

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 IMPERIAL

Lima - Perú
2017

Instituto Geofísico del Perú

Presidente Ejecutivo: Hernando Tavera

Director Científico: Danny Scipion

Autores

Isabel Bernal

Caracterización Sísmica de la Ciudad de Imperial

Juan Carlos Gómez

Caracterización Geológica y Geotécnica de la Ciudad de Imperial

Equipo de Evaluación Geológica y Geotécnica: Julio Cesar Lara

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

Personal de apoyo: Augusto Cárdenas / Roberth Yupanqui

Personal administrativo: Estela Torres

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 IMPERIAL**

Distrito de Imperial – Provincia de Cañete – Región Lima

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 Chilca (distrito de Chilca), Coayllo (distrito de Coayllo), Humay (distrito de Humay), Imperial (distrito de Imperial), Nuevo Imperial (distrito de Nuevo Imperial), Quilmaná (distrito de Quilmaná), San Antonio (distrito de San Antonio), San Clemente (distrito de San Clemente) y San Luis (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 Imperial”, información primaria que debe ser utilizada por ingenieros civiles y arquitectos en el diseño y construcción de estructuras apropiadas para cada uno de los tipos de suelos identificados en este estudio. Este documento técnico debe constituirse como herramienta de gestión de riesgo a ser utilizado por las autoridades locales y regionales.

El presente informe está constituido por tres (3) partes, en la primera se realiza la presentación de las características del área de estudio y las conclusiones. 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. Finalmente, en un DVD 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

PARTE 2: Caracterización geológica y geotécnica de la ciudad de Imperial.

PARTE 3: Caracterización sísmica y geofísica de la ciudad de Imperial.

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS: Documentos y Anexos se adjuntan en un DVD.

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 2016 el Proyecto “**Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica**” y como parte del mismo, la Sub-Dirección de Ciencias de la Tierra Sólida desarrollo la Actividad “**Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico**” a fin de obtener el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para el área urbana de las siguientes ciudades / localidades (Figura 1):

- **Chilca**, distrito de Chilca, provincia de Cañete, región de Lima.
- **Coayllo**, distrito de Coayllo, provincia de Cañete, región de Lima.
- **Humay y Bernales**, distrito de Humay, provincia de Pisco, región de Ica.
- **Imperial**, distrito de Imperial, provincia de Cañete, región de Lima.
- **Nuevo Imperial**, distrito de Nuevo Imperial, provincia de Cañete, región de Lima.
- **Quilmaná**, distrito de Quilmaná, provincia de Cañete, región de Lima.
- **San Antonio**, distrito de San Antonio, provincia de Cañete, región de Lima.
- **San Clemente**, distrito de San Clemente, provincia de Pisco, región de Ica.
- **San Luis**, distrito de San Luis, provincia de Cañete, región de Lima.

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

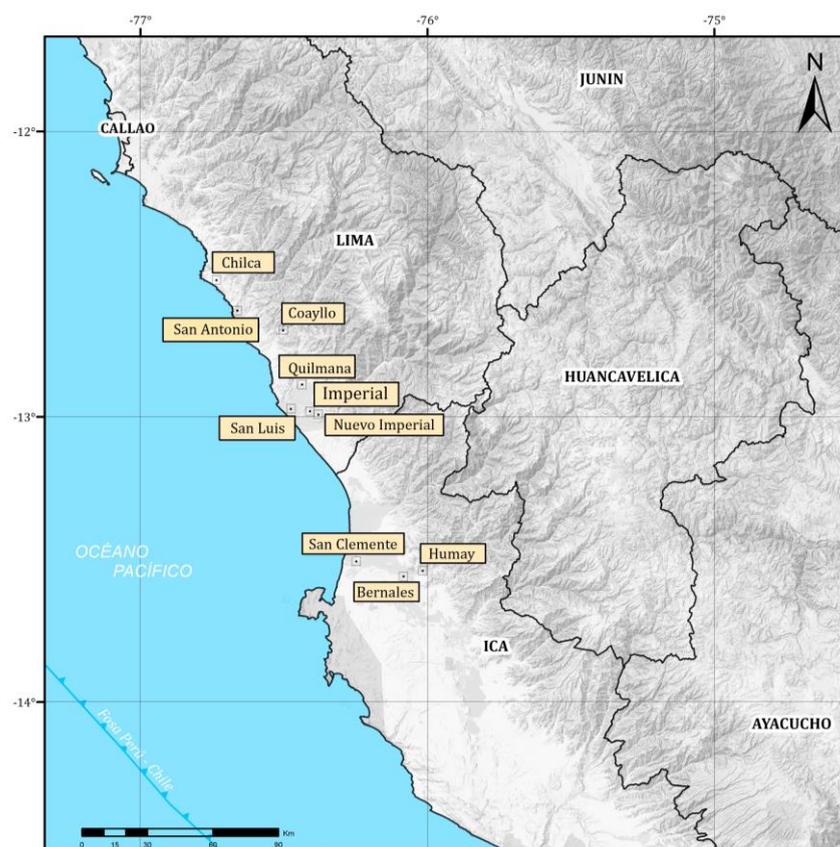


Figura 1: Distribución espacial de las ciudades intervenidas durante el año 2016: Zonificación Sísmica– Geotécnica de suelos.

Los estudios de Zonificación Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo), permitirán tener mayor conocimiento sobre las características dinámicas del suelo sobre el cual se levantan las ciudades y/o futuras áreas de expansión. Para ello se realiza la aplicación de diferentes metodologías que consideran datos sísmicos, geofísicos, geológicos y geotécnicos. Los resultados que se obtienen permiten comprender que no hay suelo malo y que solamente se debe considerar el diseño y la construcción de viviendas y estructuras apropiadas para cada tipo de suelo. Dentro de este contexto, la población de la ciudad de Imperial 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 Imperial, provincia de Cañete, región Lima, 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

Al realizarse el reparto de tierras en 1593, don Jerónimo de Zurbano, enviado del Virrey Andrés Hurtado de Mendoza, manifestó en sus informes la existencia de una acequia muy antigua a la que se denominaba “La Imperial”, cuyo nombre fue haciéndose sinónimo del lugar, por encontrarse en sus inmediaciones. El “pago” o pueblo que se formó, a su alrededor, tomó su nombre y fue considerado como anexo de San Vicente, perteneciendo a la Hacienda Imperial.

