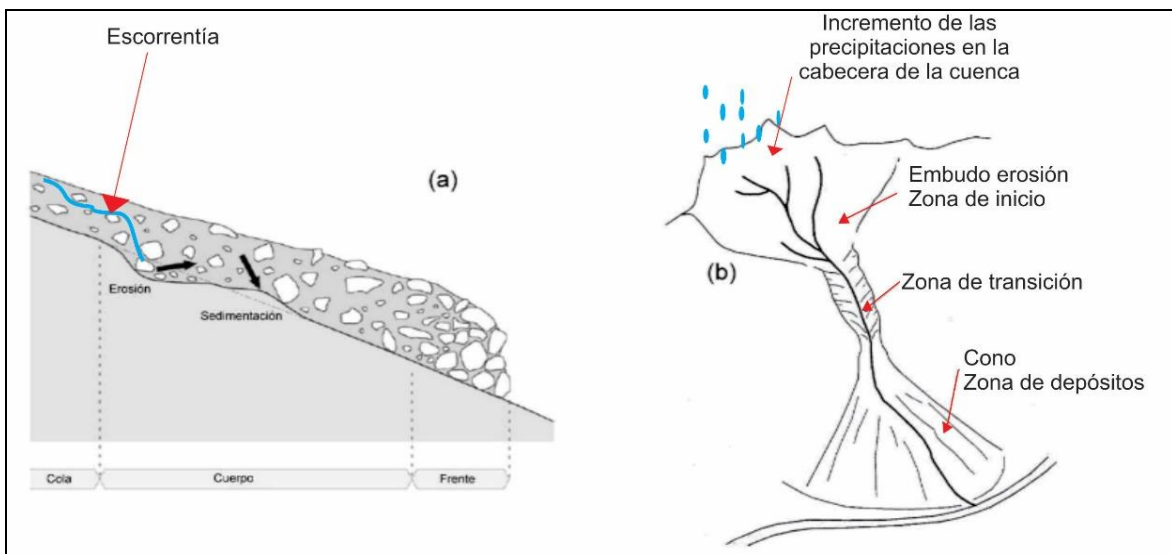


Figura 22: Esquema de etapas de generación de un flujo (Bateman y otros, 2006).

Producto de las precipitaciones por la ocurrencia del evento Niño del 2017 (febrero-marzo), se activaron las quebradas que se encuentran disectando las lomas que rodean Paita Baja, en forma de flujo de lodo. Estos flujos confluyen en la quebrada Zanjón que finalmente desemboca en el Océano Pacífico.

4.2.3. Caída de rocas

Es un tipo de movimiento pendiente abajo en el cual uno o varios bloques de suelos o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. El material desprendido se desplaza por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978). El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido y dependiendo del material desprendido, se habla de caída de roca o suelo.

En la localidad de Paita se ha evidenciado la existencia de materiales predispuestos a la ocurrencia de caída de rocas en el sector de Paita Alta (Tablazo), y en caso de desprenderse, afectarían a la población asentada en el sector de Paita Baja (Figura 23). Asimismo, se identificó que en la quebrada del Cerro Llorón, en la vía de acceso construida que da acceso a Paita Alta, se produce caída de rocas (Figura 24).



Figura 23: Bloques sueltos, estos podrían desprenderse (procesos gravitacionales) y afectar las viviendas que se asientan en Paita Baja.



Figura 24: Caída de rocas en vía de acceso al cerro Llorón.

5. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

Los materiales inconsolidados que han sido resultado de los procesos de erosión y que posteriormente han sido transportados, en gran parte desde las nacientes de las cuencas hidrográficas hasta ser depositados a lo largo de la cuenca, principalmente en la parte baja, conforman los suelos sobre los cuales se asientan las áreas urbanas. La clasificación, en base al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) de estos materiales (arcillas, limos, arenas, gravas y clastos) se encuentra condicionada a las características litológicas de las rocas pre-existentes y la dinámica que presenten dichos procesos, en el diagrama líneas abajo se indica el origen de los suelos (Figura 25).

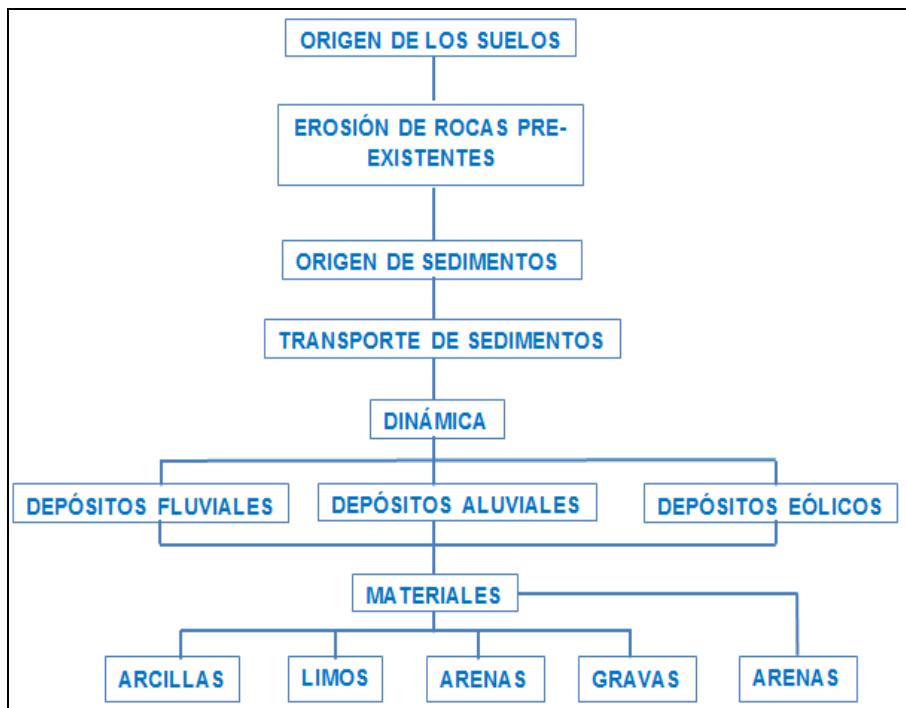


Figura 25: Diagrama del origen de los suelos.

La geotecnia es la rama de la geología aplicada a la ingeniería que se encarga del estudio de las propiedades físicas, así como, el comportamiento en condiciones estáticas de los suelos y rocas, mediante la aplicación de técnicas de exploración, entre las cuales se tienen: calicatas, perforaciones y ensayos de suelos en laboratorio; a fin de determinar las propiedades físicas de los suelos de cimentación.

En la ciudad de Paita, para el estudio geotécnico se elaboró 09 calicatas, 09 densidades de campo, 13 posteos y 11 ensayos de penetración dinámica ligera (DPL), cuya distribución espacial se muestra en la Figura 26.

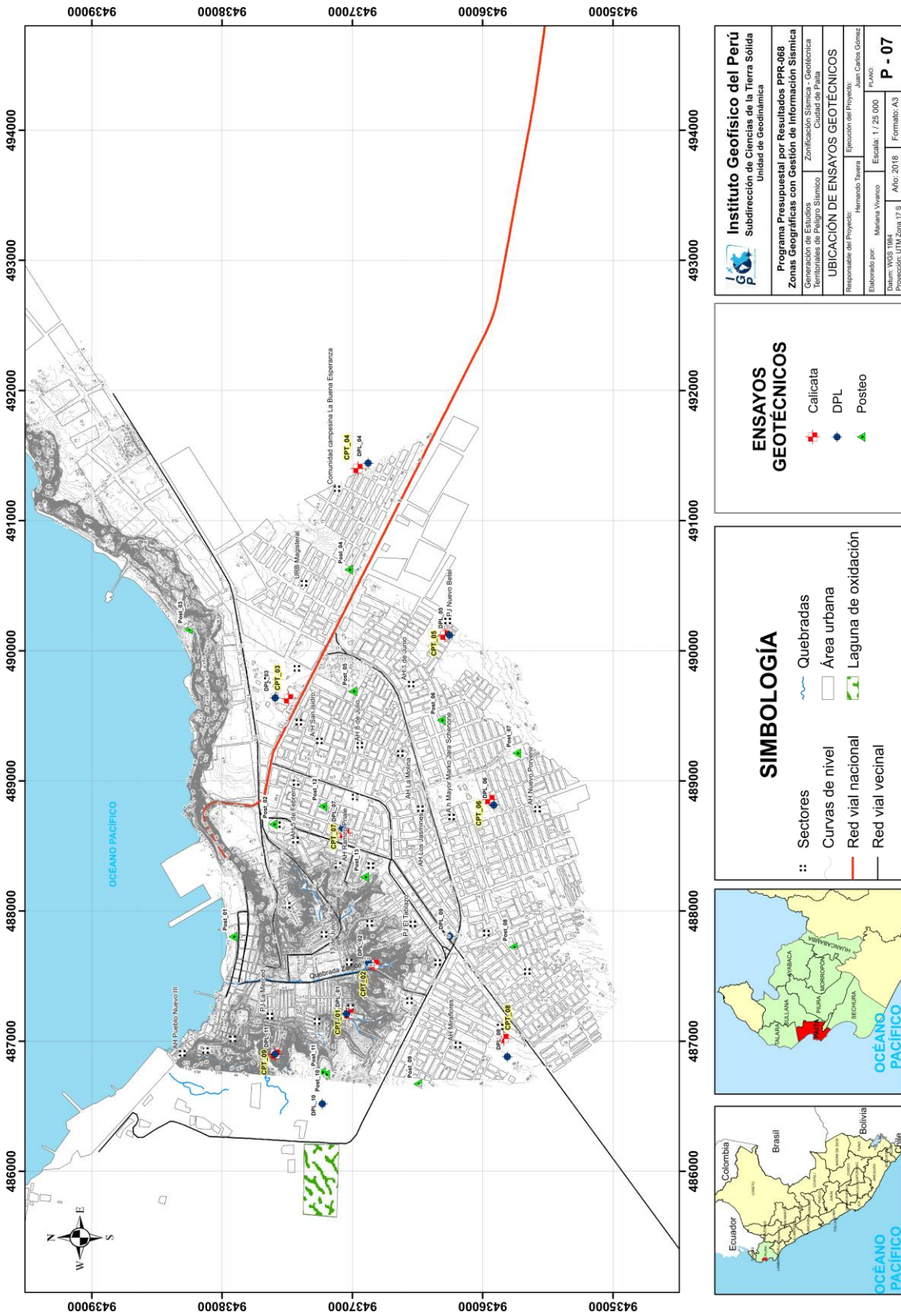


Figura 26: Mapa de distribución de calicatas, posteos y DPL en la ciudad de Paita y alrededores.

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

Es un método directo que consiste en realizar una excavación en el terreno para la observación del suelo. Estas exploraciones se realizaron aproximadamente a 3.00 m de profundidad, a fin de describir los estratos que lo conforman y así también, extraer muestras en bolsas herméticas con capacidad de 5 kg, para la realización de ensayos de suelos y su análisis. Las excavaciones realizadas presentan las siguientes coordenadas UTM: Tabla 4.

Se debe mencionar que, en algunas calicatas la profundidad promedio fue de 2.50m y en otras menores profundidades debido a que se encontró materiales compactos. Asimismo, de las calicatas se extrajeron 09 muestras con el fin realizar ensayos de suelos como: granulometría, límites de atterberg, humedad natural, clasificación SUCS, etc., todo para conocer sus propiedades físico-mecánicas.

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

Calicata	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m.s.n.m)	Profundidad (m)	Nivel Freático (m)
CP_01	487210	9437027	26	2.50	2.50
CP_02	487590	9436832	30	3.00	N.P
CP_03	489631	9437490	78	2.20	N.P
CP_04	491401	9436957	78	2.60	N.P
CP_05	490120	9436289	79	2.50	N.P
CP_06	488857	9435945	78	2.30	N.P
CP_07	488596	9437059	75	2.20	N.P
CP_08	487020	9435837	75	1.70	N.P
CP_09	486901	9437592	33	2.50	N.P

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

Se define como la relación entre la masa del suelo (sólido y líquido) y el volumen total de un suelo o la medida del estado de empaquetamiento del suelo y consiste en extraer material del suelo a fin de obtener una relación entre la masa de este y el volumen que ocupa la arena del cono (arena calibrada).

En cada exploración (estratos muestreados) se debe llevar a cabo un ensayo de densidad de campo, haciendo uso del método del cono, a fin de conocer la compactación

y el contenido de humedad del suelo en condiciones naturales. Sin embargo, este ensayo no es aplicable en suelos que contengan cantidad excesiva de roca o materiales gruesos de diámetro mayor a 1 ½ pulgada (38 mm), así como en suelos saturados; sino más bien, en suelos que presentan cierta cohesión, tales como: arenas limosas y arenas arcillosas con contenido de gravas inferiores a 38 mm de diámetro.

A continuación, en la Tabla 5 se presenta los resultados obtenidos para las 09 muestras (datos obtenidos a través del método del cono de arena) y en los Anexos, se adjunta sus fichas.

Tabla 5: Resultados de densidades in – situ.

CALICATA	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	DENSIDAD HUMEDAD (gr/cm ³)	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	HUMEDAD (%)
CP-01	-	-	-	-	
CP-02	DC-02	1.00	1.09	0.89	18.36
CP-03	DC-03	2.20	1.38	1.26	9.15
CP-04	DC-04	2.60	1.61	1.50	7.16
CP-05	DC-05	2.50	1.28	1.22	4.28
CP-06	DC-06	2.30	1.44	1.42	1.33
CP-07	DC-07	1.10	1.40	1.33	5.16
CP-08	DC-08	1.70	1.46	1.42	3.13
CP-09	DC-09	2.50	1.64	1.31	20.33

Según la Tabla 6, se conoce que, los suelos de la ciudad Paita presentan rangos de densidad entre 1.09 – 1.64 gr/cm³; es decir, los materiales evidenciados en las calicatas corresponden a arenas limosas, limos y arcillas.

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

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

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

Se define posteadora como un barreador manual en forma de "T" que para extraer muestras de suelo, permite realizar sondeos exploratorios (perforaciones) en suelos blandos (arcillas y arenas) hasta una profundidad de 5 a 6 m. Las muestras extraídas se obtienen trituradas y completamente alteradas; sin embargo, sirven para reconocer el tipo de suelo y contenido de humedad que presenta. Es importante indicar que, la posteadora presenta restricciones en suelos con presencia de gravas y gravillas (las cucharas saca muestras se entrampan con este tipo de suelos).

El procedimiento seguido para la toma de muestras de suelo es como sigue: con la posteadora se penetra el subsuelo desde la superficie de tal manera que, se gira manualmente el equipo ejerciendo presión sobre el suelo, a medida que se va incrementando la profundidad, se va añadiendo varillas a fin de obtener muestras con las cucharas acopladas en el extremo. Estas exploraciones fueron distribuidas entre las calicatas; es decir, en lugares donde no existía información geotécnica, lo cual permitirá tener una mejor caracterización de los suelos de la ciudad de Paita (Figura 26). A continuación, en la Tabla 7 se muestra los resultados obtenidos y para mayor detalle, en los Anexos se presentan sus fichas.

Tabla 7: Ubicación de posteos en coordenadas UTM (NP, no presenta datos).

Posteo	UTM Este(m)	UTM Norte (m)	Elevación(m.s.n.m)	Profundidad (m)	Nivel Freático (m)
Post_01	487803	9437916	7	1.10	1.1
Post_02	488666	9437608	73	0.40	N.P
Post_03	490165	9438259	7	1.80	N.P
Post_04	490624	9437029	77	0.90	N.P
Post_05	489689	9436996	78	0.20	N.P
Post_06	489466	9436319	81	0.60	N.P
Post_07	489212	9435738	78	1.50	N.P
Post_08	487723	9435765	76	1.50	N.P
Post_09	486671	9436499	59	0.30	N.P
Post_10	486743	9437207	69	0.60	N.P
Post_11	486761	9437237	68	0.30	N.P
Post_12	488803	9437227	74	0.50	N.P
Post_13	488261	9436906	75	0.50	N.P

Los posteos en la ciudad de Paita han alcanzado una profundidad máxima de 1.80 y mínima de 0.20m, estos últimos pertenecen a suelos con contenido marino (conchuelas), lo cual imposibilita seguir con la auscultación (no se podría penetrar). El posteo Post_01 se alcanzó a 30 m de la línea de playa, el nivel freático superficial está a 1.10 m de profundidad. Cabe resaltar que la identificación del tipo de suelo se hizo de manera visual.

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

Es un equipo de campo de registro continuo (se contabiliza el número de golpes para penetrar un tramo de varillaje a lo largo de todo el ensayo), permite estimar la resistencia del material (suelo) en kg/cm^2 al hincado del cono dinámico. La ventaja del instrumento es que es un equipo muy práctico y se puede transportar fácilmente.

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

Se hace mención que, este ensayo es aplicable en terrenos arenosos, arcillosos y limo arenosos, no recomendable a utilizarse en gravas, fragmentos gruesos, conglomerados y terrenos rocosos.

En la Tabla 8, se indica la ubicación de los ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) realizados en las inmediaciones de la ciudad de Paita (la ficha del ensayo se adjunta en los Anexos). En ella se registra el número de golpes y el ángulo de fricción interna calculado en base a los parámetros de compacidad y densidad relativa según la fórmula de Meyerhof (1956).

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

Dónde:

ϕ = ángulo de fricción interna

Dr:= Densidad relativa.

Tabla 8: Ubicación de ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) y parámetro obtenidos (ϕ = Ángulo de fricción interna no corregido).

DPL	UTM Este (m)	UTM Norte (m)	Elevación (m.s.n.m)	Profundidad (m)	Número de golpes	ϕ
DPL_01	487211	9437045	7	3.50	34	37
DPL_02	487603	9436875	33	3.50	15	31.7
DPL_03	489638	9437592	77	0.60	25	35
DPL_04	491442	9436879	76	1.50	22	33.9
DPL_05	490120	9436255	93	1.80	26	35
DPL_06	488815	9435915	75	0.90	19	33
DPL_07	488636	9437075	79	0.10	40	38.5
DPL_08	486881	9435811	76	1.10	38	39.7
DPL_09	487807	9436252	74	2.00	40	38.5
DPL_10	486519	9437231	76	0.20	41	38.7
DPL_11	486901	9437592	33	2.20	45	39.7

En los ensayos de DPL realizados en la localidad de Paita, se registraron profundidades variadas entre los 0.10m hasta 3.50 m, la presencia de suelos areno limosos y arcillosos fueron fácil de penetrar, a diferencia de suelos que presentan composición marina (conchuelas), ofrecen resistencia a la penetración.