Durante los siglos XVI, XVII y XVIII, las tierras fueron administradas por el Cabildo de Lima, no realizándose en ellas ninguna clase de trabajos de agricultura, vendiéndose a partir de 1600 a diferentes dueños. Durante la Presidencia de don Augusto B. Leguía, el 15 de noviembre de 1909 se dio la Ley N° 1170, por lo cual se otorga al pueblo de Imperial la categoría de Distrito, en cuyo Artículo único señala a la letra: “Crease el nuevo distrito de imperial, en la provincia de Cañete, departamento de

Lima, formado por el pueblo de su nombre, que será la capital de las haciendas denominadas: Cerro Alegre, Casa Pintada, San Benito, Las Hormigas, San Isidro y el fundo Hungará” (Figura 2).

La ciudad de Imperial se encuentra ubicada en la zona costera de la provincia de Cañete, en el kilómetro 148 de la Carretera Panamericana Sur, en las coordenadas UTM (Universal Transversal Mercator): 353296 E, 8555714 N y cota promedio de 87 m.s.n.m.; geopolíticamente limita por el norte con el distrito de Quilmaná, al este con el distrito de Nuevo Imperial, al sur con el distrito de San Vicente de Cañete y por el oeste con el distrito de San Luis.

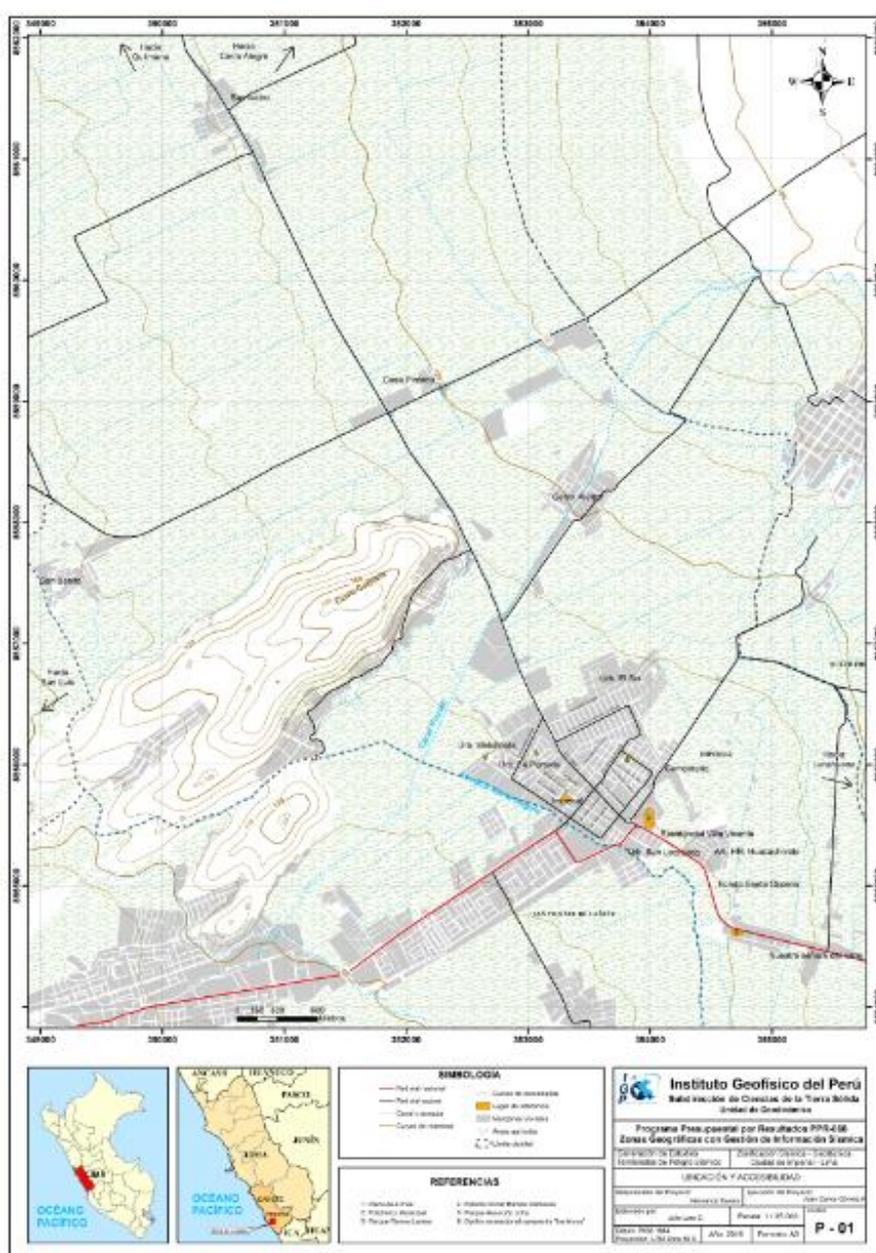


Figura 2: Mapa de ubicación geográfica de la ciudad de Imperial.

La zona de estudio abarca un área de 35.23 km² aproximadamente (67.58% del total del distrito), conformada por los centros poblados urbanos (Imperial, Vista Alegre, Cooperativa San Benito), rurales (Cantagallo, Casa Pintada, San Isidro) y áreas agrícolas. Dentro de la división eclesiástica de la Iglesia católica del Perú, forma parte de la prelatura de Yauyos (Figura 3).

Actualmente, según el censo realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) en el 2007, la ciudad de Imperial registró un total de 36340 habitantes establecidos en 9000 viviendas, con crecimiento urbano hacia el Norte de la ciudad.



Figura 3: Plaza principal de la ciudad de Imperial.