5.5. Clasificación SUCS para suelos (ASTM D 4827)

En base a la información geotécnica recopilada de las calicatas, posteos y DPL, realizados en la ciudad de Paita, los resultados obtenidos de los ensayos granulométricos y de plasticidad, se ha identificado 05 tipos de suelos, los mismos que han sido agrupados haciendo uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), ver Tabla 9 y Figura 27. Las principales características de estos suelos son:

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

CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	GRAVA (>4.76 mm)	ARENA (<4.76mm >0.074 mm)	FINOS (<0.074 mm)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	% ω	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	CLASIFICACIÓN SUCS	DESCRIPCION SUCS
C-PT-01	2.50	0.00	85.00	15.00	NP	NP	NP	20	20.0	SM	ARENA LIMOSA
C-PT-02	3.00	0.00	79.00	21.00	16.2	14.3	7.9	18.2	18.16	SC	ARENA ARCILLOSA
C-PT-03	2.20	0.00	67.30	32.70	NP	NP	NP	9.15	9.15	SM	ARENA LIMOSA
C-PT-04	2.60	0.00	8.10	91.90	34.30	25.60	8.70	5.60	5.60	ML	LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD
C-PT-05	2.50	0.00	68.30	31.70	NP	NP	NP	4.28	4.28	SM	ARENA LIMOSA
C-PT-06	2.30	0.00	65.50	34.50	NP	NP	NP	1.30	1.30	SM	ARENA LIMOSA
C-PT-07	2.20	0.00	67.10	32.9	NP	NP	NP	5.16	5.16	SM	ARENA LIMOSA
C-PT-08	1.70	0.00	27.00	73.00	36.20	32.20	4.00	2.90	2.90	ML	LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD
C-PT-09	2.50	0.00	0.50	99.50	67.70	37.80	29.90	17.2	17.20	MH	LIMO ALTA COMPRESIBILIDAD

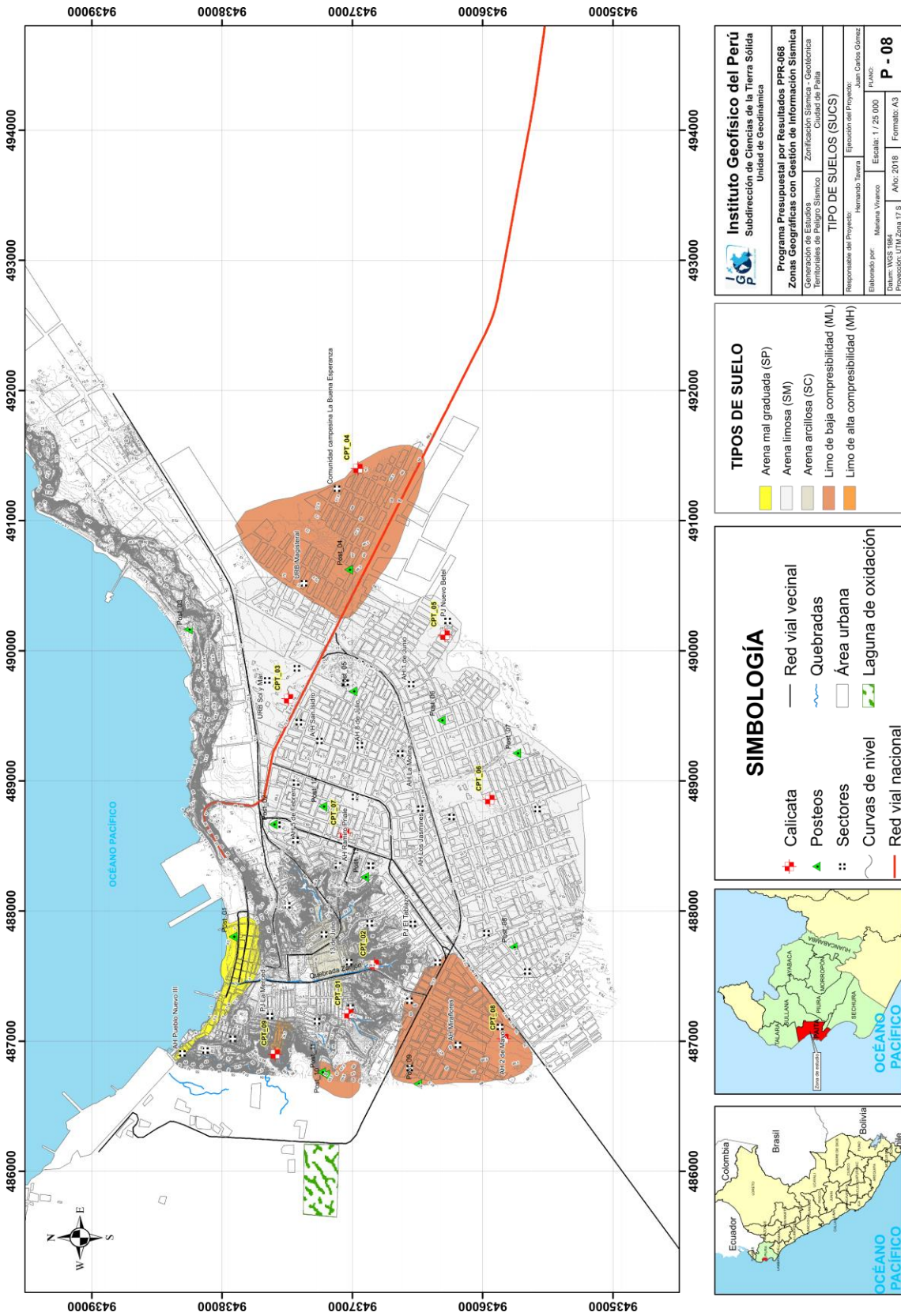


Figura 27: Mapa de clasificación SUCS para los suelos de la ciudad de Paita y alrededores.

Suelo tipo SP: Arena pobremente graduada, constituyen suelos semi compactos, no presentan plasticidad. Este tipo de suelo se evidenció en cercanías de la playa el Toril en el sector de Paita Baja (antiguo casco urbano). Este tipo de suelo fue identificado con la utilización de la posteadora y corresponde al ensayo POST-01.

Suelo tipo SM: Arena limosa, con contenido de humedad entre 1.33 a 9.15 %, son suelos semi compactos, no presentan plasticidad. Estos suelos se reconocen en el sector de Paita Alta, en las Urb. Sol y Mar, AH Nuevo Betel, AH Jara Shenone, AH Nuevo Porvenir y AH Ramiro Priale (CP-03, CP-05, CP-06, CP-07). En Paita Baja las arenas limosas se evidencian el PJ San Martín Central en la calicata (CP-01).

Suelo tipo SC: Se encuentran conformados por arenas arcillosas calcáreas, de color gris verdoso con tonalidades moradas y de plasticidad baja a media. Presentan fragmentos de conchuelas de color blanco y este tipo de suelo se evidencia en la calicata CP-02 ubicada en el PJ. San Martín Oriente.

Suelo tipo ML: Se encuentran conformados por limos de baja compresibilidad color beige, naranja y blanquecino, semi compactos a compactos. Estos suelos se evidencian en el sector de Paita Alta en la Comunidad Campesina La Buena Esperanza y AH Miraflores (calicatas CP-04 y CP-08).

Suelo tipo MH: Se encuentran conformados por limos de alta compresibilidad color marrón con tonalidades moradas con presencia de venillas de yeso (evaporíticos), semi compactos a compactos. Estos suelos se evidencian en el sector Chacarita en Paita Baja en PJ La Merced (calicata CP-09).

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

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

Los valores finales de la capacidad portante de los suelos en la localidad de Paita, están basados en datos de laboratorio corroborados con datos teóricos de los parámetros

de fricción y cohesión de Terzaghi e información de DPL realizados en campo.

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

Es la máxima presión ejercida por una cimentación transmitida a un suelo sin que en este se produzcan asentamientos excesivos; es decir, que presión de la cimentación no sea mayor a la admisible, manteniendo el mismo factor de seguridad especificado en la Norma E.050 de diseño de cimentaciones. Los resultados obtenidos para la capacidad portante de carga admisible para suelos extraídos en la ciudad de Paita, se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10: Capacidad de carga admisible de 9 muestras de suelos extraídos en la ciudad de Paita (criterio falla local, FL).

MUESTRA	Capacidad de carga última (kg/cm ²)	Capacidad de carga admisible (kg/cm ²)	Tipo de Corte	Capacidad de carga última (kg/cm ²)	Capacidad de carga admisible (kg/cm ²)	Tipo de Corte
CP-01	1.03	0.34	F.L	1.54	0.38	F.L
CP-02	2.57	0.86	F.L	2.65	0.90	F.L
CP-03	5.20	1.73	F.L	5.32	1.81	F.L
CP-04	0.83	0.28	F.L	1.15	0.38	F.L
CP-05	4.39	1.46	F.L	4.42	1.48	F.L
CP-06	3.41	1.14	F.L	1.6	1.56	F.L
CP-07	6.30	2.10	F.L	6.45	2.22	F.L
CP-08	1.40	0.47	F.L	4.55	1.52	F.L
CP-09	1.13	0.38	F.L	1.28	0.43	F.L
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00m y ancho de 1.00 m			Profundidad: 1.50 m y ancho:1.00m		

Según los valores del ángulo de fricción corregido mediante la correlación del “N” del DPL en función al del SPT y los datos de cohesión de los suelos obtenidos mediante el corte directo realizado, se determinó las capacidades portantes de los suelos investigados y solo para los DPL que llegaron a una profundidad de cimentación de 1.00 o 1.50m y un ancho de zapata de 1.00 m, ver Tabla 11.

Tabla 11: Capacidad de carga admisible (criterio falla local) en base al ángulo de fricción corregido del N del DPL vs SPT y cohesión obtenida del ensayo de corte directo.

MUESTRA	Capacidad de carga última (kg/cm ²)	Capacidad de carga admisible (kg/cm ²)	Tipo de Corte	Capacidad de carga última (kg/cm ²)	Capacidad de carga admisible (kg/cm ²)	Tipo de Corte
DPL_01	1.03	0.34	F.L	1.54	0.38	F.L
DPL_02	2.57	0.86	F.L	2.65	0.90	F.L
DPL_03	5.20	1.73	F.L	5.32	1.81	F.L
DPL_05	4.39	1.46	F.L	4.42	1.48	F.L
DPL_06	3.41	1.14	F.L	1.6	1.56	F.L
DPL_07	6.30	2.10	F.L	6.45	2.22	F.L
DPL_08	1.40	0.47	F.L	4.55	1.52	F.L
DPL_09	3.12	1.12	F.L	3.25	1.22	F.L
DPL_10	1.10	0.42	F.L	1.27	0.50	F.L
DPL_11	1.12	0.31	F.L	1.24	0.40	F.L
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00m y ancho de 1.00 m			Profundidad: 1.50 m y ancho:1.00m		

De acuerdo a los resultados obtenidos y a los valores de la Tabla 12, los suelos de Paita presentan capacidades portantes muy bajas (< 1.00 kg/cm²), bajas (1.00-2.00 kg/cm²) y medias (2.00-3.00 kg/cm²) para una profundidad de cimentación de 1.00 a 1.20 m.

Tabla 12: Rangos de capacidad de carga admisible.

Capacidad Carga Admisible (kg/cm ²)	DENOMINACION
< 1.0	MUY BAJA
1.0 - 2.0	BAJA
2.0 - 3.0	MEDIA
> 3.0	ALTA

En conclusión, para el área de estudio se ha determinado los siguientes tipos de capacidades portantes admisibles (Figura 28):

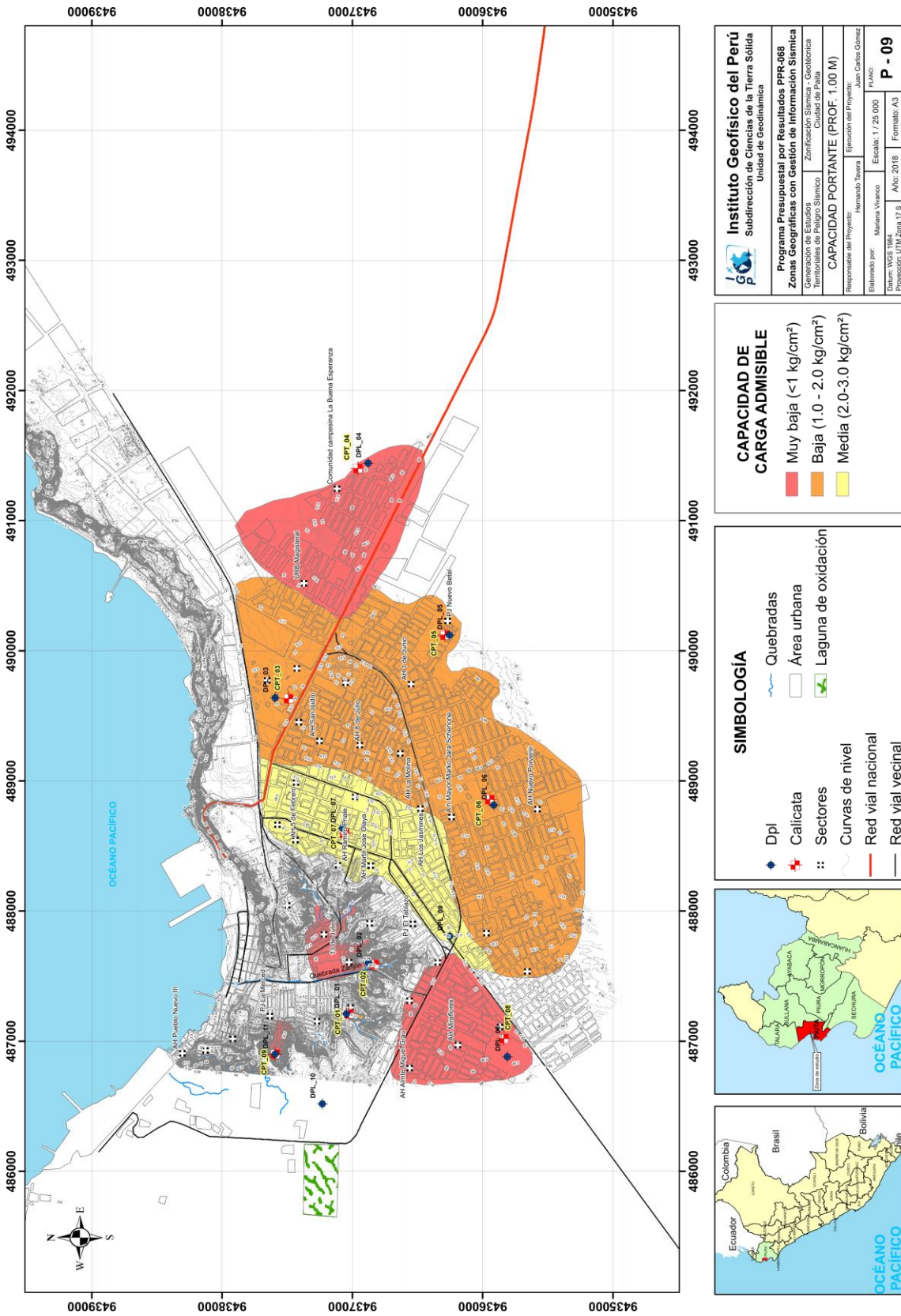


Figura 28: Mapa de capacidad de carga admisible para la ciudad de Paita y alrededores.

	Instituto Geofísico del Perú Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida Unidad de Geodinámica
	Programa Presupuestal por Resultados PPR-068 Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica Caracterización de Estructuras Geotécnicas y Geodinámicas Territoriales de Riego Sísmico. Zonificación Sísmica Geotécnica Ciudad de Paita
CAPACIDAD PORTANTE (PROF. 1.00 M)	
Responsable del Proyecto: Hernando Torres Elaborado por: Mariana Vivanco Dátum: WGS 1984 Proyección: UTM Zona 17 S	
Ejecución del Proyecto: Juan Carlos Gómez Escala: 1 / 25 000 Año: 2018 Formato: A3	
P - 09	

CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE

- Muy baja ($<1\text{ kg/cm}^2$)
- Baja ($1.0 - 2.0\text{ kg/cm}^2$)
- Media ($2.0-3.0\text{ kg/cm}^2$)

SIMBOLOGÍA

- Dpl
- Calicata
- Sectores
- Curvas de nivel
- Red vial nacional
- Red vial vecinal
- Quebradas
- Área urbana
- Laguna de oxidación



Capacidad de Carga Admisible Muy Baja: Comprende rangos de capacidad de carga admisible menores a 1.00 kg/cm^2 correspondiente a suelos limosos de baja y alta compresibilidad (ML y MH). Estos se ubican en los sectores de la comunidad campesina Buena Esperanza (CP-04) y AH Miraflores (CP-08) ubicadas en Paita Alta; por otro lado, los suelos en el PJ La Merced (CP-09) en Chacarita, San Martín Central (DPL-01) y San Martín Oriente (CP-02) ubicados en Paita Baja, presentan valores de 0.28 kg/cm^2 , 0.47 kg/cm^2 , 0.38 kg/cm^2 , 0.34 kg/cm^2 y 0.86 kg/cm^2 .

Capacidad de Carga Admisible Baja: Comprende rangos de capacidad de carga admisible de 1.00 kg/cm^2 a 2.0 kg/cm^2 correspondientes a arenas limosas (SM) que se ubican en los sectores de Urb. Sol y Mar (CP-03), Nuevo Betel (CP-05) y AH Jara Schenone y Nuevo Porvenir (CP-06), todos ubicados en Paita Alta. Estos suelos representan valores de 1.73 kg/cm^2 , 1.46 kg/cm^2 , 1.14 kg/cm^2 , respectivamente.

Capacidad de Carga Admisible Media: Comprende rangos de capacidad de carga admisible de 2.00 kg/cm^2 a 3.0 kg/cm^2 correspondientes a arenas limosas (SM) que se ubican en los sectores AH Ramiro Priale (CP-07), en Paita Alta. Estos suelos representan valores de 2.10 kg/cm^2 .

CONCLUSIONES

- En la localidad de Paita se ha identificado 06 unidades geomorfológicas: colina, loma, tablazo, terraza marina, playa y acantilado. La población del área de estudio se asienta sobre la terraza marina en el sector de Paita Baja (casco antiguo). En el tablazo se desarrollan las nuevas poblaciones e industrias pesqueras ubicadas en el sector Paita Alta.
- La población de Paita se asienta sobre un substrato rocoso constituido por rocas metamórficas tipo cuarcitas y pizarras. A estos sobreyacen, materiales recientes como areniscas calcáreas arcólicas, lutitas y margas, que corresponden a rocas sedimentarias, en estas se evidencia los depósitos marinos de coquinas y conchuelas intercaladas con areniscas arcólicas.
- Los eventos geodinámicos que afectan a la población de Paita son: Inundaciones fluviales que ocurren en el sector de Paita Baja, cerca del centro cívico (plaza de armas, municipalidad) y zonas aledañas por el desborde de la quebrada el Zanjón en épocas de ocurrencia de eventos Niño; inundaciones pluviales que ocurren en el sector de Paita Alta, debido a las precipitaciones extremas y a las características del terreno (depresiones mínimas) a las cual se les denomina cuencas ciegas; y flujos de lodo que descienden por las quebradas en épocas de precipitaciones extremas que confluyen a la quebrada principal El Zanjón. En el 2017, Paita fue afectada con la ocurrencia de los eventos mencionados anteriormente, producto del evento Niño.
- Se identificó zonas susceptibles a caídas de rocas en la parte superior al suroeste de Paita Baja, lugar donde se están emplazando nuevos asentamientos urbanos. Los bloques meteorizados pueden desprenderse y afectar a los Asentamientos Humanos de Paita Baja (San Martín Occidente, PJ La Merced y PJ San Pedro).
- Los suelos sobre los cuales se asienta la localidad de Paita corresponden a arenas pobremente graduadas (SP), arenas limosas (SM), arenas arcillosas (SC) y limos (ML y MH) de baja y alta compresibilidad.
- Los suelos tipo SM se encuentran en el sector de Paita Alta, presentan capacidad portante baja a media; los suelos tipo ML de baja compresibilidad, MH de alta compresibilidad y SC se encuentran en Paita Baja, tales presentan valores de capacidad portante muy bajos entre 0.86 kg/cm^2 a 0.38 kg/cm^2 .

**CARACTERIZACIÓN SÍSMICA Y GEOFÍSICA
DE LA CIUDAD DE PAITA**

CONTENIDO

1. METODOLOGÍA Y APLICACIÓN

1.1. Razones espectrales (H/V)

1.1.1. Adquisición de datos

1.1.2. Procesamiento de datos

1.1.3. Análisis y resultados

1.2. Análisis multicanal de ondas superficiales (MASW)

1.2.1. Adquisición de datos

1.2.2. Procesamiento de datos

1.2.3. Análisis y resultados

1.3. Tomografía de resistividad eléctrica (ERT)

1.3.1. Adquisición de datos

1.3.2. Procesamiento de datos

1.3.3. Análisis y resultados

2. ZONIFICACION SÍSMICA - GEOTÉCNICA

2.1. Integración de resultados

2.2. Mapa de Zonificación Sísmica

CONCLUSIONES

1. METODOLOGÍA Y APLICACIÓN

Para obtener el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica para el área urbana de la ciudad de Paíta se ha seguido la siguiente metodología y se ha obtenido los siguientes registros:

1.1. Razones Espectrales (H/V)

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

Para la aplicación de esta técnica se obtiene registros de vibración ambiental y se procede a construir las razones espectrales H/V que consiste en obtener el cociente de los espectros de Fourier de las componentes horizontales entre la vertical (Nakamura, 1989), a fin de identificar las frecuencias predominantes y amplificaciones máximas relativas que caracterizan al tipo de suelo presente en el área de estudio, ver Figura 1. Estas características son definidas por las condiciones geológicas y geomorfológicas de las primeras decenas de metros por debajo de la superficie. Debe entenderse que la variación de las propiedades físicas de cada capa estratigráfica superficial de diferente espesor, geometría y composición litológica, causaran o no, la amplificación de las ondas sísmicas incidentes, propiedad que es utilizada para conocer las características físicas y dinámicas del suelo.