1.3. Accesibilidad y Clima

El acceso a la ciudad de Imperial se realiza por la carretera Panamericana Sur, vía asfaltada en buen estado de conservación, hasta el kilómetro 148, para luego recorrer 4.56 km en dirección noreste y llegar a la municipalidad distrital de Imperial. (Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (MTC).

Las condiciones climáticas de la ciudad de Imperial, presenta un clima típico de valle costero, sub-tropical, caracterizado por ser muy seco y semi-cálido, y escasa precipitación pluvial, que es de 26.6 mm anuales. Presenta una temperatura promedio, en verano, de 28 °C y en invierno oscila entre los 14 y 20 °C. La estación invernal es fría, con un alto porcentaje de humedad atmosférica, su promedio mensual varía de 81% en verano a 87% en invierno (INDECI, 2008).

1.4. Economía

La principal actividad económica del distrito de Imperial, es el comercio al por menor y la agricultura, cuyo porcentaje de participación al PBI local es del 25% y 27% respectivamente (INEI, 2007).

Según el INEI (2013), el 14.7% (5825 hab.) de la población total de Imperial son pobres y dependen de los ingresos por prestaciones sociales (s/. 401 197), programas sociales de apoyo, obtenidos del gasto presupuestal total anual s/.10 648 048 (MEF, 2017).

Considerando el gasto presupuestal anual del 2017 y del 2010, cuyo monto del último asciende a la suma de s/. 14 584 370 (MEF, 2010), se observa una reducción del presupuesto que indica un posible autosostenimiento del gobierno local y dependiente de su producción agrícola e incremento de las actividades comerciales.

1.5. Estudios previos

Para la ciudad de Imperial, 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:

- INDECI (2008), Mapa de peligros, plan de usos del suelo ante desastres y medidas de mitigación de San Vicente de Cañete, Imperial y Nuevo Imperial, INDECI-PNUD-PER/02/051-Ciudades sostenibles. El informe consiste en la descripción de peligros naturales y la extracción de muestras de suelo en las ciudades de: San Vicente de Cañete, Cerro Azul, San Luis, Imperial, Nuevo Imperial y Lunahuaná. En el distrito de Imperial, se extrajeron 5 muestras de suelo, mediante la excavación de calicatas, las que se analizaron bajo normas estándares ASTM (American Society of Testing Materials) para luego, según la clasificación SUCS, obtener suelos: GP, SM y SP-SM. Posteriormente se realizaron 9 pruebas de penetración estándar (SPT) para determinar la capacidad portante del suelo, obteniendo valores de 0.6 a 3.1 kg/cm². Se cuenta con la ubicación de los ensayos dinámicos SPT, así como, la clasificación de los suelos.

- INDECI (2002), Mapa de peligros, plan de usos del suelo y propuesta de las medidas de mitigación de los efectos producidos por los desastres naturales de las ciudades de la provincia de Cañete. El informe indica que los peligros geológicos más relevantes que afectan a la ciudad de Imperial son los sismos e inundaciones por desbordes de la acequia María Angola. Actualmente, dicha acequia se encuentra colmatada, en algunos sectores, debido al arrojado de desechos sólidos en su cauce.

- Salazar & Landa (1993), Geología de los cuadrángulos de Mala, Lunahuaná, Tupe, Conayca, Chíncha, Tantarà y Castrovirreyna. Muestra la descripción litológica de las distintas unidades geológicas del Cuadrángulo de Chíncha a escala 1: 100,000 donde se encuentra el distrito de Imperial. Las unidades geológicas identificadas en la zona de estudio son rocas sedimentarias de las Formaciones: Cañete y Paracas, así como depósitos Cuaternarios (aluviales, marinos y eólicos). Siendo las areniscas grises y areniscas calcáreas pardas de la Formación Paracas, el substrato rocoso sobre el cual se asienta la población del distrito en mención.

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 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 del sacudimiento sísmico 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 4.

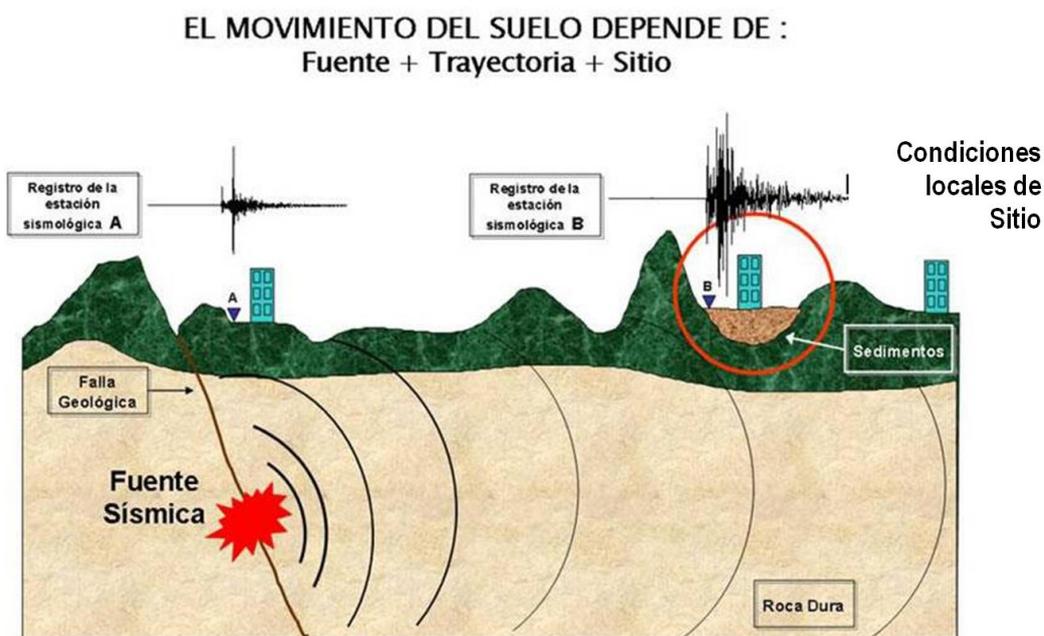


Figura 4: Las condiciones locales de sitio controlan la amplificación del sacudimiento del suelo, puesto en evidencia con la amplitud del registro sísmico obtenido sobre roca y sedimentos.

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 físicas, tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte, o alternativamente, para suelos granulares, considera el promedio ponderado de los N_{60} obtenidos mediante un ensayo de penetración estándar (SPT), o el promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada S_u para suelos cohesivos. Se estable 5 perfiles (Tabla 1).

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

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

- **Perfil Tipo 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. Será determinado con un Estudio de Mecánica de Suelos (EMS).

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

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

Dónde:

d_i = espesor de cada uno de los estratos n.

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

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

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

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

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

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

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

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

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos para el área urbana de la ciudad de Imperial han permitido identificar, según las características dinámicas del suelo, sus propiedades mecánicas y el procedimiento establecido en la Norma E.030, la existencia de dos (2) zonas sísmicas correspondientes a suelos Tipo S1 y S2 (Figura 5), que corresponde a suelos rígidos y medianamente rígidos. Adicionalmente se considera, al sector ubicado entre la Urb. Villa Vicente y el canal María Angola, como una zona con suelos blandos y cuyo comportamiento dinámico será complejo a la ocurrencia de sismos.

- ZONA I: Conformada por estratos de conglomerados semi-consolidados, que se encuentran, a nivel superficial cubiertos por depósitos de material fino (arcillas-limosas, areno-limosas) de poco espesor. Este suelo tiene un comportamiento semi-rígido, con periodos de vibración natural que varían entre 0.1 y 0.2 segundos. La capa superficial presenta velocidades de 200 m/s y está asentada sobre un estrato que alcanza velocidades de hasta 500 m/s. En la zona hay un dominio de suelos Tipo S1 según la norma sismorresistente peruana.

En la Figura 5, las líneas de color rojo, se delimita las áreas donde los suelos alcanzan amplificaciones mayores a las 4 veces, debido a sus altos niveles freáticos distribuidos a diferentes niveles de profundidad.

- ZONA II: En la zona se incluye las áreas de terreno conformado por estratos superficiales de suelos granulares finos a gruesos con espesores que varían entre 8 y 15 m., subyaciendo a estos estratos se tiene grava. Este suelo presenta un comportamiento medianamente rígido a blando, con velocidades de ondas de corte de 200 y 350 m/s, que corresponden a suelos Tipo S2. Esta zona, presenta una capacidad admisible de 1.0-2.0 Kg/cm².

La respuesta de los suelos de esta zona es especial ya que presentan velocidades de ondas de corte que corresponden a suelos Tipo S2, pero no responden a periodos de entre 0.3 y 0.5 segundos; sin embargo, muestran sensibilidad en dos rangos de periodos de entre 0.1-0.2 y 0.5-0.7 segundos, predominando el primero respecto al segundo por presentar bajas amplificaciones.

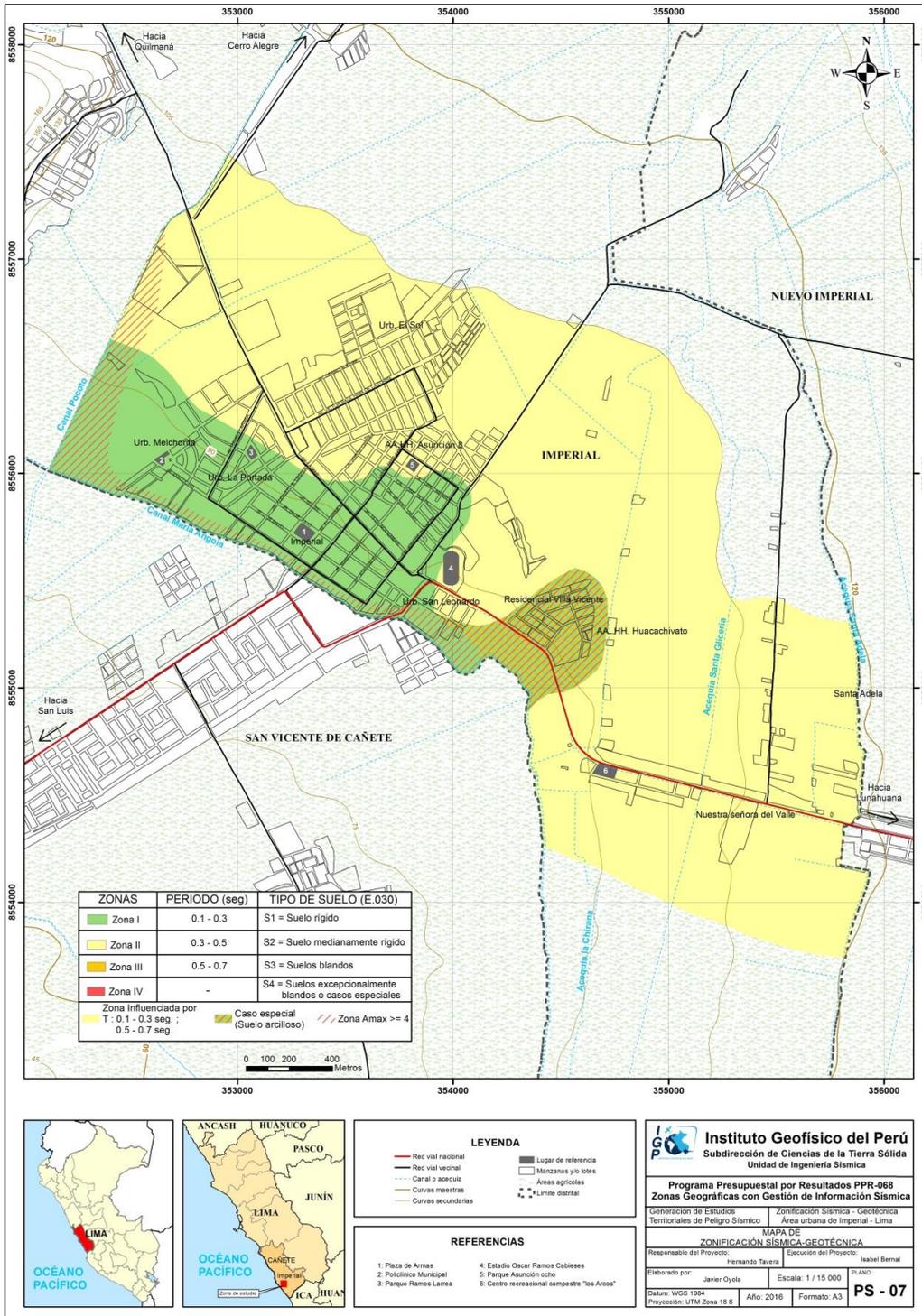


Figura 5: Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica para la ciudad de Imperial.