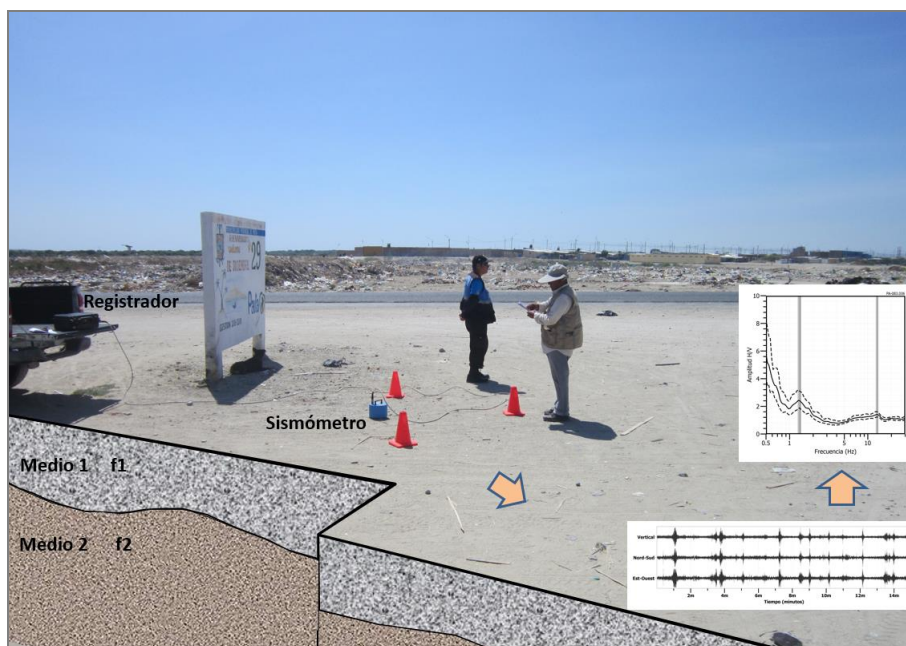


Figura 1: Registro de vibración ambiental.

1.1.1. Adquisición de datos

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



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

Para la aplicación de esta técnica se procedió, sobre el mapa catastral de la ciudad de Paita, a definir la distribución y el número de puntos para el registro de vibraciones ambientales teniendo en cuenta la información geológica y geomorfológica de la zona de estudio. Cada uno de los puntos de registro de vibración ambiental obtenidos en campo, tienen una duración de 15 minutos, lo cual permite disponer de buena cantidad de información para su posterior análisis. En el área urbana de Paita, se consideró 221 registros de vibración ambiental, distribuidos según la Figura 3.

En la Figura 4, se muestra la disposición del equipo sísmico al momento del registro de información, además de ejemplos de señales de vibración ambiental. La señal registrada en el punto PA-145 presenta bajos niveles de ruido; mientras que, la señal en PA-188, presenta diversidad de pulsos de variada amplitud, que al momento de su análisis, pueden ser filtrados, para no afectar a la información a utilizarse en este estudio.

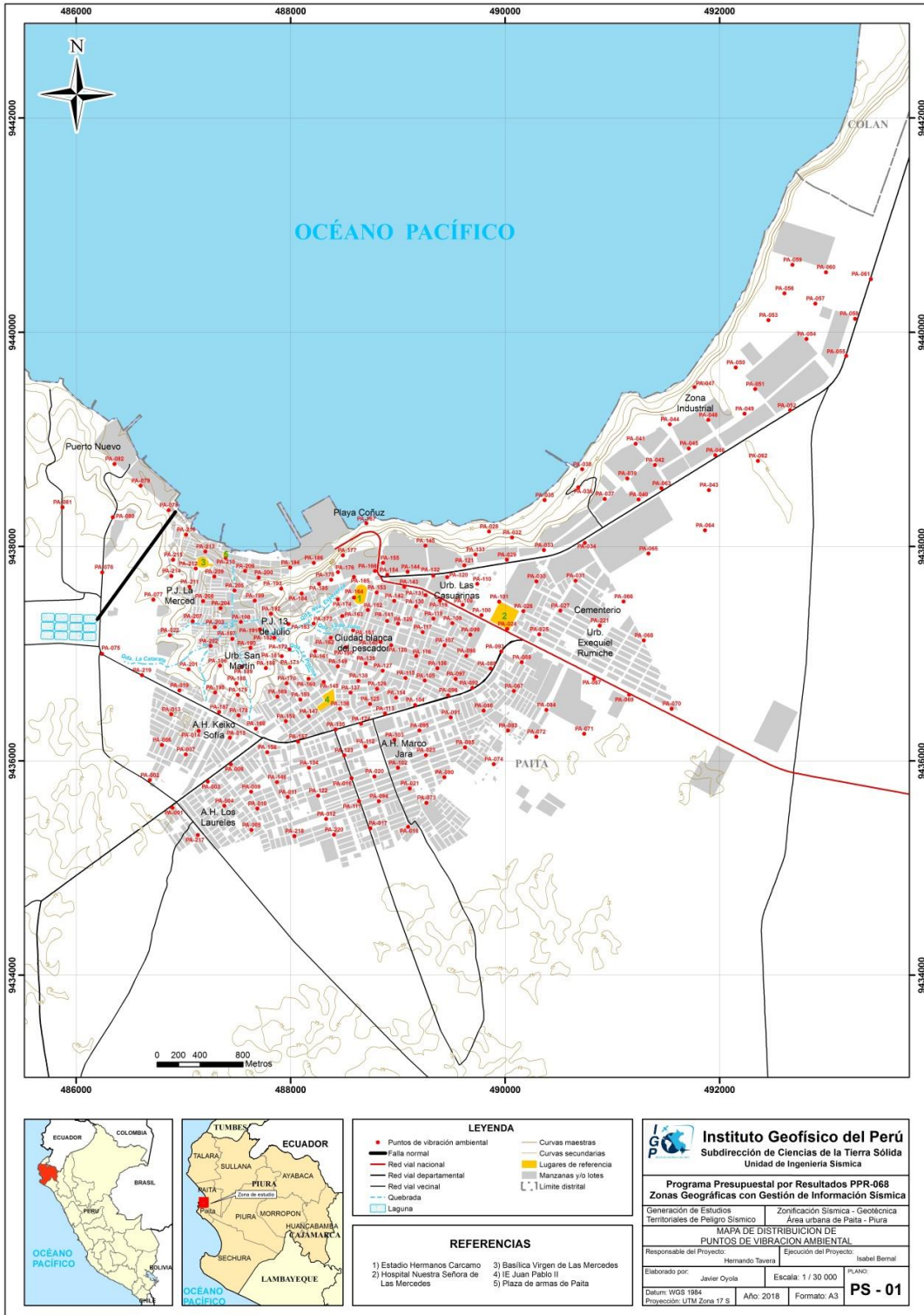


Figura 3: Mapa catastral del área urbana de Paita y distribución de puntos donde se tomaron los registro de vibración ambiental HV.

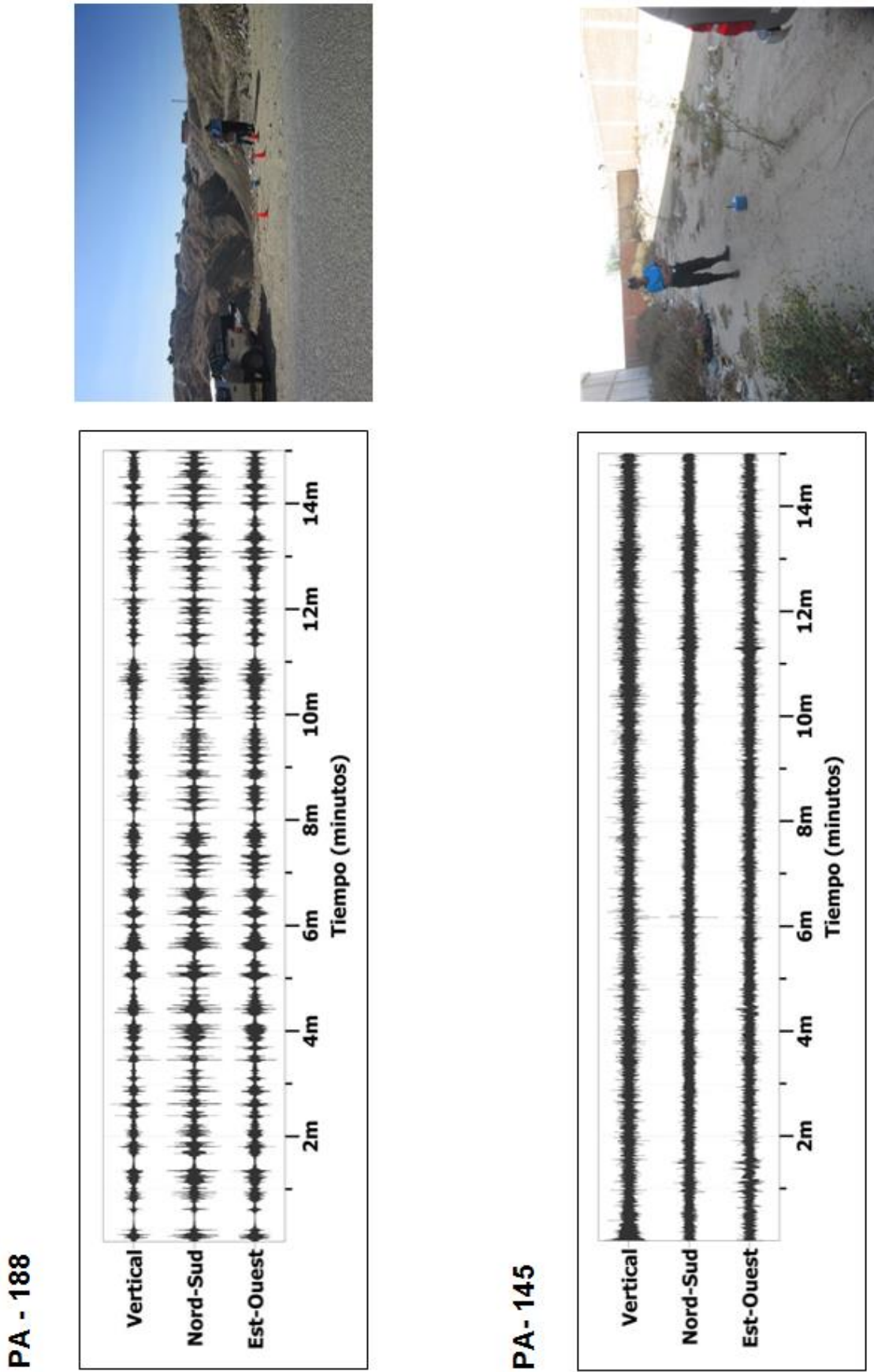


Figura 4: Ejemplos de la disposición del equipo sísmico para el registro de vibraciones ambientales. Ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos sobre una zona con ruido transitorio (PA-188) y otro con ruido de fondo constante (PA-145). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.

1.1.2. Procesamiento de datos

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

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

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

Interpretación: Para la interpretación de los resultados se dispone de mapas geológicos, geomorfológicos a fin de correlacionar resultados; en el análisis de la información se debe considerar: 1) Las frecuencias predominantes menores a 1 Hz corresponden a vibraciones generadas por el oleaje del mar y/o cambios meteorológicos (periodos muy largos); 2) Las bajas frecuencias o periodos largos son debidas a la presencia de depósitos profundos; y 3) Las frecuencias altas o periodos cortos son debidos a depósitos superficiales blandos y de poco espesor (SESAME, 2006; Bernal, 2006).

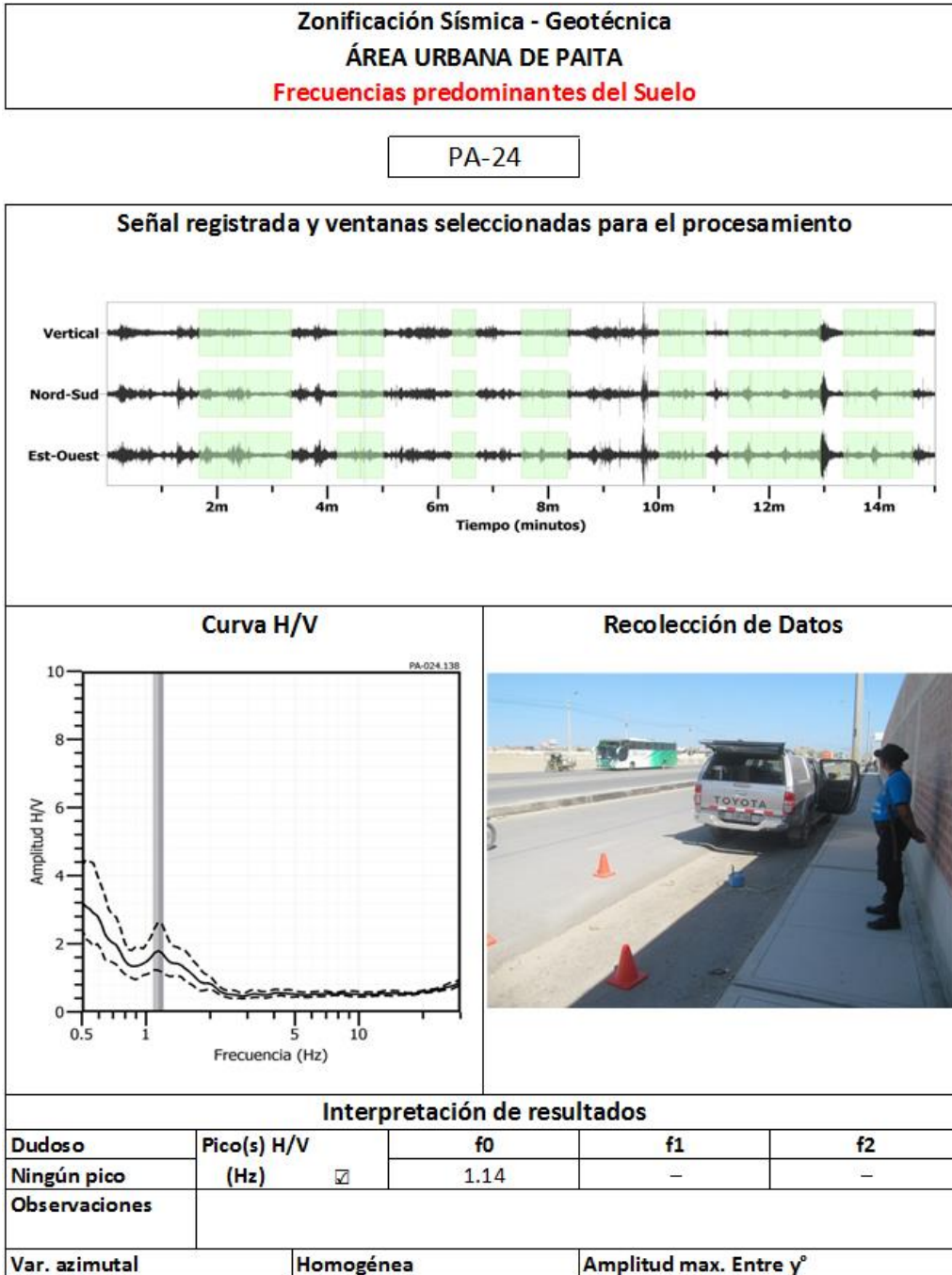


Figura 5: Ejemplo de la ficha H/V para el punto PA-25 en la cual se recopila la información registrada y analizada. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en línea discontinua y Abajo; resultados.

1.1.3. Análisis y resultados

A partir de los valores extraídos de las razones espectrales H/V, se obtiene mapas con la distribución espacial de los valores de frecuencias predominantes para dos rangos de frecuencias: F0 ($F \leq 2.0$ Hz) y F1 ($F > 2.0$ Hz). A continuación se describen sus principales características.

Frecuencia predominante F_0 : En la Figura 6, se muestra el mapa con la distribución espacial de los valores de F_0 y en la cual, predominan valores entre 0.6 y 1.9 Hz, en su mayoría con amplificaciones menores a 2 veces. Este rango de frecuencias está presente de manera uniforme en Paita Alta y en algunos puntos en Paita Baja (plaza de Armas, la Basílica).

En la Figura 7 se muestra ejemplos de razones espectrales para los puntos PA-24(D), PA-139 (G) y PA-169(I), ubicados en Paita Alta por la IE Juan Pablo II y el Hospital Nuestra Señora de las Mercedes. Todos presentan un pico definido con frecuencias de 1.14, 1.18 y 1.26 Hz y amplificaciones menores a 2 veces. Asimismo, las razones (H/V) obtenidas para los puntos PA-34(E), PA-46(F) y PA-155(H), ubicados al oeste, por la Zona Industrial, próximos a la vía hacia Colan, responden a frecuencias de 1.76, 1.72 y 1.59 Hz y amplificaciones menores a dos veces.

Los puntos PA-05(A), PA-11(B) y PA-17(C), ubicados en Paita Alta por el AA.HH Marco Jara, los suelos responden a frecuencias de 0.77, 0.78 y 0.66 Hz con amplificaciones de 3.50, 3.43 y 3.89 veces respectivamente. Estos resultados reflejan que en el área urbana de Paita, existe una capa sedimentaria de gran espesor.

Las razones espectrales para los puntos PA-179(J), PA-200(K) y PA-219(L), ubicados en el límite de Paita Alta y Paita Baja, tienen una respuesta singular, presentan un pico predominante característico de la zona de Paita Alta con frecuencias que oscilan entre 1.33, 1.52 y 1.46 Hz con amplificaciones de 2.43, 2.38 y 2.13, respectivamente, y un segundo pico con frecuencia de 4.40 para el segundo punto y 14.54 Hz para el tercer punto, con amplificaciones menores a 2. Estos ejemplos muestran una zona de transición, ya que en Paita Baja, predominan frecuencias con mayores valores. La presencia de dos picos de frecuencia muestra que existe mayor complejidad en la respuesta de los suelos, a pesar de presentar baja amplificación, a diferencia de suelos que presentan un pico bien definido con moderada amplificación.