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE IMPERIAL

CONTENIDO

1. METODOLOGÍA

1.1. Base Topográfica

2. GEOMORFOLOGIA

2.1. Modelo Digital de Terreno (MDT)

2.2. Pendiente

2.2.1. Clasificación del grado de pendientes

2.3. Unidades geomorfológicas

2.3.1. Llanura aluvial

2.3.2. Loma

2.3.3. Colina

3. GEOLOGÍA

3.1. Geología regional

3.1.1. Geología histórica

3.2. Geología estructural

3.3. Geología local

3.3.1. Formación Paracas (Ti-pa)

3.3.2. Formación Cañete (Qp-c)

3.3.3. Depósitos cuaternarios

4. GEODINÁMICA

4.1. Procesos de geodinámica interna

4.2. Procesos de geodinámica externa

4.2.1. Inundaciones por desborde de acequias

5. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

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

5.1.1. Descripción de calicatas

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

5.2.1. Procedimiento

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

5.3.1. Procedimiento

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

5.4.1. Principio

5.4.2. Equipos y accesorios

5.4.3. Procedimiento

5.5. Correlación entre el “N” DPL y el “N” SPT (ASTM D1586)

5.5.1. Cálculo del ángulo de fricción interna

5.6. Clasificación SUCS

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

5.8. Capacidad de carga admisible

5.8.1. Carga última

5.8.2. Capacidad de carga admisible muy baja

5.8.3. Capacidad de carga admisible baja

5.8.4. Capacidad de carga admisible alta

1. METODOLOGÍA

El estudio de cartografiado geológico, geomorfológico, geodinámico y de exploraciones geotécnicas realizadas en la ciudad de Imperial, se desarrolló en tres fases:

Gabinete I: Las actividades realizadas incluyeron la revisión de imágenes satelitales georreferenciadas en 2D (GeoEye-1 del Servidor Digital Globe, 2013, con resolución 0.46 m) con la finalidad de delimitar la zona de estudio; así como la recopilación de información bibliográfica de la zona a escala regional y local (boletines geológicos, informes técnicos, entre otros).

- ✓ **Campo I:** Se realizó el cartografiado de las unidades geomorfológicas y litológicas aflorantes a escala 1: 25 000. Así también, se identificó y delimito los eventos geodinámicos de la zona como las inundaciones (desborde de acequias).

Paralelo a este trabajo, se realizó la topografía de la zona a escala 1:25 000.

- ✓ **Campo II:** Elaboración de ensayos geotécnicos:

Elaboración de calicatas: Estas se realizaron a una profundidad promedio de 3.00 m. En la ciudad de Imperial se realizaron 8 calicatas distribuidas equitativamente entre el casco urbano y área de expansión urbana.

Ensayos de Penetración Dinámica Ligera (DPL): Estos se realizaron con el fin de determinar la resistencia de los suelos al ser penetrados. En la ciudad de Imperial se llevaron a cabo 8 DPL.

Ejecución de auscultaciones haciendo uso de una posteadora: Estas se distribuyeron en zonas intermedias a la ubicación de la calicata más próxima, con el fin de complementar la información. En el área de estudio se llevaron a cabo 8 posteos.

- ✓ **Laboratorio:** Procesamiento de las muestras de suelos, a través de ensayos del laboratorio tales como granulometría (tipo de suelos SUCS), humedad, densidad y corte directo (capacidad portante).

- ✓ **Gabinete II:** Elaboración del informe técnico que adjunta los siguientes anexos: fichas geotécnicas (calicatas, DPL, correlación DPL con el SPT, posteos y análisis granulométricos), fichas geodinámicas (identificación de zonas susceptibles a movimientos en masa e inundaciones) y planos temáticos a escala 1:25 000.

1.1. Base Topográfica

Se obtuvo a partir de un levantamiento topográfico realizado en la ciudad de Imperial en abril del 2016 sobre un área de 213 hectáreas (centro urbano). Este trabajo se realizó con el propósito de obtener la representación digital del relieve que conforma el área de estudio (lomas, colinas, entre otros).

Para la ejecución del levantamiento topográfico, se utilizó una estación total (marca Nivo 3.C con resolución de 3") de propiedad del Instituto Geofísico del Perú (IGP) y para realizar las mediciones de la superficie del terreno, se consideró un punto de control, cuyas coordenadas fueron establecidas con una antena y receptor GPS/GNSS de doble frecuencia (Tabla 1).

Tabla 1: Punto de control ubicado en el colegio N° 20145

BM	ESTE	NORTE	ALTITUD (m.s.n.m.)	DESCRIPCIÓN
BM	353494	8556031	95	Colegio N° 20145

Luego, desde el punto de control antes mencionado se estableció un polígono cerrado conformado por 5 vértices; además se tomaron 80 mediciones (puntos de relleno) que contienen información planimétrica (coordenadas este y norte) y altimétrica (elevación ortométrica), proyectados en el sistema Universal Transversal Mercator (UTM). Asimismo, con la finalidad de complementar la topografía de las zonas aledañas al sector urbano, representado por 2287 ha, se utilizaron imágenes SRTM en formato GeoTiff, descargadas de Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI) y procesadas con los vértices antes indicados (Figura 1).