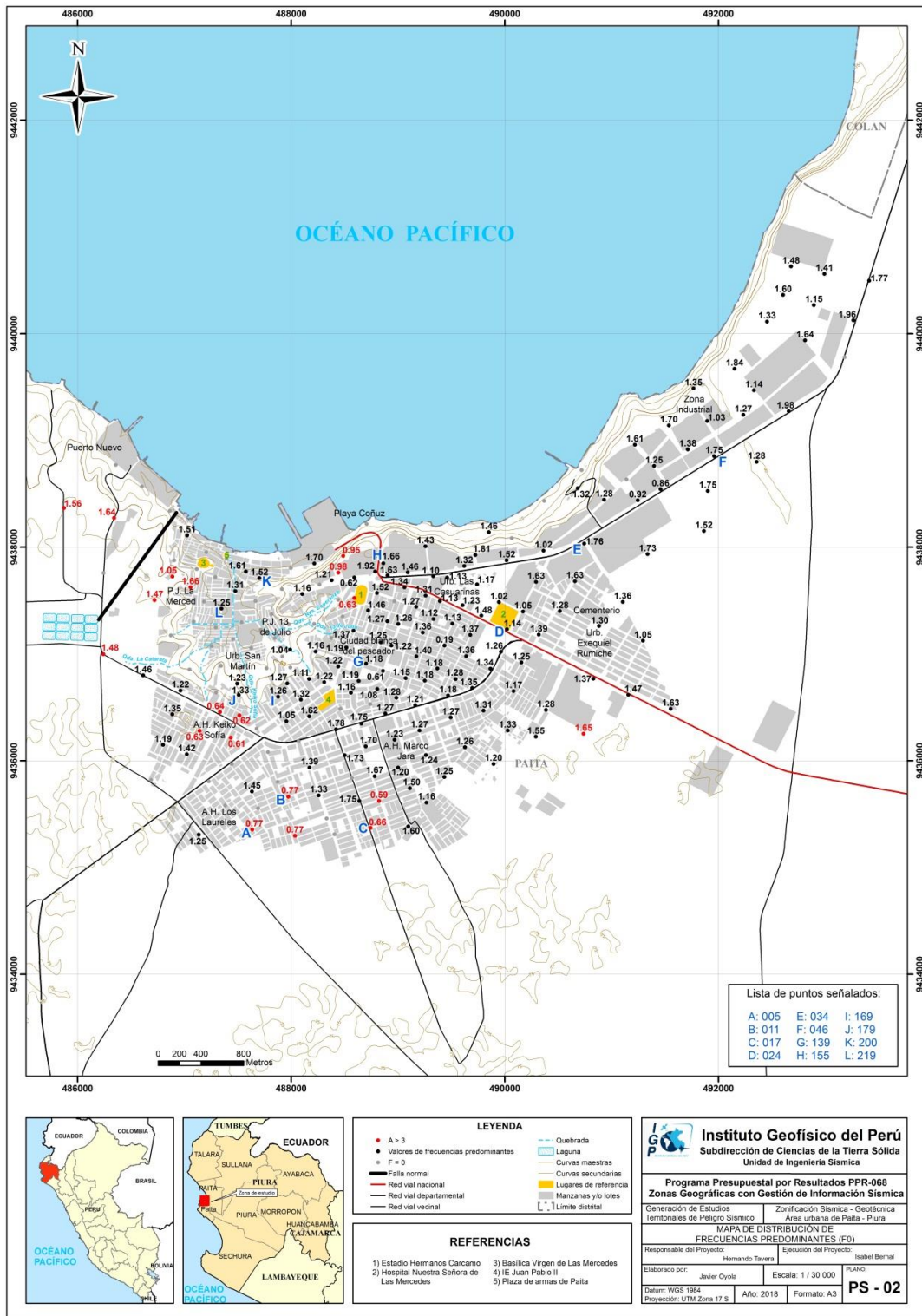
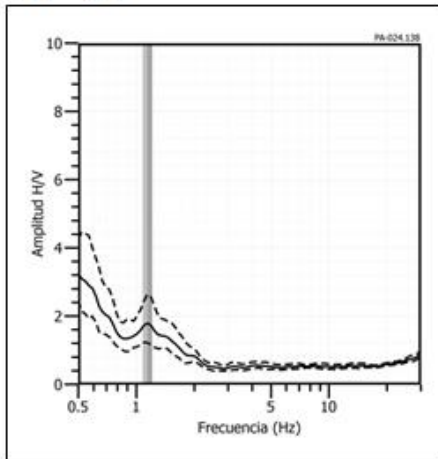
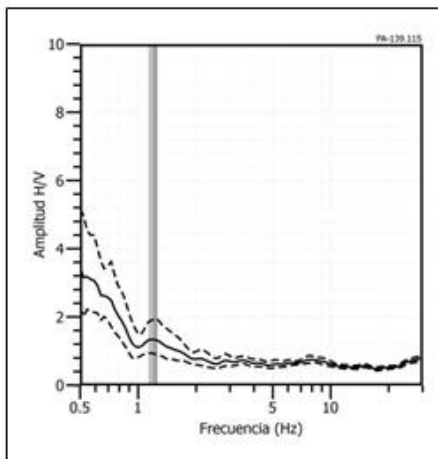


Figura 6: Mapa del área de estudio con la distribución espacial de las frecuencias predominantes F_0 ($F \leq 2.0\text{Hz}$) definidas en cada punto. Las letras indican la ubicación de los gráficos que se están considerando en la Figura 7 como característicos de este rango.

PA - 24



PA - 139



PA - 169

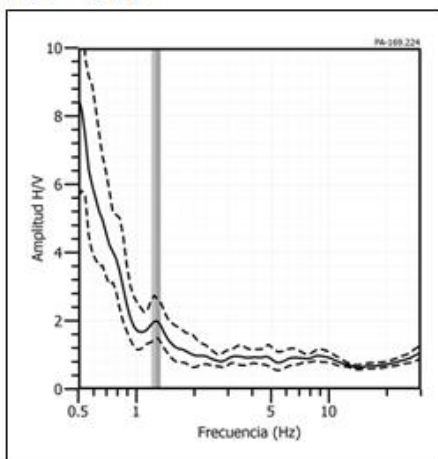
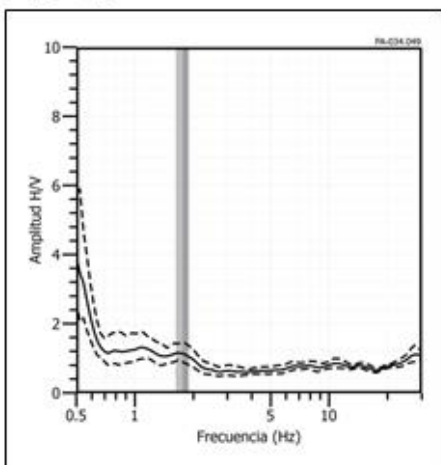
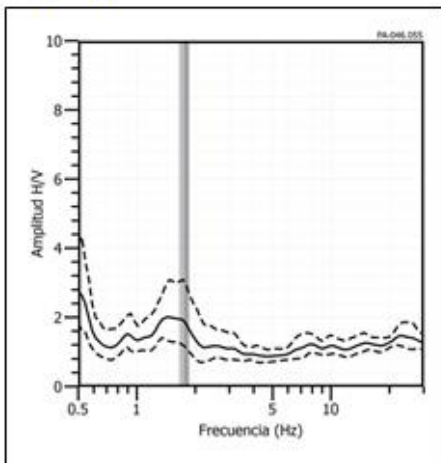


Figura 7: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F \leq 2.0\text{Hz}$): Puntos PA-24(D), PA-139 (G) y PA-169(I), ubicados en Paita Alta por el IE Juan Pablo II y cerca al hospital Nuestra Señora de las Mercedes. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

PA - 34



PA - 46



PA - 155

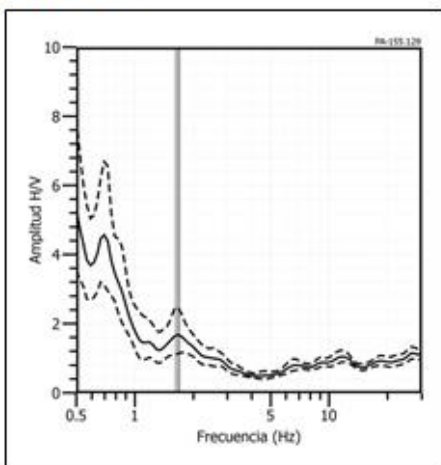
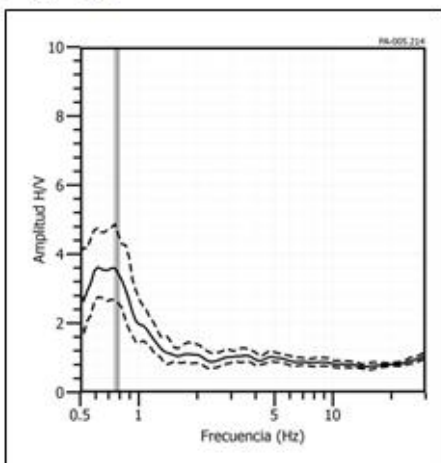
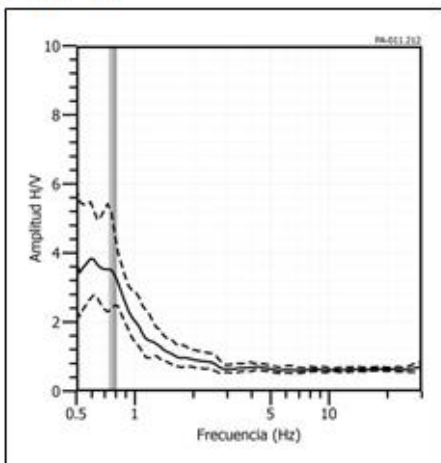


Figura 7: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F > 2.0\text{Hz}$): Puntos PA-34(E), PA-46(F) y PA-155(H), ubicados al oeste, por la Zona Industrial, próximos a la vía hacia Colan. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

PA - 05



PA - 11



PA - 17

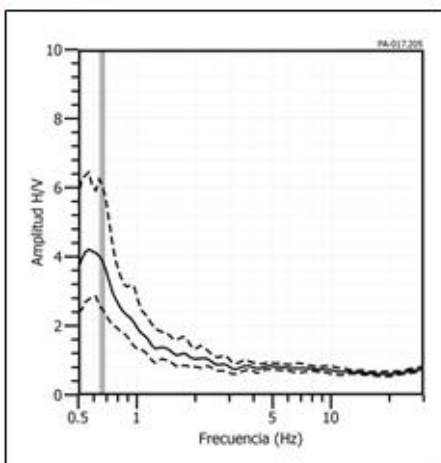
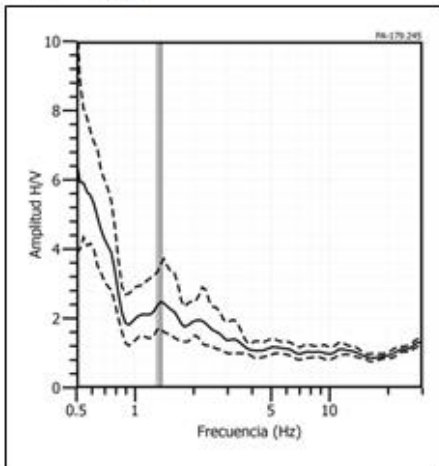
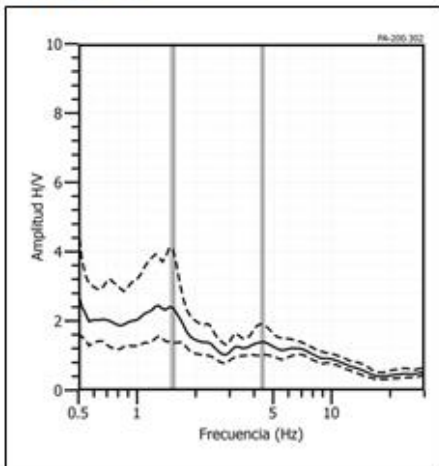


Figura 7: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F > 2.0\text{Hz}$): Puntos PA-05(A), PA-11(B) y PA-17(C), ubicados en Paita Alta por el AA.HH Marco Jara. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

PA - 179



PA - 200



PA - 219

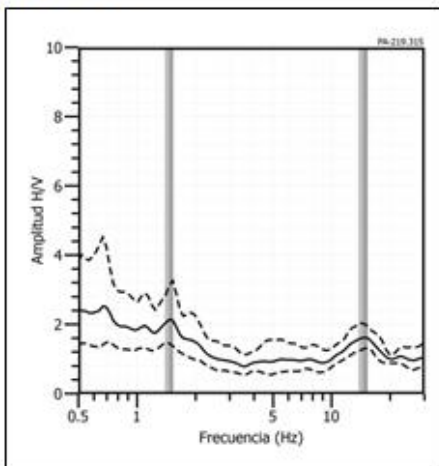


Figura 7: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F > 2.0\text{Hz}$): Puntos PA-179(J), PA-200(K) y PA-219 (L), ubicados en el límite de Paita Alta y Paita Baja. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

Finalmente, los resultados muestran que en un 75% de la ciudad, los suelos responden a frecuencias F_0 con amplificaciones menores a 2 veces, lo que evidencia la existencia de una capa sedimentaria de gran espesor que se manifiesta en gran parte del área de estudio.

Frecuencia predominante F1: En la Figura 8 se muestra la distribución espacial de las frecuencias predominantes F1 ($F > 2.0\text{Hz}$). En este rango predominan frecuencias entre 2.0 a 20 Hz con amplificaciones menores a 2 veces y presentes de manera puntual en Paita Baja y en algunos puntos hacia el sur en Paita Alta. En la Figura 9, se muestra ejemplos de los gráficos de razones espectrales que caracterizan a los suelos de esta ciudad.

Las razones espectrales (H/V) obtenidas para los puntos PA-173(D), PA-199(E) y PA-202(F), ubicados en Paita Baja, presentan un pico bien definido a frecuencias predominantes de 4.12, 3.77 y 3.97 Hz; y amplificaciones de 3.25, 1.27 y 1.74, respectivamente. Esto evidencia que en esta área existe una capa sedimentaria de menor espesor que la que se presenta en todo Paita.

Sin embargo, los puntos PA-28(A), PA-58(B) y PA-83(C), ubicados el primero cerca a la playa, el segundo en Paita Alta y el tercero por la zona Industrial, responden a dos picos de frecuencias. El primer rango, es el que se presenta en toda el área de estudio con frecuencias de 1.46, 1.33 y 1.96Hz; con amplificaciones relativas de 1.86, 2.41 y 1.42 veces. El segundo pico se presenta con frecuencias de 13.19, 13.12 y 12.56 Hz y amplificaciones menores a 2 veces; esto quiere decir que, los suelos en estas zonas responden a dos rangos de frecuencias.

El análisis de razones espectrales H/V en el área urbana de Paita, ha permitido identificar dos rangos de frecuencias: F_0 ($\leq 2.0\text{ Hz}$) y F_1 ($> 2.0\text{ Hz}$). El primer rango es más predominante (0.60 a 1.98 Hz) y se presenta de manera uniforme, en toda el área de estudio a excepción de algunas zonas en Paita Baja y por la zona industrial.

Los suelos en Paita Baja responden principalmente a frecuencias F_1 y así como en algunos puntos al sur por Paita Alta.

El rango de frecuencias F_0 están asociadas principalmente a la presencia de una capa sedimentaria de gran espesor, aunque en Paita Baja, donde existen frecuencias con valores altos, la capa sedimentaria, tiene menor espesor.

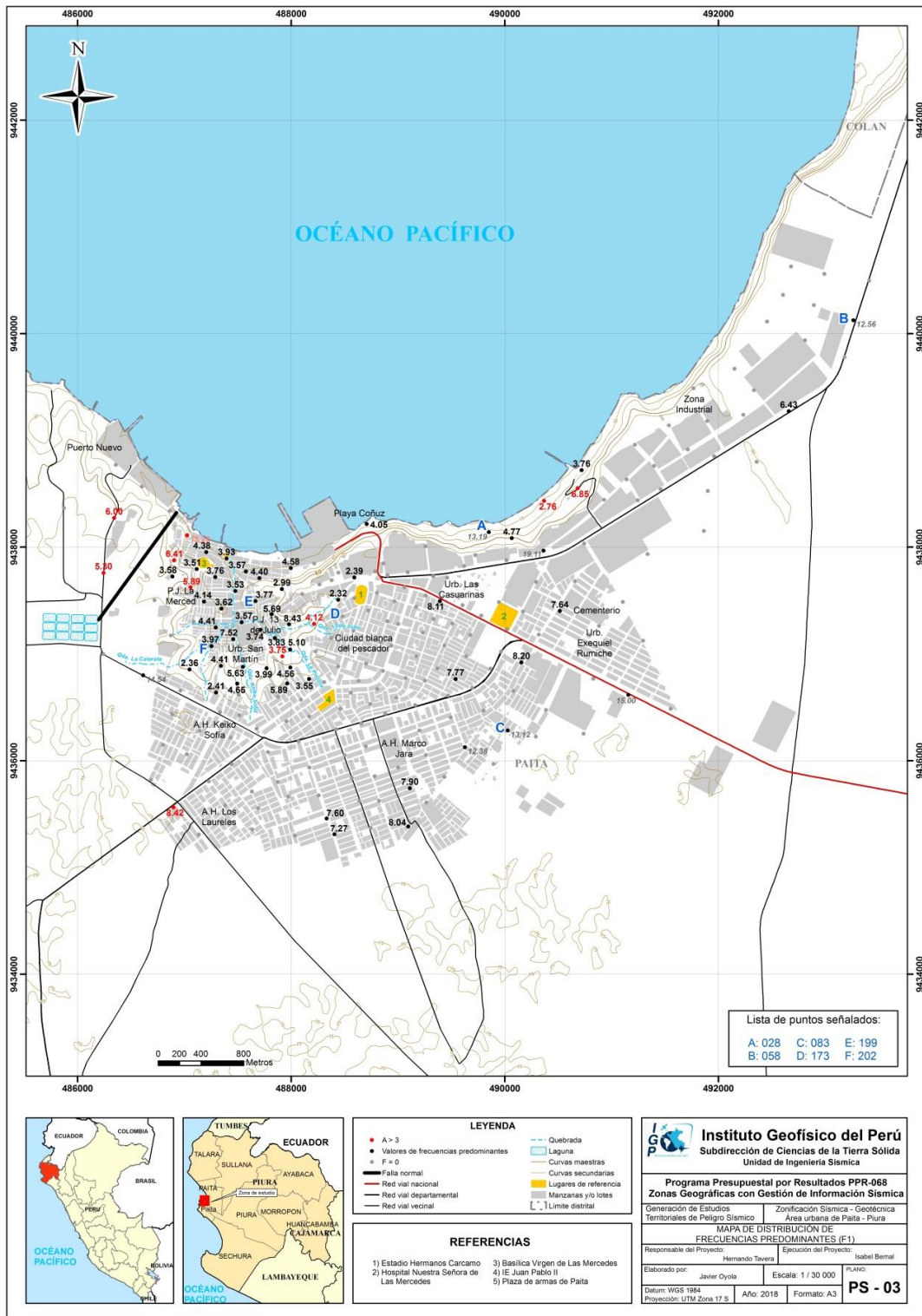
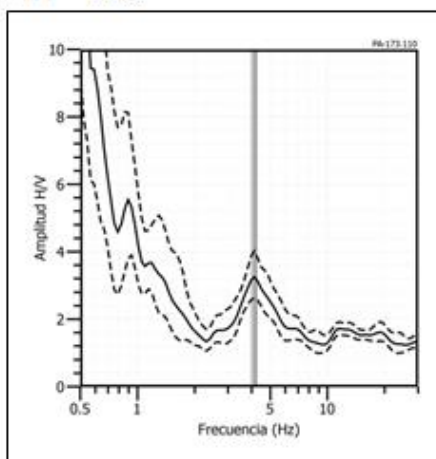
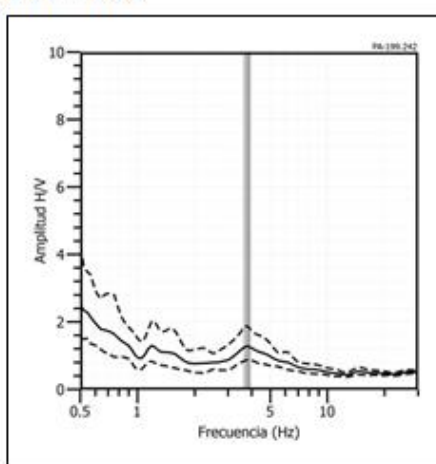


Figura 8: Mapa del área de estudio con la distribución espacial de las frecuencias predominantes F1 (F > 2.0 Hz). Las letras indican la ubicación de los gráficos que se están considerando en la Figura 9 como característicos de este rango.

PA - 173



PA - 199



PA - 202

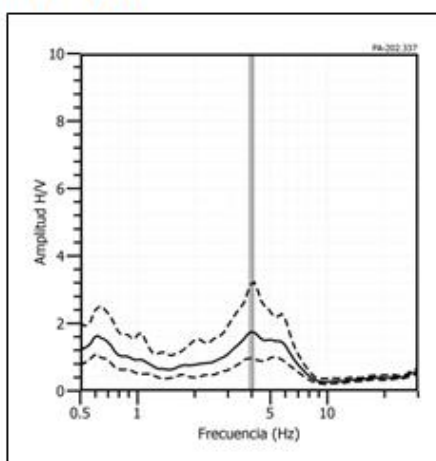
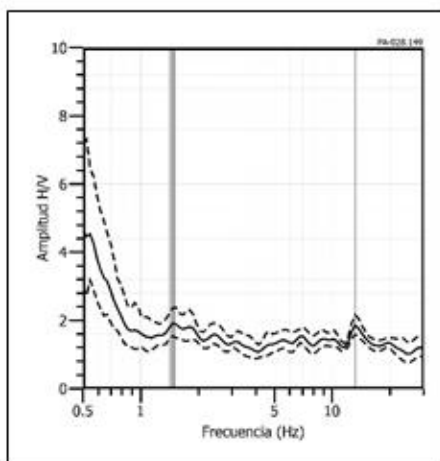
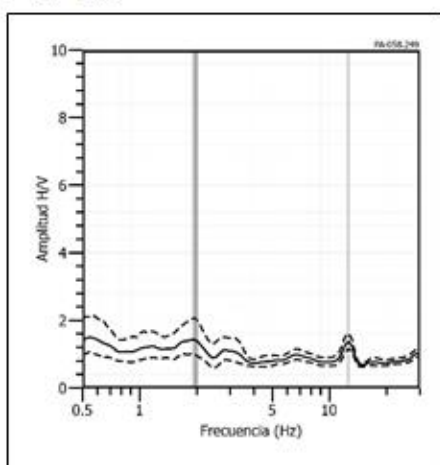


Figura 9: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$): Puntos PA-173(D), PA-199(E) y PA-202(F), ubicados en Paita Baja. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

PA - 28



PA- 58



PA- 83

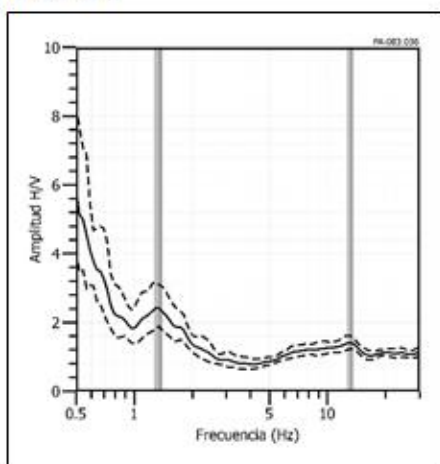


Figura 9: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$): Puntos PA-28(A), PA-58(B) y PA-83(C), ubicados el primero cerca a la playa, el segundo en Paita Alta y el tercero por la zona Industrial. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

1.2. Análisis Multicanal de ondas Superficiales (MASW)

El arreglo lineal MASW es un método indirecto y permite determinar la estratigrafía del subsuelo bajo un punto; es decir, permite conocer la velocidad de propagación de las ondas de corte (V_s) en el subsuelo, a partir del análisis de la dispersión de ondas superficiales (ondas Rayleigh), generados por una fuente de energía impulsiva y registrada por arreglos lineales de estaciones sísmicas, tal como muestra la Figura 10.

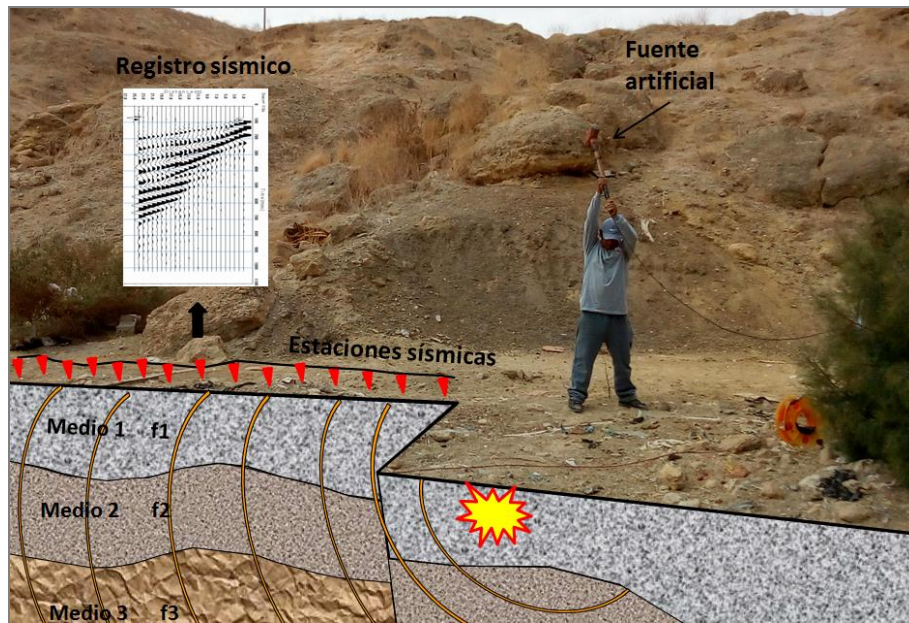


Figura 10: Generación de ondas Rayleigh con fuente artificial y su respectiva curva de dispersión.

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

1.2.1. Adquisición de datos

Para el registro de datos se ha utilizado un equipo sísmico (sismómetro) de uso multipropósito, modelo GEODE de Geometrics, 24 sensores o geófonos de baja frecuencia (4.5 Hz). Como fuente de impacto y/o energía para generar las ondas sísmicas, se utilizó un martillo de 20 lbs, ver Figura 11. Los parámetros de registro, tales como la geometría del tendido, espaciamiento entre geófonos, fue variable ya que

dependió de la geomorfología de la zona de estudio y accesibilidad. La frecuencia de muestreo fue de 4000 Hz (0.25 ms) con un pre-trigger de -0.1s y una longitud de registro de 2 segundos.

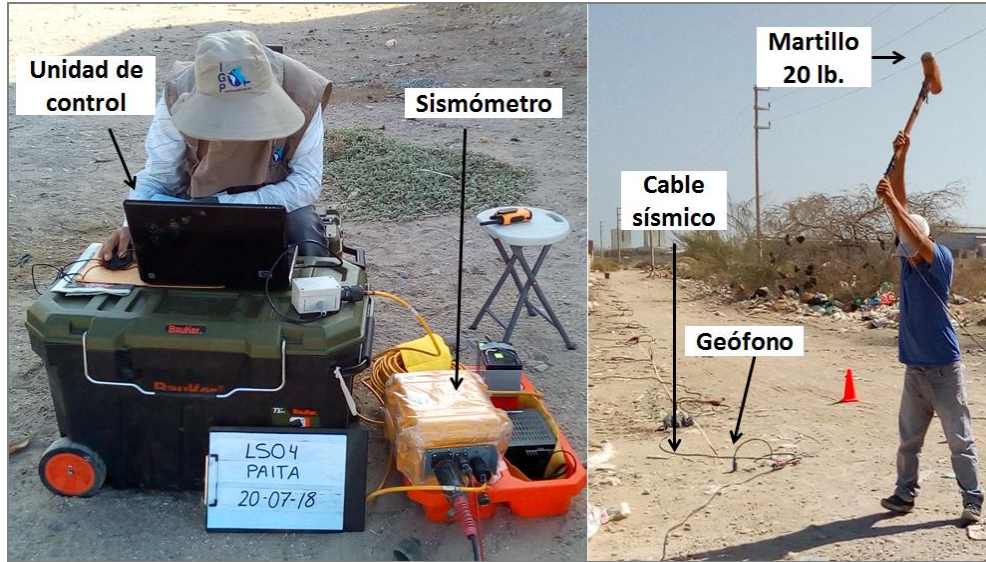


Figura 11: Equipo sísmico para la toma de datos de MASW en Paita.

En el distrito de Paita se realizaron 08 arreglos lineales MASW, cuyas coordenadas se muestran en la Tabla 1 y en la Figura 12 su distribución espacial, codificadas como: LS01-PA, LS02-PA,...y LS08-PA.

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

Arreglo lineal MASW	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre geófonos (m)	Longitud total (m)
LS01-PA	487117	9437399	35	4	92
	487124	9437495	40		
LS02-PA	487585	9436815	33	4	92
	487612	9436902	32		
LS03-PA	488796	9436989	91	4	92
	488826	9437076	92		
LS04-PA	489605	9437495	76	4	92
	489652	9437573	75		
LS05-PA	491114	9437464	79	4	92
	491159	9437385	80		
LS06-PA	488959	9436088	80	4	92
	488930	9436174	79		
LS07-PA	487826	9437524	33	4	92
	487912	9437548	41		
LS08-PA	487477	9435427	77	4	92
	487531	9435350	76		



Figura 12: Mapa del área urbana del distrito de Paita y distribución espacial de los arreglos lineales MASW codificadas como: LS01-PA, ..., LS08-PA.

Durante su adquisición se visualiza los datos sísmicos (sismogramas), a fin de verificar su calidad de la data y el nivel de ruido, tal como se observa en la Figura 13. Para mejorar la relación señal/ruido fue necesario realizar apilamientos de señales (sumatoria de registros sísmicos), realizando de cuatro a cinco golpes en cada punto “shot”. Finalmente, se realiza el procesamiento preliminar para determinar si la profundidad y la velocidad sísmica obtenida son coherentes con la geología local.

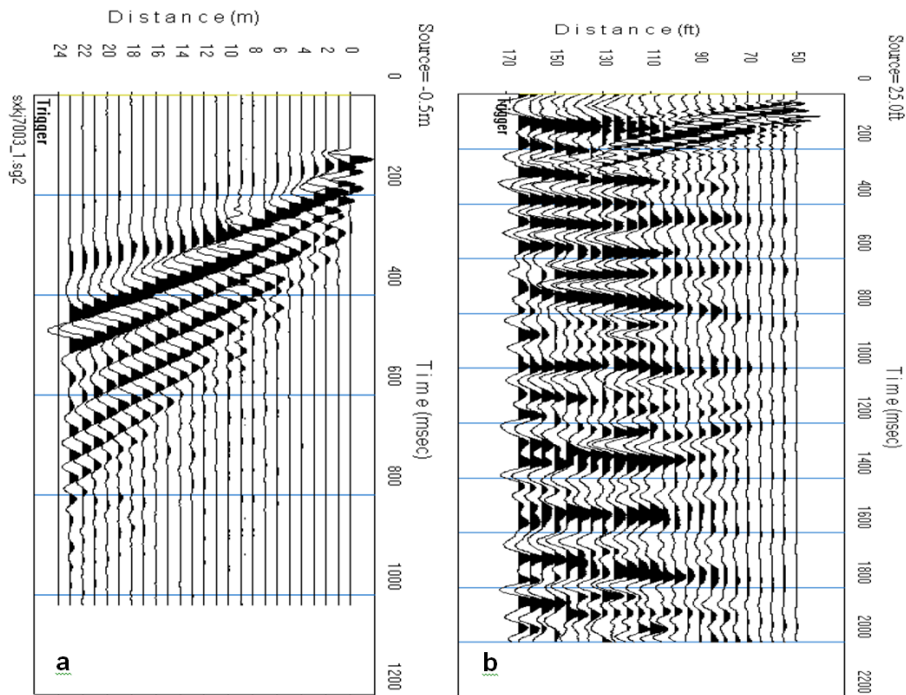


Figura 13: a) Registro sísmico con bajo contenido de ruido ambiental; es decir, alta calidad. b) Registro sísmico con alto contenido de ruido ambiental.

En la Figura 14, como ejemplo se muestra la disposición del equipo y el registro sísmico obtenido para la línea sísmica LS06-PA, realizada en el A.H. Marco Jara. El sismograma contiene las señales sísmicas con presencia de bajo ruido ambiental, registrados por sensores ubicados a lo largo de la línea y cuyo punto de disparo se encuentra a una distancia de 3 metros al final de la línea sísmica.

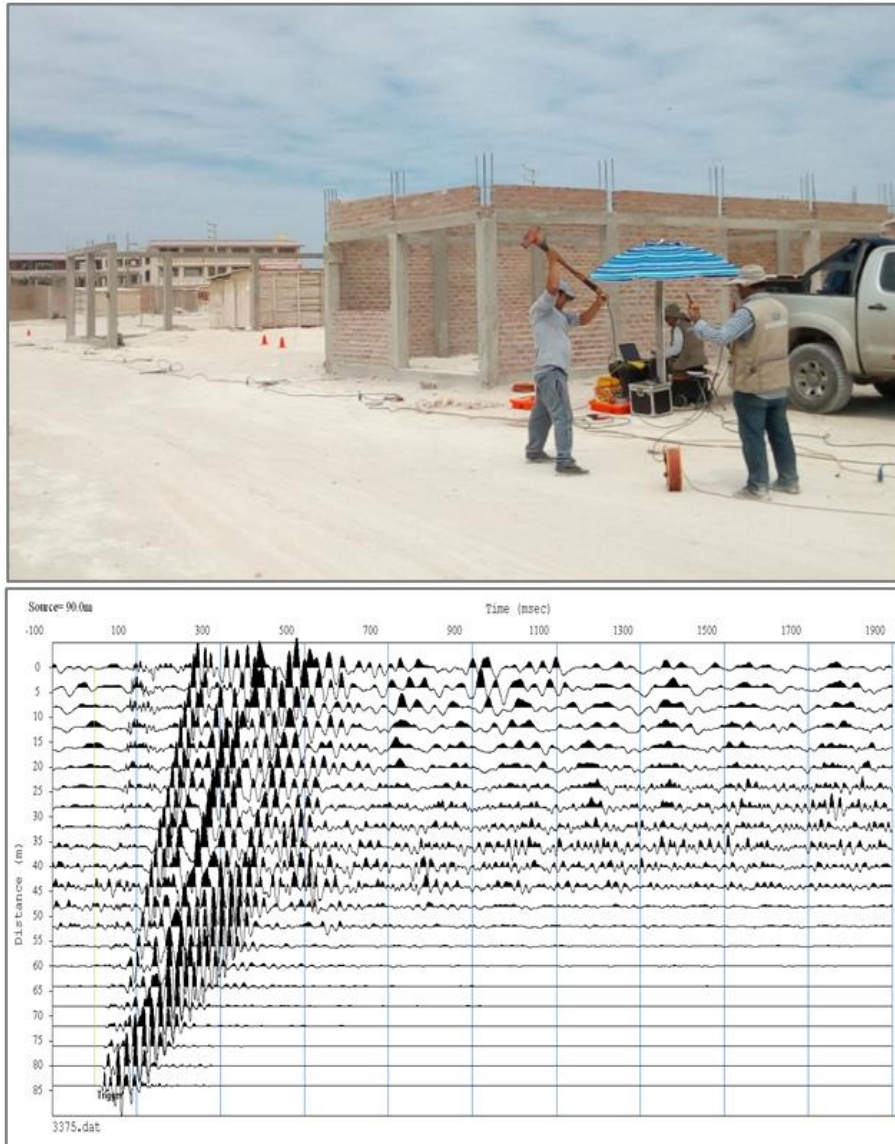


Figura 14: Disposición del equipo de adquisición por el método MASW y registro sísmico obtenido.

1.2.2. Procesamiento de datos

Consiste en aplicar la transformada rápida de Fourier (FFT) en los registros sísmicos obtenidos para cada punto de disparo (Reynolds, 2011), lo cual permite la transformación de los datos y como resultado una imagen de dispersión que relaciona la velocidad de fase de las ondas superficiales con la frecuencia. Una vez obtenidas las curvas de dispersión pertenecientes a un mismo arreglo MASW son sometidas de forma individual a un proceso matemático de inversión a fin de obtener los perfiles Vs en una dimensión (1D). Para ello se considera como parámetros de entrada la profundidad (30 m) y el número de capas (15 capas). Finalmente, los perfiles Vs son promediados obteniendo un perfil unidimensional final para cada línea sísmica. Todo este procedimiento permite, a través de una línea sísmica, obtener un perfil 1D ubicada en la

parte media de dicha línea. Los resultados, al ser analizados, proporcionan información útil sobre las características físicas del subsuelo (Park, 2014; Roma, 2010; Socco et al., 2008). El procesamiento fue realizado en el programa de computación Seislmager.

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

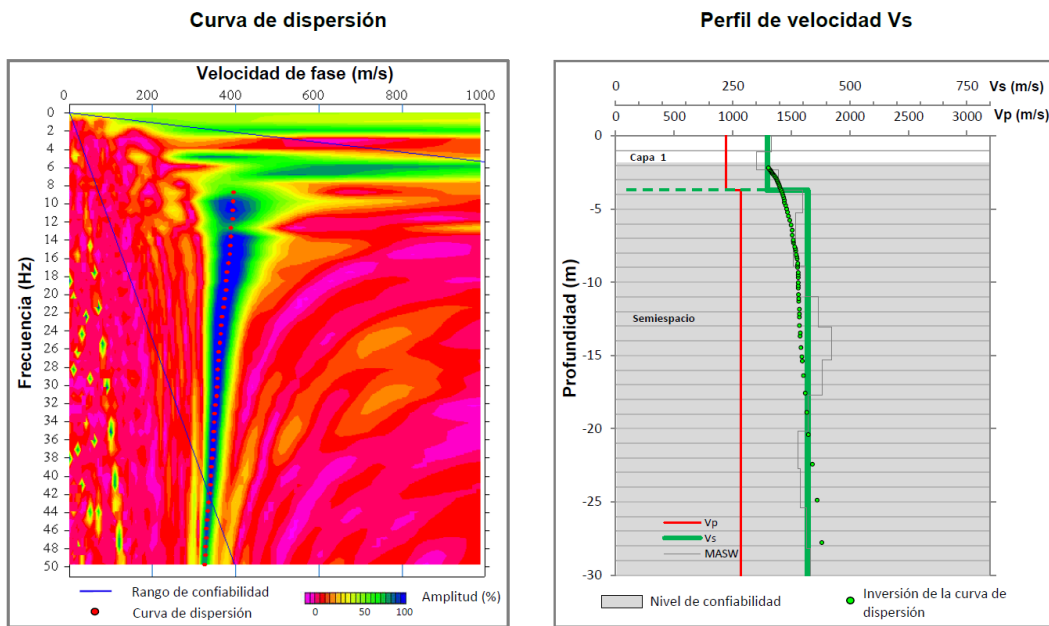


Figura 15: a) Curva de dispersión y b) perfil de velocidad obtenido a partir de la técnica de MASW.

Interpretación: Para el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en este ítem se considera la clasificación de suelos según la Norma E.030-2018. En este caso, el rango de velocidad de los perfiles de suelo S1 y S2 se subdividen a fin de considerar dos clasificaciones adicionalmente. Asimismo, esta nueva clasificación del perfil del suelo es representado con colores, ver Tabla 2.

Tabla 2: Clasificación de perfiles de suelo, a partir de la norma E.030.

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

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

1.2.3. Análisis y resultados

Los modelos de velocidad (Vs) resultan ser información muy útil en materia de riesgo sísmico y reconocimiento general, de la estructura y naturaleza del subsuelo.

El procesamiento de los registros sísmicos permitió llegar hasta profundidades de 30 metros para cada línea sísmica. En el siguiente ítem se describe los resultados obtenidos, agrupados según similitud de velocidad (Vs) y ubicación.

Perfiles de velocidad de ondas de corte Vs

Línea sísmica LS01-PA y LS07-PA: Distribuidas en la parte baja de Paita, ambas líneas realizadas en el P.J. la Merced (LS01) y en el P.J. 13 de Julio (LS07), ver Figura 12. Indican la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera, de 4 a 7 metros de espesor y velocidades Vs entre 130 a 175 m/s, lo cual sugieren suelos blandos, la segunda capa, con velocidades Vs que varían entre 226 a 279 m/s y espesores entre 7 a 9 metros asociadas a suelos moderadamente rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades Vs > 353 m/s, lo cual sugiere la presencia de suelos rígidos.

Línea sísmica LS02-PA: Realizada en la parte baja de Paita, en el P.J. San Martín Oriate (Figura 12). Indica la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera de 7 metros de espesor y velocidades Vs de 192 m/s correspondiente a suelos

moderadamente rígidos; la segunda, con velocidad V_s de 368 m/s y 11 metros de espesor que sugieren la presencia de suelos rígidos. El semiespacio con velocidad de $V_s > 684$ m/s, sugieren la presencia de suelos muy rígidos o rocas blandas.

Línea sísmica LS03-PA, LS05-PA y LS08-PA: Distribuidos en la parte alta de Paita (hacia sureste) y realizadas en la urbanización Ciudad del Pescador (LS03), urb. Exequiel Rumiche (LS05) y en el A.H. Los Laureles (LS08), ver Figura 12. Indican la presencia de suelos conformados por una capa sísmica de 4 metros de espesor y velocidades V_s entre 310 a 339 m/s, que sugieren la existencia de suelos moderadamente rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades $V_s > 410$ m/s que sugieren la presencia de suelo rígido.

Línea sísmica LS04-PA: Realizada en la Urb. Las Casuarinas (Paita Alta), ver Figura 12. Indican la presencia de suelos conformados por una capa sísmica de 23 metros de espesor y velocidades V_s de 441 m/s que sugiere la presencia de suelos rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades $V_s > 521$ m/s que sugiere la presencia de suelos muy rígidos o rocas blandas.