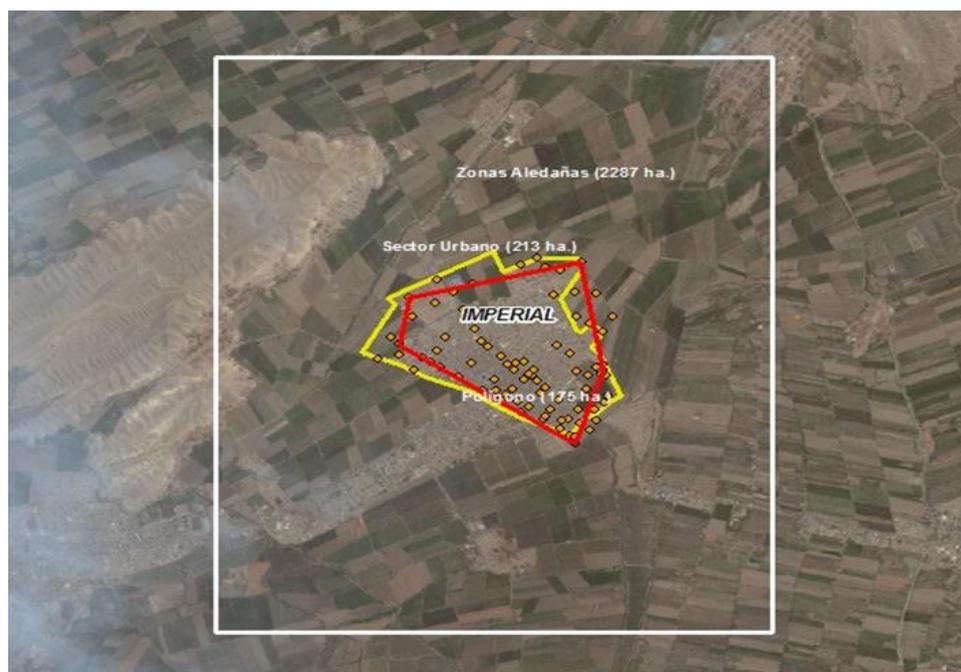


Figura 1: Se describe en línea roja el área del polígono (175 ha), en amarillo el sector urbano (213 ha) y en blanco las zonas aledañas (2287 ha)

A partir del uso de un software de Diseño Asistido por Computador (CAD) y los datos recabados del levantamiento topográfico y del SRTM, se obtuvo un plano topográfico a escala 1:15,000 que contiene curvas de nivel (líneas que unen puntos con igual altitud) con resolución espacial de 5 m.

2. GEOMORFOLOGIA

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 Imperial, en relación a su origen. Previamente, en base al levantamiento topográfico realizado y mediante herramientas computacionales (SIG) se han elaborado los planos: Modelo Digital del Terreno (MDT) y pendientes con el fin de delimitar las características geomorfológicas del terreno (geoformas). Éstas fueron verificadas y validadas durante el trabajo de campo, para cartografiar y delimitar las unidades geomorfológicas en la ciudad de Imperial.

2.1. Modelo Digital de Terreno (MDT)

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

Para la elaboración del MDT de la ciudad de Imperial, 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 54 km² aproximadamente (Figura 2).