Línea sísmica LS06-PA: Realizada al sureste del área urbana, en el A.H. Marco Jora (Paita Alta), ver Figura 12. Indica la presencia de suelos conformados por una capa sísmica de 5 metros de espesor y velocidades V_s de 470 m/s, que junto a la superficie de contacto con el semiespacio ($V_s > 410$ m/s), sugieren la existencia de suelos rígidos.

En la Tabla 3, se resume los valores de velocidades de ondas de corte (V_s) para los distintos tipos de perfiles de suelo, según los valores de la Tabla 2. En la Figura 16, se presenta los resultados del arreglo sísmico LS01 y para el resto, ver Anexos.

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

Línea Sísmica	N° DE CAPA						VS30 (m/s)
	1		2		Semiespacio		
	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	
LS01-PA	130	4	226	7	353	-	252
LS02-PA	192	7	368	11	684	-	342
LS03-PA	339	4	445	-	-	-	431
LS04-PA	441	23	521	-	-	-	451
LS05-PA	324	4	410	-	-	-	397
LS06-PA	470	5	430	-	-	-	432
LS07-PA	175	7	279	9	455	-	287
LS08-PA	310	4	424	-	-	-	401

	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)

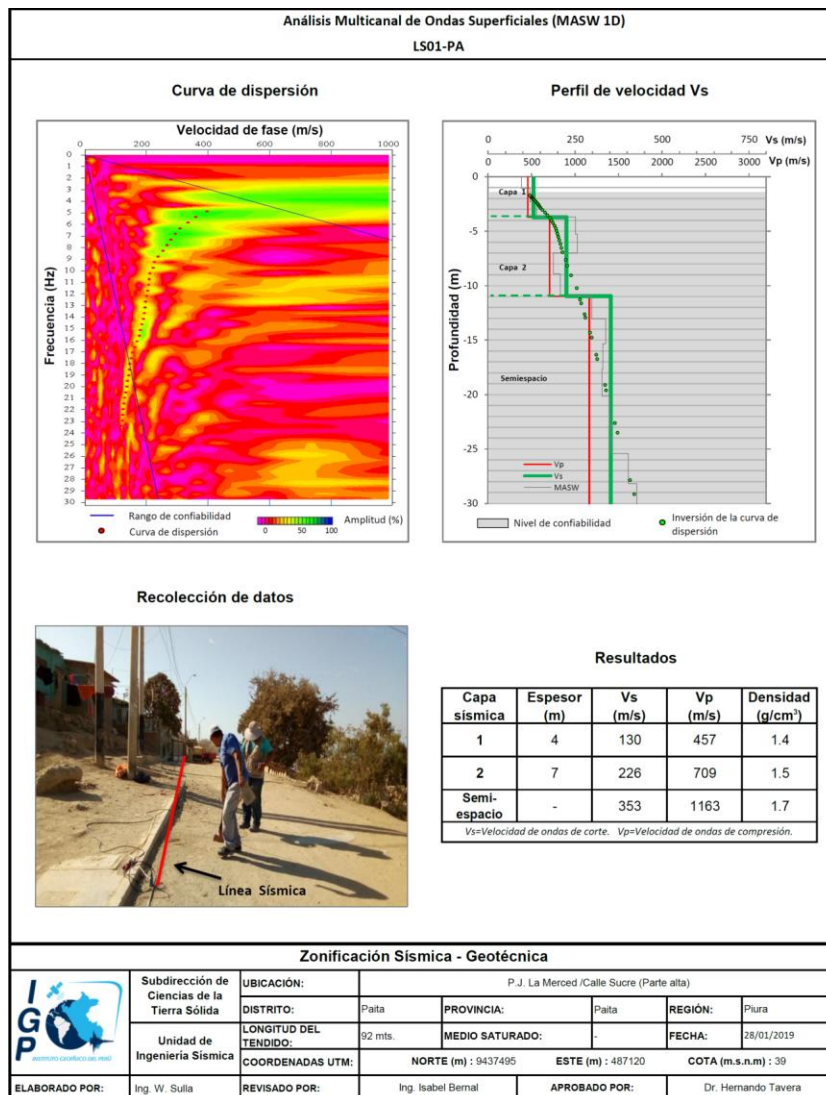


Figura 16: Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS01-PA.

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

La ciudad de Paita muestra una geomorfología accidentada en el cual se diferencian principalmente dos niveles topográficos, el primero se encuentra a pocos metros sobre el nivel del mar (Paita Baja) y el segundo, por encima de los 80 metros del nivel del mar (Paita Alta). Los suelos sobre el cual se encuentra Paita Baja corresponde a suelos blandos de 4 a 7 metros de espesor el cual desaparece hacia el sur (P.J. San Martín); como, debajo de este se encuentran suelos moderadamente rígidos y a mayor profundidad suelos rígidos; es decir, existe un incremento de la rigidez del suelo hasta la profundidad investigada (30 metros). Según lo expuesto, el material más desfavorable corresponde a los suelos de la capa superficial, esta capa está caracterizada por areniscas y lutitas, ver Figura 17.



Figura 17: Suelos blandos en el área urbana de Paita Baja.

En cuanto a los suelos superficiales emplazados en Paita Alta, en algunos sectores se considera como suelos moderadamente rígidos de 4 metros de espesor y distribuidos hacia el sur y sureste (por las urbanizaciones Ciudad Blanca del Pescador y Exequiel Rumiche y por el A.H. Los Laureles), en el resto del área, se considera la existencia de suelos rígidos. Por debajo se encuentran los suelos rígidos cuyo espesor supera la profundidad investigada, a excepción del sector noreste (Urb. las Casuarinas), donde a los 18 metros de profundidad indican suelos muy rígidos, ver Figura 18. De acuerdo a la geología local los suelos superficiales en Paita Alta, sugieren la presencia de depósitos de gravas con intercalación de material marino, motivo por el cual sugiere alta compacidad.

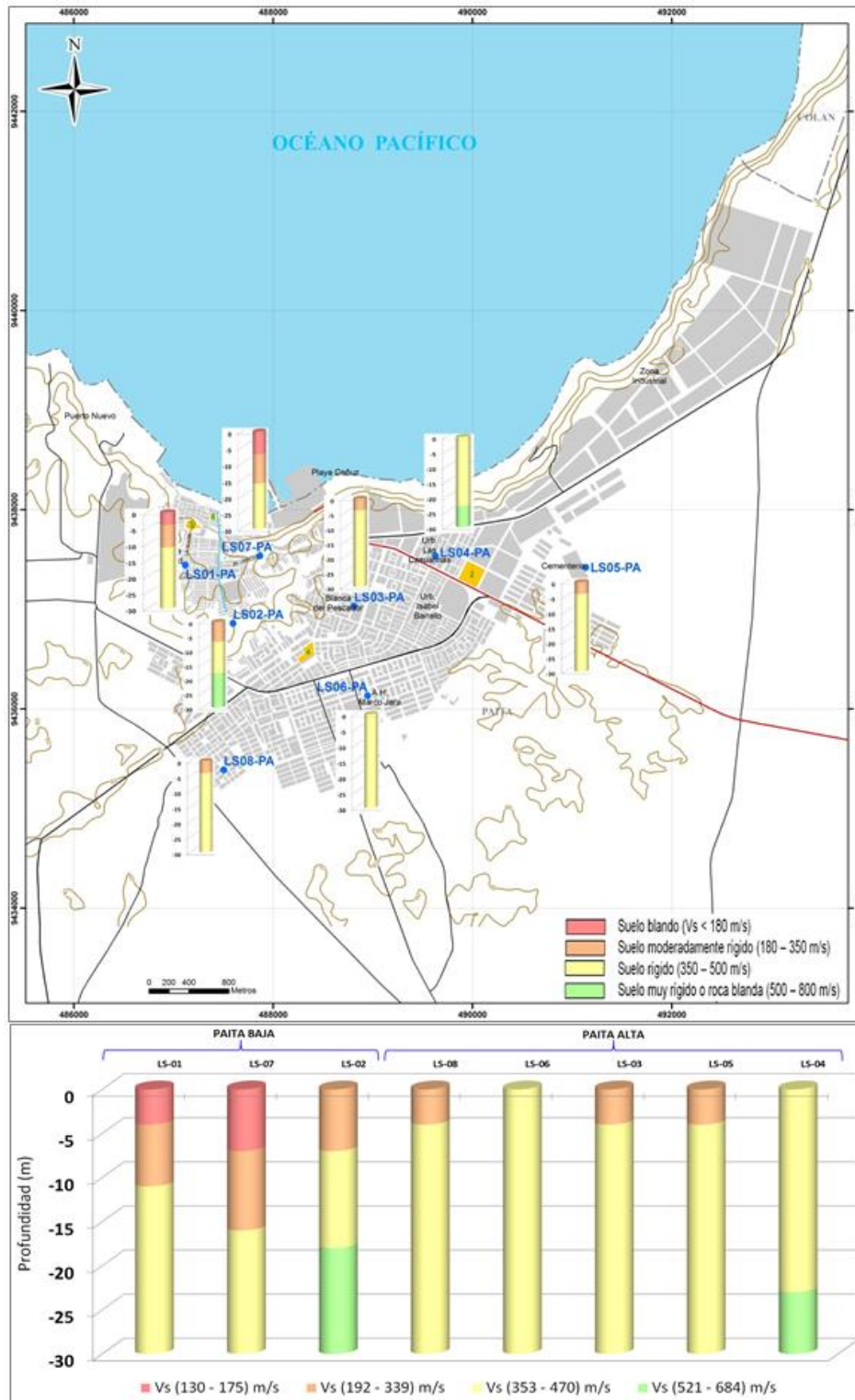


Figura 18: Variación de espesores de los suelos moderadamente rígidos en el área urbana de Paita.

1.3. Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT)

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

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

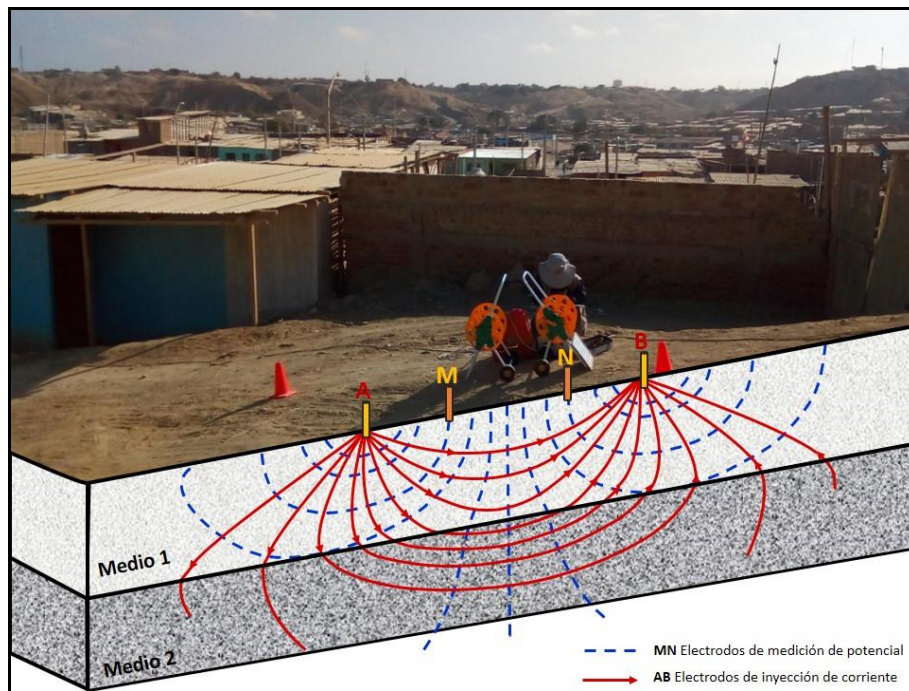


Figura 19: Principio del método de resistividad (LE01-PA).

Para la obtención de valores de resistividad aparente se ha realizado líneas de tomografía eléctrica con el dispositivo polo-dipolo y cuya distribución se muestra en la Figura 20. La profundidad de investigación depende de la separación entre electrodos, si se aumenta la distancia entre los electrodos aumenta la profundidad de alcance pero disminuye la resolución.



Figura 20: Mapa de la ciudad de Paita y distribución espacial de las líneas de tomografía eléctrica codificadas como: LE01-PA, ... LE6-PA.

1.3.1. Adquisición de datos

Para el registro de información se utilizó un equipo de Resistividad / IP Syscal Pro de marca Iris Instruments, cables y accesorios. En el área urbana de Paita se han realizado 06 líneas de tomografía eléctrica (Figura 20), con el dispositivo polo-dipolo y la distribución de 30 electrodos. Para las líneas se consideró un espaciamiento de 10 metros, entre cada electrodo lo cual permitió tener alcances en profundidad en el orden de los 40 metros, sobre un tendido longitudinal que variaba de 150 y 290 metros. Estas longitudes varían de acuerdo a los espacios libres encontrados en el área urbana.

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

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

Línea Eléctrica	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre electrodos (m)	Longitud total (m)
LE01-PA	487128	9437555	29	10	240
	487095	9437313	28		
LE02- PA	487624	9436960	30	10	190
	487570	9436767	37		
LE03- PA	488865	9437185	74	10	290
	488763	9436910	75		
LE04- PA	489887	9437723	72	10	290
	489738	9437451	74		
LE05- PA	491088	9437522	73	10	240
	491204	9437296	72		
LE06- PA	489039	9436114	72	10	150
	488879	9436061	72		

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

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

En la Figura 21, se presenta la disposición del equipo eléctrico en campo y un ejemplo del análisis preliminar de los datos obtenidos.

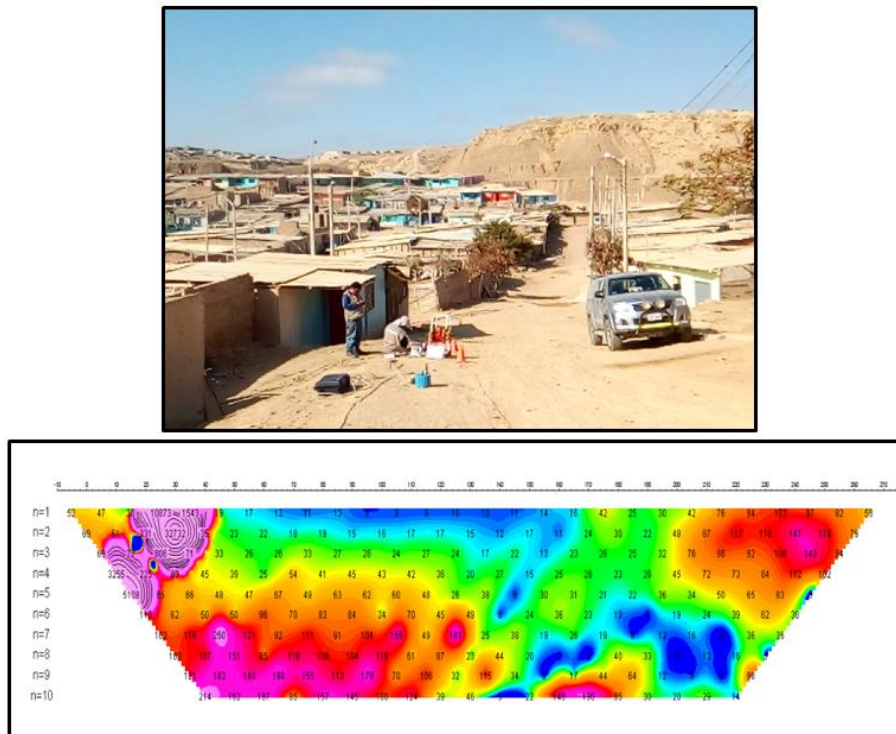


Figura 21: Adquisición de datos de la línea LE1-PA. Arriba, disposición del equipo de resistividad en el Pueblo Joven la Merce; abajo, la pseudosección obtenida.

1.3.2. Procesamiento de datos

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

configuración del subsuelo, incluyendo la corrección por topografía.

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

Interpretación: La interpretación de la información considera todos los factores posibles que puedan influir en los resultados; es decir, grado de saturación del terreno, porosidad y la forma del poro, la salinidad del fluido, el tipo y composición de la roca, la temperatura, los procesos geológicos que afectan a los materiales y la presencia de materiales arcillosos con alta capacidad de intercambio catiónico. Considerando la existencia de una estrecha relación entre la resistividad eléctrica y el grado de saturación del terreno, es posible definir la posible ubicación de las áreas de filtración y las zonas saturadas en el subsuelo. De existir incrementos de fluidos en el terreno estos se verán reflejados por una disminución en valores de resistividad.

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

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

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

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

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

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

Para el presente estudio, se ha considerada los rango de resistividades propuestas en la Tabla 5.

Tabla 5: Rangos de Resistividades.

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

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

1.3.3. Análisis y resultados

Los valores de resistividad del suelo son una información muy útil puesto que permite identificar aquellos suelos que presentan alto contenido de humedad y la profundidad del nivel freático. Para el área urbana de Paita se realizaron 06 líneas de tomografía eléctrica distribuidas según la Figura 20. El procesamiento de la información permitió llegar desde el nivel superficial hasta una profundidad de 40 metros. En el siguiente ítem se describe los resultados obtenidos.

Secciones Geo-eléctricas: A continuación, se describe los resultados obtenidos de los registros de tomografía eléctrica obtenidas en el área urbana de Paita.

Las líneas eléctricas LE01-PA y LE02-PA realizadas al oeste y sur de la quebrada El Zanjón, en el sector de Paita Baja. En estas líneas predomina los valores muy bajo resistivos ($<20 \Omega.m$), asociados a presencia de limolitas, arcillas, areniscas, conglomerados y lutitas con gran contenido de humedad por la influencia del mar y las quebradas y/o drenajes que cruzan esta zona. En épocas de precipitaciones se forman microcuencas ciegas, tal como muestra la Figura 22.

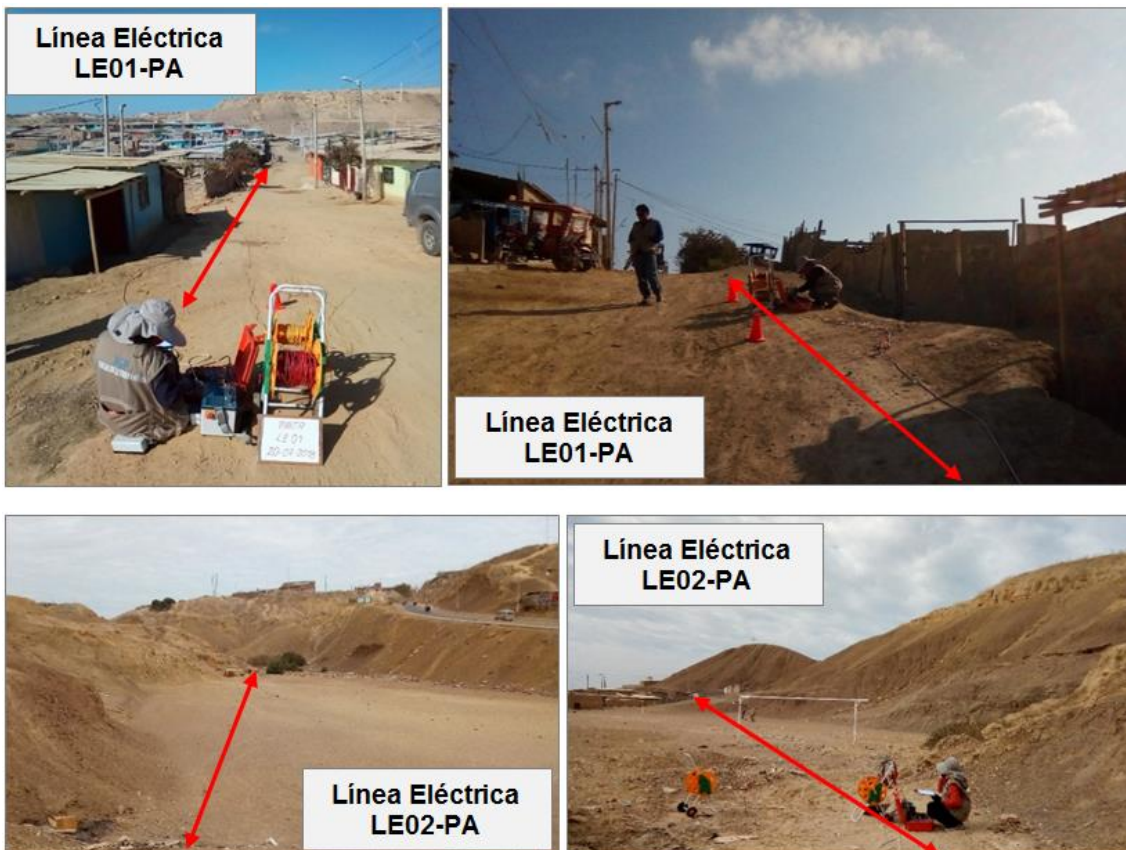


Figura 22: Vista de las líneas eléctricas LE01-PA y LE02-PA.