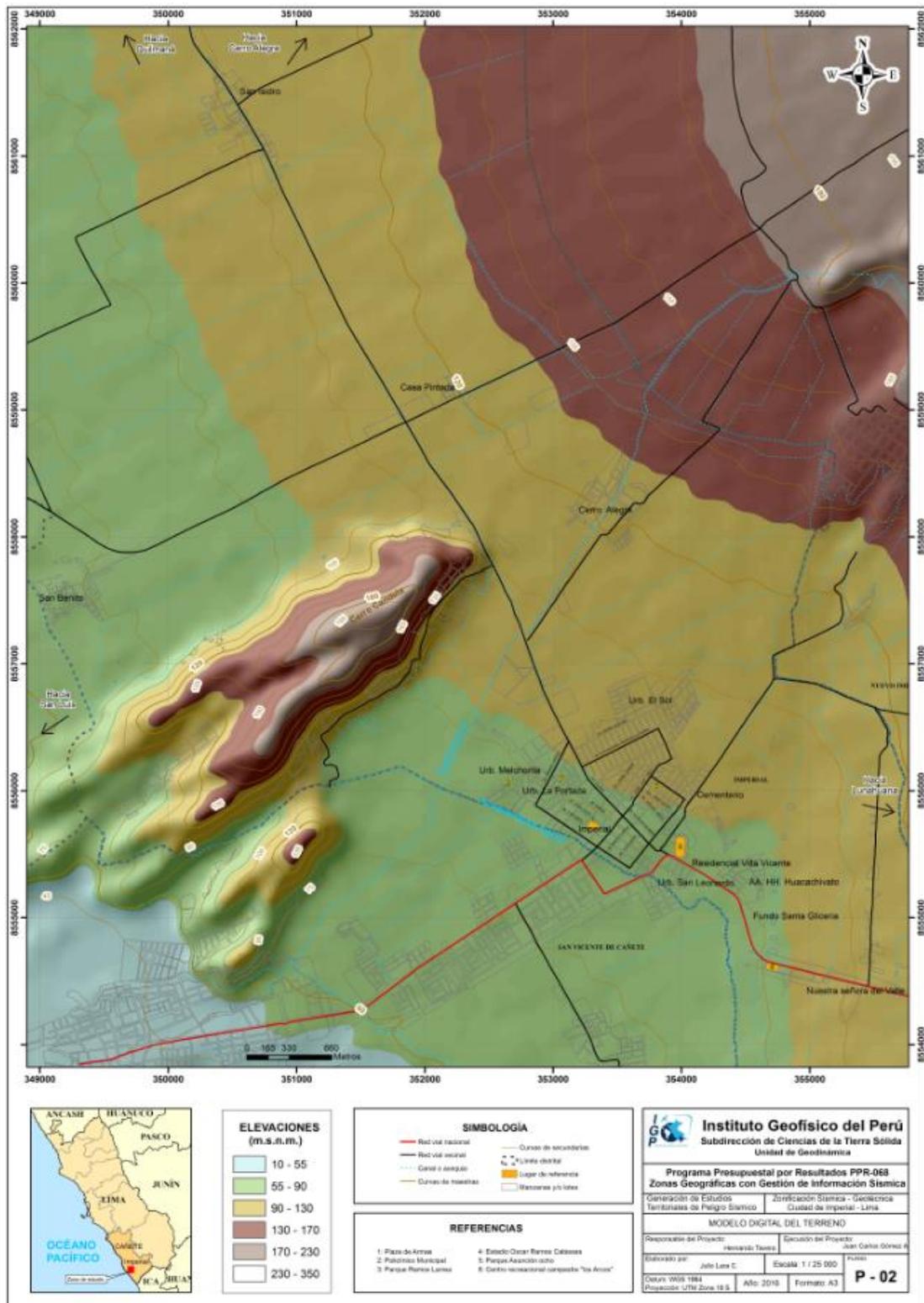


Figura 2: Mapa de modelo digital del terreno para la ciudad de Imperial y alrededores.

En base al MDT elaborado de la ciudad de Imperial se ha reconocido que la zona urbana se asienta sobre una llanura aluvial, la cual presenta un rango de cotas entre 50 y 100 m.s.n.m. En los alrededores, hacia la parte noroeste de la ciudad en mención, se observan lomas que presentan un desnivel máximo de 200 m con respecto al área urbana.

2.2. Pendientes

Es el ángulo que 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 Imperial (Figura 3), fue desarrollado a partir del MDT 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 la hipótesis de Fidel (2006), ver Tabla 2.

Tabla 2: Rangos de pendientes del terreno.

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

Se encuentra asentada sobre una llanura aluvial que presenta pendientes menores a 5° promedio y al noroeste de dicha ciudad se encuentran la asociación de agricultores Huerto del Edén y el asentamiento humano Alto Valle Hermoso sobre laderas de lomas que presentan inclinaciones superiores a 20°.

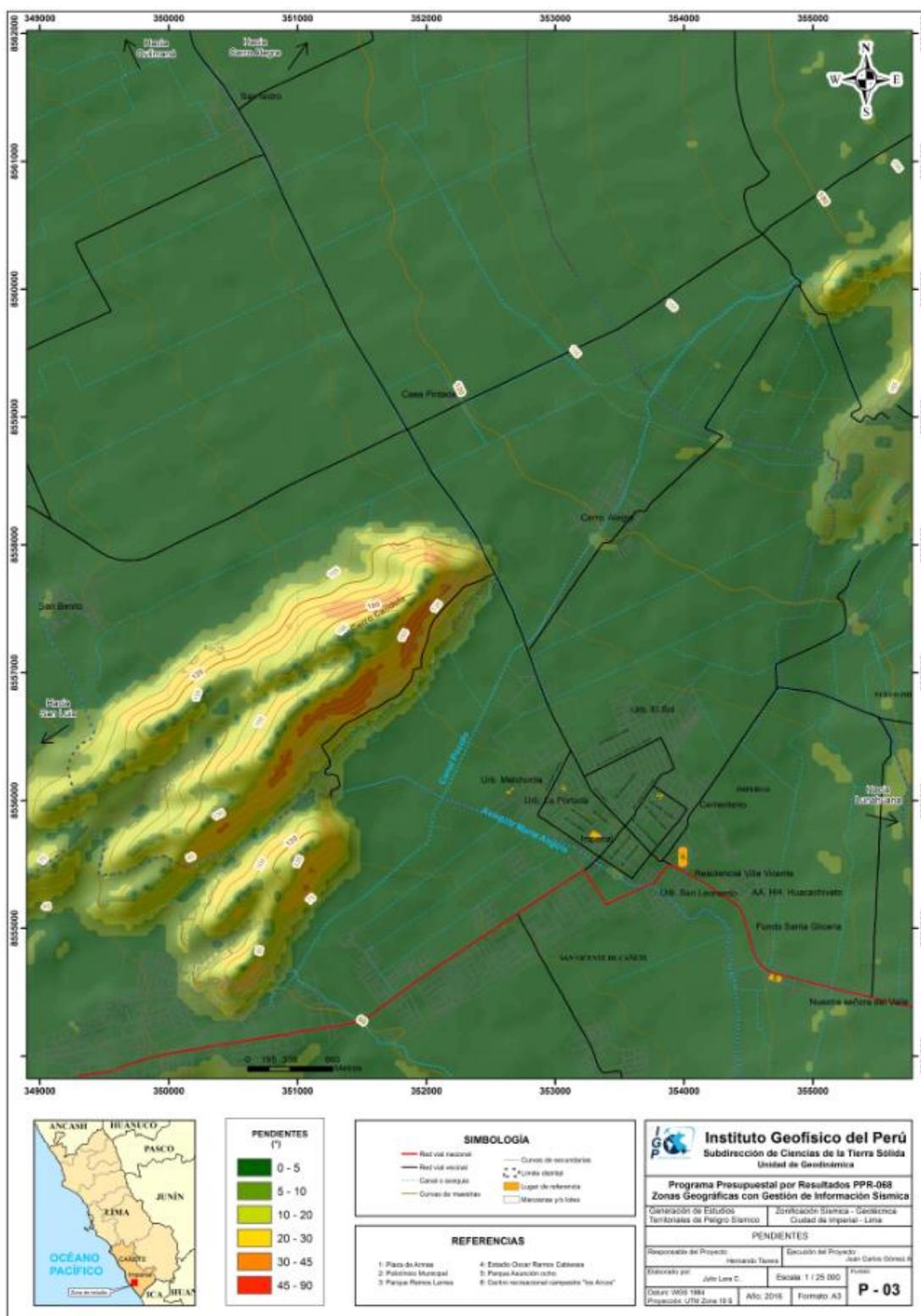


Figura 3: Mapa de pendientes del terreno para la ciudad de Imperial y alrededores.