Las líneas eléctricas **LE03-PA**, **LE04-PA**, **LE06-PA** realizadas en Paita Alta, en Ciudad Alta del Pescador, Urb. Las Casuarinas y el A.H. Marco Jara. Estas líneas presenta valores de medianamente resistivos a muy resistivos ($>100 \Omega.m$) en superficie asociados a la llanura desértica que está conformada de conglomerados poco consolidados (Figura 23). En una matriz de areniscas y coquinas, presente en una cota promedio de 80 m.s.n.m., esta capa varía entre 10 y 20 metros de espesor, por debajo de estos valores de resistividad, se presenta la saturación del terreno con material bajo a muy bajo resistivo.



Figura 23: Vista de las líneas eléctricas LE03-PA, LE04-PA y LE06-PA.

La línea eléctrica **LE05-PA** realizada al extremo este de la zona urbana de Paita, en la Urb. Ezequiel Rumiche, en el sector de la zona industrial. Esta línea fue realizada próxima a una zona de relleno, depósitos cuaternario donde predominan los valores de bajo a muy bajo resistivos ($<100 \Omega.m$), ver Figura 24. Estos valores están asociados a la presencia de materiales rocosos con características permeables, como la mixtura de arenas, arcillas y conchas que estarían cubriendo esta zona y formando acuíferos porosos no consolidados.



Figura 24: Vista de la línea eléctrica LE05-PA.

Geológicamente, el área de estudio se encuentra sobre material cuaternario conformado por depósitos eólicos, aluviales y fluviales; y que en algunos sectores conformarían un acuífero superficial libre, ya que sus características de material no consolidado pueden almacenar agua subterránea. En la Tabla 6, se muestra la profundidad de saturación del medio; mientras que, en la Figura 25, se presenta el resultado obtenida para la línea **LE01-PA** y para las líneas restantes, ver Anexos.

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

Línea Eléctrica	Profundidad Saturación (m)	Material
LE01-PI	3	Arena arcillosa
LE02- PI	3	Arena arcillosa
LE03- PI	15	Arena mal gradada con limos y arcillas
LE04- PI	10	Arena mal gradada con limos y arcillas
LE05- PI	3	Arena mal gradada con limos y arcillas
LE06- PI	15	Arena mal gradada con limos y arcillas

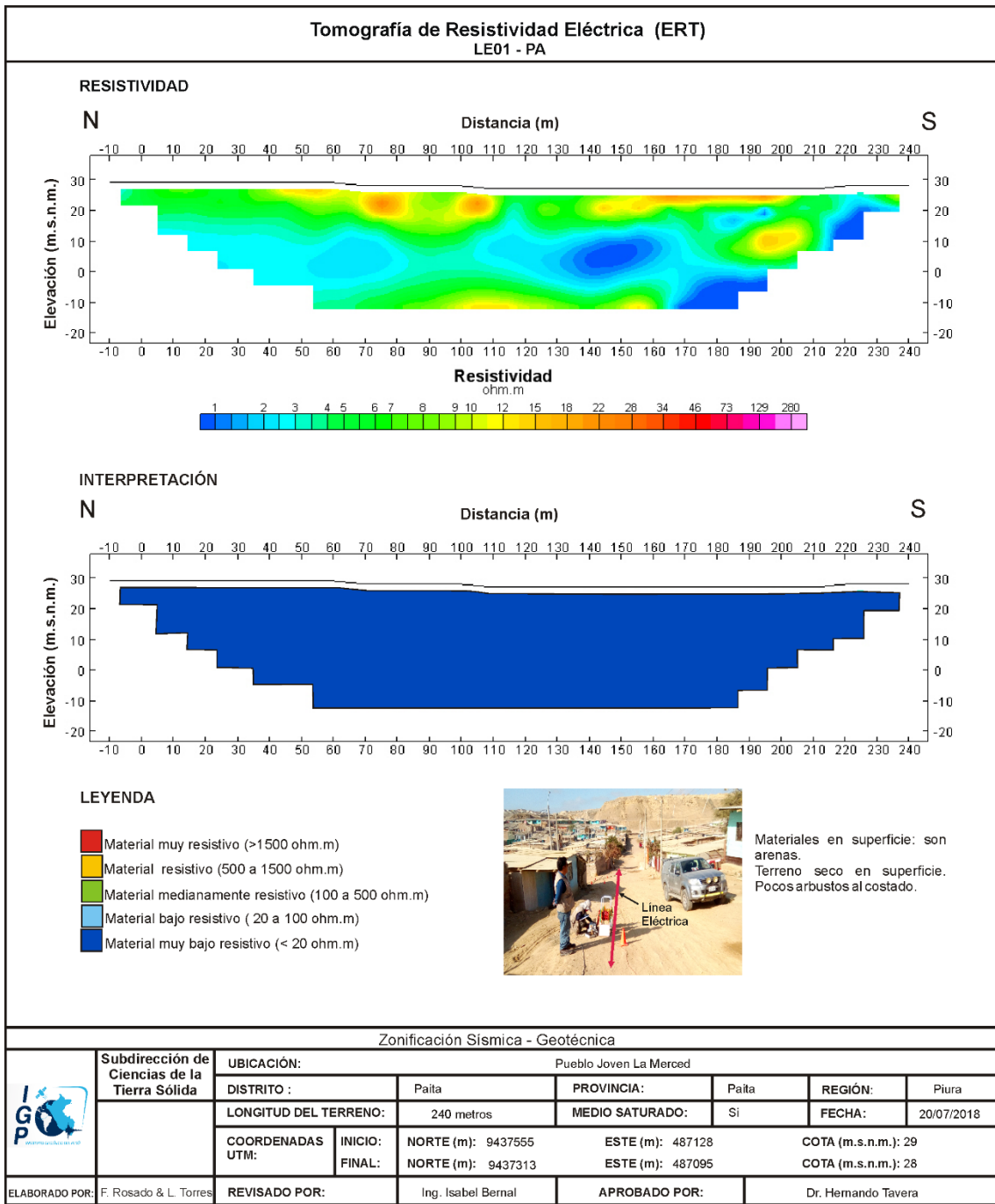


Figura 25: Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE01-PA.

De acuerdo a los datos analizados, los medios saturados predominan en el área urbana de Paita Baja desde la superficie: Pueblo Joven la Merced y en el A.H. San Martín Oriente. Aquí se tiene a influencia del sistema de drenaje pluvial que existe en la; asimismo, en el estudio realizado por CENEPRED (2017) indica que la bahía de Paita está expuesta a inundaciones provocadas por El Fenómeno del Niño (FEN), tsunamis, derrumbes de los acantilados y licuación de suelos, este último punto se reafirmaría ya que al tener un nivel freático superficial (~3 metros de profundidad) y presencia de

arenas, serían suelos potencialmente licuables. Asimismo, aquí se presentan zonas de cárcavas en las pendientes de los cerros, además de la presencia de zonas inundables con difícil drenaje. Igualmente se produce la reactivación de las quebradas en épocas de intensas precipitaciones (FEN). En esta zona existen arcillas expansivas de alta plasticidad e hinchamiento cuando están saturadas, este tipo de suelos podrían colapsar.

Por otro lado, en Paita Alta, en los sectores de Ciudad Blanca del Pescador, Urb. Las Casuarinas y el A.H. Marco Jara, los medios saturados se presentan a partir de los 10 metros de profundidad, esto debido a que son depósitos de suelos más compactos y desérticos en superficie (arenas secas), a diferencia del resto de la ciudad donde los medios saturados son más superficiales. En la zona del Tablazo, la red de drenajes es escasa y en épocas de lluvias se forman microcuencas ciegas, además en el estudio desarrollado por el PNUD (2011) la actividad pluvial genera erosión de riberas e inundación que forman las lagunas en Paita Baja y Alta.

Geológicamente, Paita se emplaza en formaciones sedimentarias, que están sobre la roca del basamento. Por ejemplo, Paita Baja estaría conformada por lutitas, areniscas, arcillas y limolitas (Formación Chira Verdum y Miramar). Asimismo, Paita Alta se encuentra sobre una llanura desértica, conformada por conglomerados poco consolidados, en una matriz de areniscas y coquinas, cubiertos por depósitos eólicos del cuaternario, gravas arenas sueltas, limo-arcilloso en la planicie de inundación.

Por otro lado, en el estudio del PNUD (2011), se indica que en las zonas como la Plaza de Armas y la vía hacia Terminales Euroandinos, el nivel freático está a una profundidad de 1.00 a 1.50 metros y en general están constituidos por suelos arenosos; ellos son favorables para generarse licuación de suelo en caso que ocurra un sismo.

Finalmente, el medio saturado en Paita Baja se presenta a partir de 3 metros de profundidad, coherentes con los mapas de peligros y evaluación del riesgo por inundación, realizados por el PNUD (2011), CENEPRED (2017), entre otros. Vélchez et al. (2013) indica para el área de Paita la presencia de acuíferos de tipo libre semiconfinado y confinado, principalmente en la parte baja la de la llanura desértica.

2. ZONIFICACION SÍSMICA - GEOTÉCNICA

El mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica se elaboró realizando la integración de los resultados obtenidos para los estudios geológicos, geotécnicos, sísmicos y geofísicos. Su correlación ha permitido delimitar zonas con características dinámicas similares del suelo. De acuerdo a sus propiedades mecánicas y utilizando la Norma de Construcción Sismorresistente E.030, se ha identificado la existencia de suelos de Tipo S1, S2 y S4 que corresponden a suelos rígidos, medianamente rígidos y excepcionales, respectivamente.

2.1. Integración de resultados

El área urbana de Paita se encuentra emplazada en dos niveles topográficos, el primero con cotas menores a 30 m.s.n.m. denominado como Paita Baja y caracterizado por la presencia de diferentes quebradas y colinas con pendientes que varían entre 30° a 35°, conforme se aproxima al litoral, disminuyen identificándose rangos de pendientes menores a 10°. El segundo denominado como Paita Alta constituido por el tablazo con cotas por encima de 65 m.s.n.m. y caracterizado por la presencia de una superficie plana ligeramente ondulada. Según el MVCS y BID (2011), el sector de Paita Baja se caracteriza por presentar un nivel freático superficial, debido a la presencia de lutitas y taludes inestables.

En Paita Alta, el sistema de drenaje es escaso, debido a que presenta algunas depresiones que, solo en temporadas de lluvias extremas, son inundadas; también presenta quebradas poco pronunciadas que se activan y erosionan el fondo del cauce arrastrando consigo materiales que son depositados en Paita Baja. Todas estas quebradas (Qdas. Catarata, Keiko Sofía, La Picina, 13 de Julio y Nueva Esperanza) convergen en el Canal Zanjón para finalmente desembocar en el Océano Pacífico, ver Figura 26.

- **Periodos Dominantes:** Para presentar los resultados finales obtenidos con la técnica de razones espectrales, los valores de frecuencias fueron transformados a periodos dominantes y para construir el mapa de periodos, se asignó a cada punto de medición un radio de confiabilidad de 10 metros, lo cual facilita los procedimientos seguidos para la zonificación de los suelos. En la Figura 26 se muestra la distribución espacial de los valores de periodos dominantes para el área urbana de Paita, los cuales han sido separados en dos grupos, en color

negro para periodos mayores a 0.5 segundos, en gris los periodos menores a 0.4 segundos y los puntos que no presentan periodos de color rojo.

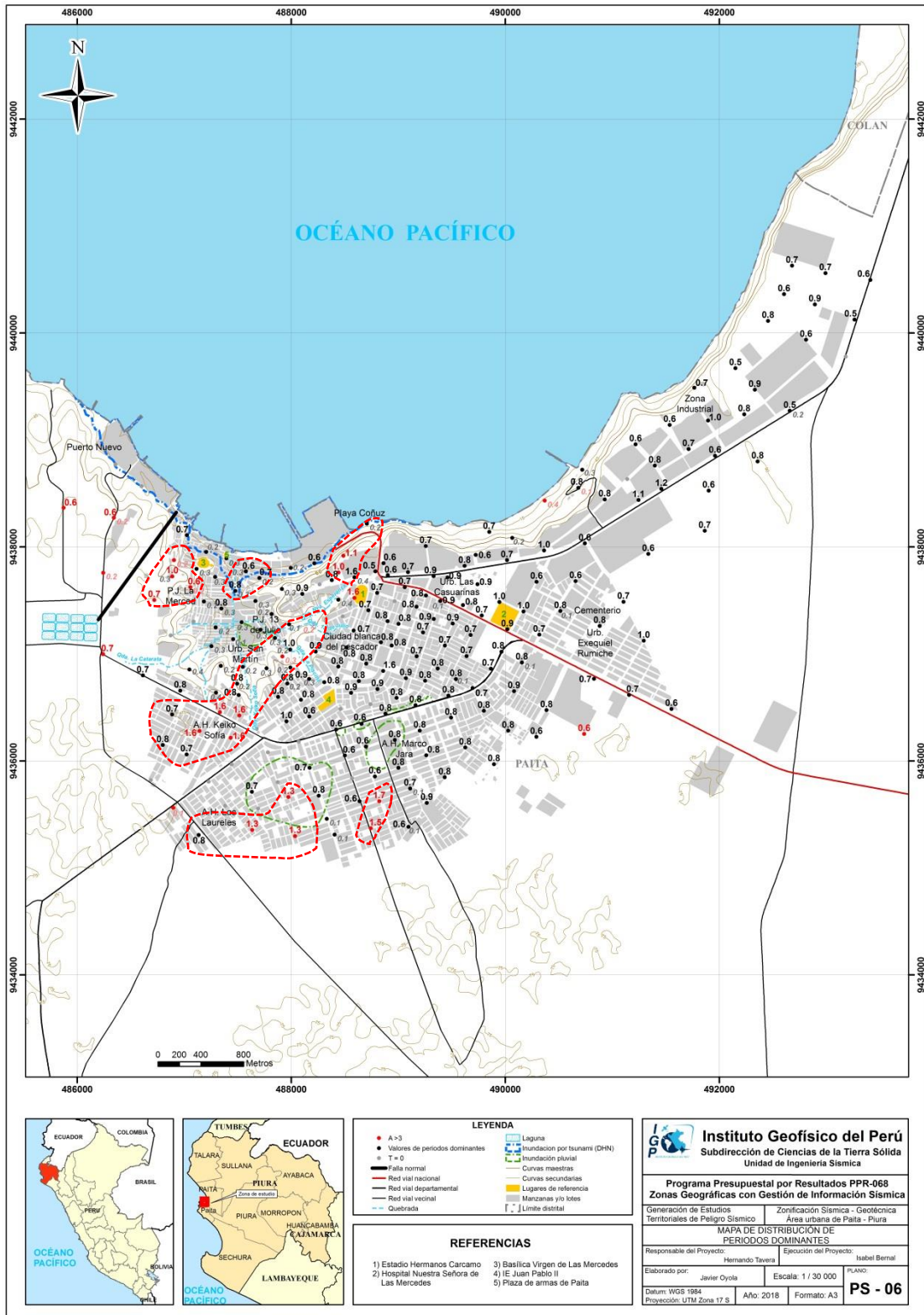


Figura 26. Mapa de la distribución espacial de los valores de periodos dominantes.

Los periodos de 0.1 a 0.4 segundos, se distribuyen en Paita Baja y en algunos puntos al sur, sobre Paita Alta; mientras que, los periodos mayores de 0.5 segundos se distribuyen de manera uniforme en toda el área de estudio, a excepción de Paita Baja. Amplificaciones mayores a 2 veces para ambos grupos de periodos, se presentan en el límite de Paita Baja y Paita Alta, por el AA.HH Keiko Sofía, A.H. Los Laureles y hacia Puerto Nuevo.

Los periodos dominantes que caracterizan los suelos de Paita, están relacionados con las condiciones físico-dinámicas de los suelos a través de la relación $T_0=4H/V_s$, donde T_0 es el periodo dominante, H el espesor del estrato y V_s es la velocidad de onda de corte. Para Paita Alta asumiendo, velocidades de 300 m/s y 400 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.6 y 0.8 segundos, se estima la extensión de una capa superficial con espesores de 60 metros; y para Paita Baja, donde predominan periodos de 0.2 y 0.3 segundos se estima un espesor de la capa sedimentaria de 30 metros. Estos espesores han sido confirmados con los modelos de velocidad obtenidos con los arreglos sísmicos.

De lo expuesto, el rango de periodos que varía entre 0.5 y 1.6 segundos se distribuyen de manera uniforme en Paita Alta y de manera local, en algunos sectores de Paita Baja (Plaza de Armas, Nuevo Puerto, Urb. San Martín Oriente y P.J. La Merced), tal como se indica la Figura 26. En cuanto a los perfiles de suelo, en Paita Alta se tiene el predominio de suelos muy rígidos hasta la profundidad de 30 metros, pero a pesar de ello, existe una capa superficial de suelos arenosos considerada como moderadamente rígidos con espesores de 4 metros. Este suelo se emplaza en la Urb, Ciudad Blanca del Pescador, Urb. Exequiel Rumiche y por el A.H. Los Laureles (Figura 27). El nivel alto de rigidez es debido a los depósitos de conglomerados de la formación Tablazo, el cual se encuentran sobre los depósitos de arenas y arcillas compactas de la formación Miramar y Chira-Verdum. La mayor concentración del contenido de humedad en Paita Alta, es identificada a partir de los 10 metros de profundidad, pero por el sector ubicado al este del área urbana (Urb. Exequiel Rumiche) se presenta desde los 3 metros de profundidad.

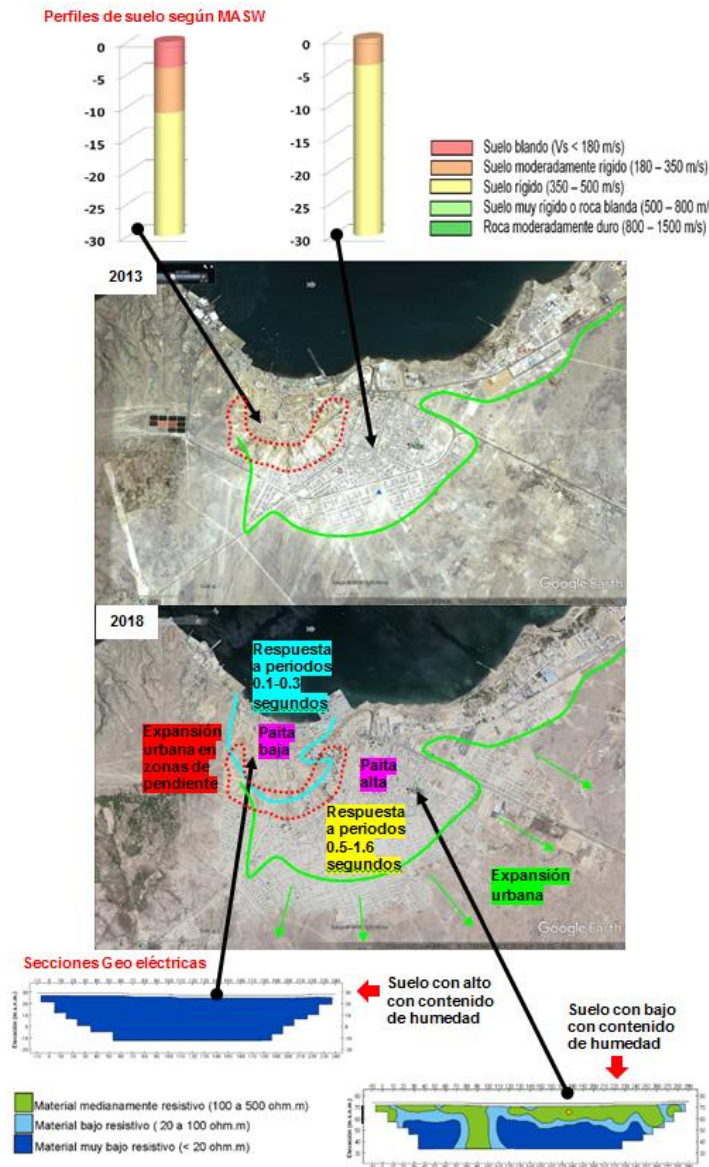


Figura 27: Interpretación de resultados obtenidos a partir de ensayos geofísicos.

En cuanto a las características dinámicas y físicas, en Paita Baja predominan periodos en el rango de 0.1 a 0.4 segundos (periodos bajos a comparación de los obtenidos en Paita Alta). Estos resultados muestran consistencia con los perfiles de suelos realizados en este sector, los cuales indican la presencia de una capa superficial de suelos blandos con espesores que varían entre 4 a 7 metros; por debajo se sugiere la existencia de suelos moderadamente rígidos a rígidos hasta la profundidad investigada de 30 metros, ver Figura 27. La capa superficial se correlaciona con los depósitos de areniscas poco compactas de la formación Miramar y la intercalación de areniscas y lutitas de la formación Chira-Verdum. Los niveles de saturación del suelo es mucho mayor en comparación de Paita Alta, identificándose hasta los 40 metros de profundidad. Esto es debido a la influencia del sistema de drenaje pluvial que existe en la zona;

además en temporadas de lluvia, la acumulación del agua en depresiones ayuda a la conservación de humedad en el suelo. Asimismo, en el estudio realizado por CENEPRED (2017) se indica que Paita Baja está expuesta a inundaciones provocadas por el fenómeno El Niño. Por otro lado, la presencia de arenas blandas y de cárcavas en zonas de pendientes, sugiere que Paita Baja se encuentra propenso a sufrir licuación de suelos y deslizamientos.

El análisis de amplificación sísmica es de gran valor puesto que durante la ocurrencia de un evento sísmico, es el efecto de sitio de mayor importancia. Dentro de este contexto, se ha identificado aquellos lugares cuyos suelos responderán a mayores amplificaciones. En la Figura 26 se muestra la zona donde los periodos predominantes presentan amplificaciones mayores a 2 veces (impresos de color rojo): en Paita Baja (A.H. Keiko Sofía, Puerto Nuevo, próximo a la Plaza de Armas y por el P.J. La Merced) y en algunos sectores de Paita Alta (A.H. Marco Jara). Una de las características que influyen en la amplificación o sacudimiento del suelo es la presencia del nivel freático y el tipo de suelo, caracterizado por la presencia de depósitos de arenas poco compactas y saturadas, que sumados a la topografía irregular de la zona, son potencialmente susceptibles a sufrir mayores sacudimientos.

En la Figura 27, se compara dos imágenes de satélite obtenidos en los años 2013 y 2018. La expansión del área urbana de Paita es principalmente en dirección sur y sureste, donde el perfil de suelo sugiere el predominio de suelos moderadamente rígido a rígidos. Por otro lado, también muestra el crecimiento urbano en sectores ubicados próximo a las laderas, por sus características geodinámicas y tipo de suelo, están propensos a sufrir mayores sacudimientos de suelo.

El sector de playa, también se encuentra propenso a sufrir mayores sacudimientos y procesos de licuación debido a que el suelo está constituido de arenas poco compactas y con altos niveles de saturación; condiciones necesarias para que ocurra el fenómeno de licuación de suelos.

En los estudios realizados por INADUR, CEREN y PENUD (2000), MVSC y BID (2011) y CENEPRED (2017) para la ciudad de Paita solo se comenta que las mayores amplificaciones se producirán en mayor grado en Paita Baja. Sin embargo, en este estudio se realiza un análisis mucho más detallado del periodo predominante del suelo, la rigidez del suelo y su contenido de humedad, estos resultados permiten caracterizar y construir el mapa de zonificación sísmica y geotécnica del área urbana de Paita.

La caracterización física y dinámica del suelo permitió identificar su complejidad, debido a que el suelo está constituido de arenas, limo y arcillas que sumado a la existencia del nivel freático en niveles superficiales debido a lluvias intensas y/o el fenómeno El Niño; se da las condiciones para procesos de licuación de suelos. Por lo tanto, es necesaria e indispensable que esta información sea considerada como base para nuevos proyectos de GRD y en la toma de decisiones.

2.2. Mapa de Zonificación Sísmica

Para la ciudad de Paita se propone la siguiente Zonificación Sísmica – Geotécnica (Figura 28):

ZONA II: Considera suelos constituido por depósitos de playa, arenas y material fino desde el nivel superficial. Esta zona presenta velocidades de ondas de corte V_s de 170 m/s para la capa superficial y de hasta 490 m/s a la profundidad investigada de 30 metros. El periodo de vibración natural varía principalmente entre 0.2 y 0.4 segundos, tiene un comportamiento medianamente rígido y es considerado como suelos Tipo S2 según la norma sismoresistente peruana; en cuanto a su característica mecánica el suelos presenta capacidad de carga admisible menor a 1.0 kg/cm² hasta un metro de profundidad. Esta zona comprende el 25 % del área de estudio y se emplaza en toda el área urbana de Paita Baja, ver Figura 28.

ZONA III: Conformada por suelos consolidado, constituido por conglomerados. Presenta velocidades de ondas de corte V_s de 370 m/s para la capa superficial y de hasta 440 m/s a la profundidad investigada de 30 metros. Tiene un comportamiento medianamente rígido con periodos de vibración natural que varía entre 0.5 y 1.0 segundos y se clasifica como suelos Tipo S3 según la norma sismoresistente peruana; además, presenta suelos con capacidad de carga admisible entre 1.0 a 3.0 kg/cm² hasta un metro de profundidad. Esta zona comprende el 70% del área de estudio y se distribuye en Paita Alta.

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

Zona IVa: Constituida por depósitos de origen marino caracterizado por arenas poco compactas y saturadas, se encuentra emplazado próximo al litoral. Presenta

baja capacidad de carga admisible ($< 1.0 \text{ kg/cm}^2$), de ahí que es susceptible a generarse procesos geodinámicos como licuación y mayores sacudimientos del suelo ante la ocurrencia de un evento sísmico de gran magnitud. Asimismo, la Dirección de Hidrografía y Navegación DHN (2018) realiza la carta de inundación en caso de tsunami considerando un evento sísmico de magnitud 9.0 Mw, esta información es mostrada en la Figura 28.

Zona IVb: Corresponde a zonas de topografía irregular, susceptibles a generar derrumbes, además de producirse flujo de detritos y caída de rocas. Son aquellos sectores constituidos por material inconsolidado y suelto (arenas y material fino), corresponde a las quebradas que se encuentran en el límite entre Paita Baja y Paita Alta y a lo largo de la rívera de playa. Corresponde a zonas inestables que presentan pendiente entre 20 a 30° que podrían deslizarse afectando las vías de acceso y zonas urbanas, ver Figura 28.

Por otro lado, en la figura 28, las líneas inclinadas en rojo delimitan áreas donde los suelos presentan amplificaciones relativas mayores a 2 veces; es decir, los mayores sacudimientos se presentarían de manera sectorizada en el A.H. Keiko Soffá, A.H. Los Laureles, P.J. La Merced y los aquellos sectores de mayor pendiente.

Asimismo, en la Figura 28, se muestra los niveles de inundación pluvial y fluvial que se origina en temporada de lluvias que afectan a A.H. Los Laureles, A.H. Marco Jara y a la Urb. San Martín Oriente.

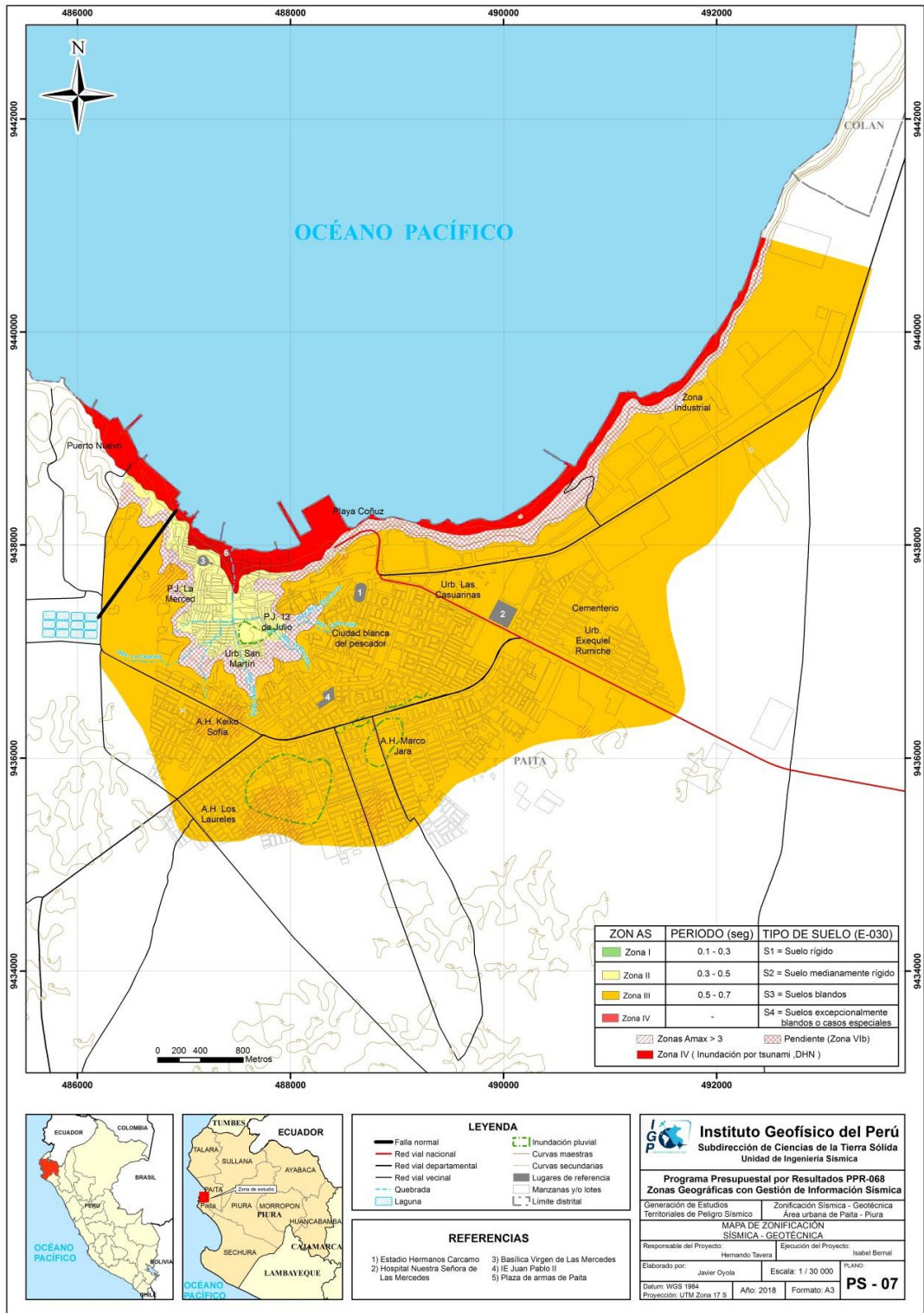


Figura 28: Mapa de Zonificación Sísmica- Geotécnica para la ciudad de Paita.

CONCLUSIONES

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

- Los resultados obtenidos de las razones espectrales H/V, permiten identificar en toda el área urbana el predominio de frecuencias entre 0.60 a 1.98 Hz; y menor medida frecuencias entre 2.3 a 20 Hz en Paita Baja. Los resultados evidencian la existencia de una capa sedimentaria de gran espesor en toda el área estudiada y en Paita Baja, su espesor sería menor.
- Por otro lado, en el límite de Paita Baja y Paita Alta, el AA.HH Keiko Sofia y hacia Puerto Nuevo, existen áreas que presentan amplificaciones relativas mayores a 2 veces, que evidencian la existencia de suelos menos rígidos, en comparación al resto del área estudiada.
- De los resultados obtenidos con el método sísmico, en el área de estudio predominan en superficie dos tipos de suelos, el primero se encuentran distribuidos en la Paita Baja y constituido por suelos blandos (130 a 175 m/s) de 4 a 7 metros de espesor que se encuentran sobre suelos moderadamente rígidos. El segundo, constituido por suelos moderadamente rígidos (V_s 192 a 339 m/s) con espesores que varían entre 4 y 7 metros emplazados en gran parte de Paita Alta. Por debajo y a mayor profundidad se encuentran los suelos rígidos con espesores que superan la profundidad investigada.
- 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 un solo tipo de suelo, con velocidades entre 252 a 451 m/s, los cuales sugiere la presencia de suelos medianamente rígidos.
- El periodo dominante del suelo en el área urbana de Paita, son mayores a 0.5 segundos, evidenciando la presencia de una capa sedimentaria de gran potencia; sin embargo, en Paita Baja los suelos responden a periodos entre 0.1 a 0.4 segundos evidenciando menores espesores. Por otro lado, se ha delimitado áreas donde la amplificación relativa de los suelos es mayor a 2 veces, esta se encuentra en el límite de Paita Baja y Paita Alta, A.H. Keiko Sofía, hacia Puerto

Nuevo; lo cual sugiere la presencia de suelos con menor rigidez, respecto al resto del área de estudio.

- Los periodos dominantes que caracterizan a los suelos de Paita, están relacionados con las condiciones físico-dinámicas a través de la relación $T_0=4H/V_s$, donde T_0 es el periodo dominante, H el espesor del estrato y V_s es la velocidad de onda de corte. Asumiendo, velocidades de 300 m/s y 400 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.6 y 0.8 segundos, se estima la existencia una capa superficial con espesores de 60 metros para Paita Alta y para Paita Baja, donde predominan periodos de 0.2 y 0.3 segundos se estima un espesor de la capa sedimentaria de 30 metros.
- En Paita Baja (A.H. San Martín Oriente y el Pueblo Joven la Merced), aquellos lugares que se encuentran próximos al sistema de drenaje pluvial, presentan medios saturados superficiales y el predominio de suelos constituidos por arenas poco compactas y arcillas expansivas. La presencia de arenas incrementa la probabilidad de experimentar el fenómeno de licuación de suelos ante la ocurrencia de un sismo de gran magnitud; mientras que, las arcillas expansivas cuando están saturadas sufren hinchamiento y aumenta la posibilidad de colapsar.
- En Paita Alta, los sectores de Ciudad Blanca del Pescador, Urb. Las Casuarinas y el A.H. Marco Jara, presentan suelos saturados a partir de 10 y 15 metros de profundidad. En la zona del Tablazo (Paita Alta), en épocas de lluvias se forman microcuencas ciegas, esta zona presenta también problemas de inundación que contribuyen a que los suelos conserven la humedad por tener un drenaje difícil.
- Los resultados obtenidos para el área urbana de Paita, a partir de sus características físicas y dinámicas del suelo, han permitido identificar, de acuerdo a las consideraciones indicadas en la Norma de Construcción Sismorresistente E-030, la existencia de suelos de Tipo S2, S3 y S4.

BIBLIOGRAFIA

- Bard, P-Y. (1995) Effects of surface geology on ground motion: Recent results and remaining issues, In Proc. 10 European Conf. Earth. Eng., ed. Duma, Balkema, Rotterdam, 305-323
- Bard, P-Y y SESAME (2001) The SESAME project: an overview and main results. 13 World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada August 16, 2004 Paper No. 2207
- Beresnev, I.A., K.L. Wen, and Y.T. Yeh 1995a, “Nonlinear Soil Amplification: It’s Corroboration in Taiwan. Bull, Seism. Soc. Am., Vol. 85, pp. 496-515
- Bernal, I. (2006) Microzonificación sísmica de la ciudad de Tlaxcala, Mexico. Tesis de Maestría en Ciencias, UNAM, pag. 130.
- CENEPRED y Municipalidad distrital de Paita (2017). Informe de evaluación del riesgo por inundación pluvial en el centro poblado de Paita, distrito de Paita, provincia de Paita, región de Piura, 73 pp.
- Dorbath, L., Cisternas, A., Dorbath, C. (1990). Assessment of the size of large and great historical earthquakes in Peru. Bull. Seismol. Soc. Am., 80 (30), 551-576.
- Flores-Estrella, H., Lomnitz, C. y Yussim S. (2004). “Estimación de velocidades de fase a partir del análisis de microtremores con el método SPAC”, Geophysics, Vol. 24, N° 3, 438-445
- Fernandez, P. (2014). Estudio geotécnico del deslizamiento en el sector del A.H. San Martín – Paita. Universidad Nacional de Piura, tesis título de ingeniero geólogo, 131 pp.
- Gasulla, M.; Jordana, J.; Pallás, R.; Torrents, J.M. (1998). Subsurface resistivity measurements using square waveforms. IEEE Tansactions 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
- Iparraguirre O; Ruiz J. (2015). Levantamiento de información sobre los principales sectores vulnerables ante inundación en la ciudad de Sullana – Piura.
- INDECI, PNUD (2011). Mapa de peligros, plan de usos del suelo ante desastres y medidas de mitigación de la ciudad de Paita – Región Piura. 156pp.
- 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.
- Nakamura Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Quarterly Report Railway Tech. Res. Inst.*, 30-1, 25-30.
- Norma Técnica de edificaciones E.030. 2016. Aprobada por Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA, modificada por Decreto Supremo N° 003-2016-VIVIENDA.
- Orellana, E. (1982). *Prospección geoelectrica en corriente continua*. Madrid: Ediciones Paraninfo.
- Park, C.B. (2015). Data acquisition. Retrieved 23 June, 2015, from <http://www.masw.com/DataAcquisition.html>
- Park, C.B. (2014). MASW for geotechnical site investigation. *The Leading Edge*, 32(6):656-662.
- Park, C. B., Miller, R. D., Xia, J., & Ivanov, J. (2007). Multichannel analysis of surface waves (MASW)—active and passive methods. *The Leading Edge*, 26 (1), 60–64.
- Park, C. B., Miller, R. D. y Xia, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves *Geophysics* 64 800-8.
- Perrone, A., Iannuzzi, A., Lapenna, V., Lorenzo, P., Piscitelli, S., Rizzo, E., and Sdao, F. (2004). Highresolution electrical imaging of the Varco d'Izzo earthflow (southern Italy), *J. Appl. Geophys.*, 5 56, 17–29, doi:10.1016/j.jappgeo.2004.03.004
- Reynolds, J.M. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2nd ed., 712 pp.
- Roman, F., Jaimes, E., Moreno, M., Cuisano, V., Gallo, M., Yaipen, J. y Flores, M. (2017). Informe de evaluación del riesgo por desastre del río Piura e inundación pluvial en el centro poblado de Castilla, distrito de Castilla, provincia y región de Piura. Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. p. 70.
- Roma, V. (2010). Seismic geotechnical site characterization by means of MASW and ReMi methods. *FastTIMES*, 15(3):16-28.
- Samouëlian, A., I. Cousin, A. Tabbagh, A. Bruand y G. Richard, (2006). Electrical resistivity survey in soil science: a review. *Soil Till Res* 83, 173-193

- SESAME European research project WP12 – Deliverable D23.12: (2004). Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation.
- Sieberg, A. (1930). Los Terremotos en el Perú. Capítulo VI, Geología del Perú de G. Steinmann,
- Heidelberg Carl Winster Universitat-Shuchhan-Lunc, p. 406.
- Silgado, E. (1978). Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513 - 1974). INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 3, 130 p.
- Socco, L.V., Boiero, D., Comina, C., Foti, S., y Wis_en, R. (2008). Seismic characterization of an Alpine site. Near Surface Geophysics, 6(4):255-267.
- Tavera, H., Agüero, C y Fernández, E. (2016). Catálogo general de isosistas para sismos peruano. Instituto Geofísico del Perú. Pag. 196
- 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.
- MVCS, Banco Interamericano de desarrollo, Municipalidad Provincial de Paita (2011). Programa de apoyo a la gestión integral del riesgo de desastres naturales a nivel urbano ATDM/MD-11383-PE, Estudio complementario de las condiciones de riesgo de desastres en la ciudad de Paita, 144pp.
- Vílchez, M., Luque, G., Rosado, M. (2013). Riesgo geológico en la Región Piura. Boletín N° 52 Serie C – INGEMMET, 267 pp.

ANEXOS

ANEXO

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

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