2.3. Unidades geomorfológicas

Estas unidades con ciertas características físicas generadas por procesos geodinámicos de tipo endógeno (internos) y exógenos (externos) que dan lugar a relieves positivos y negativos.

Características físicas: Las características físicas de las unidades geomorfológicas, 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, el viento, temperatura, entre otros, desencadenan diversos procesos externos tales como: intemperismo, meteorización, erosión, transporte y depositación que generan diferentes geoformas. Esto se clasifica de acuerdo a su origen, en depositacional y denudacional (erosional). Otros procesos internos como el magmatismo y tectonismo generan geoformas de origen estructural.

En base a las características físicas de las geoformas y su origen en la ciudad Imperial se cartografiaron la estructura de seis unidades: lecho fluvial, terraza aluvial, colinas, duna, llanura de inundación y cuencas ciegas (depresiones en el terreno), (Tabla 3 y Figura 4).

Tabla 3: Descripción de las unidades geomorfológicas, en la ciudad de Imperial, en base a las características físicas y su origen

GEOMORFOLOGÍA PATRÓN			
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		PROCESO	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA
Pendiente	< 35°	Denudacional	Colina
Altura	< 100°		
Geometría	redondeada		
Drenaje	dentrítico		
Pendiente	20° - 25°	Denudacional	Lecho fluvial
Altura	0 - 100 m		
Geometría	alargada		
Drenaje	dentrítico		
Pendiente	< 5°	Depositacional	Llanura de inundación
Geometría	irregular		
Drenaje	paralelo		
Pendiente	< 5°		Terraza aluvial
Geometría	redondeada		
Pendiente	5° - 10°	Depositacional	Duna
Altura	1 - 2m		
Geometría	semicircular		
Pendiente	< 5°	Erosional	Cuenca Ciega (depresión)
Geometría	irregular		
Drenaje	paralelo		

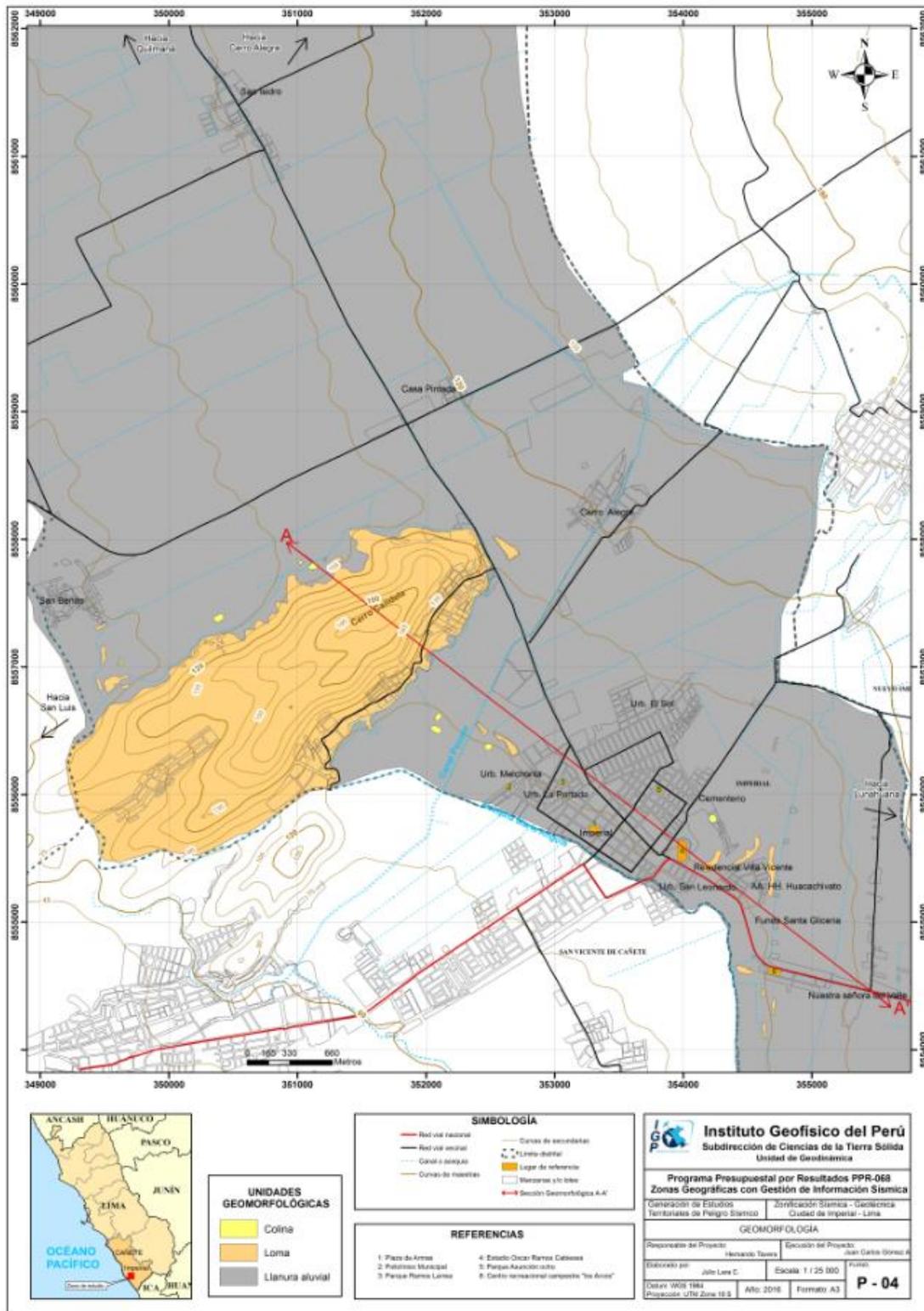


Figura 4: Mapa geomorfológico para la ciudad de Imperial y alrededores.

2.3.1. Llanura aluvial

Esta unidad geomorfológica de origen depositacional presenta una pendiente $<5^\circ$, así como una geometría y drenaje irregular. Abarca el 86% de la zona en estudio. Actualmente, sobre esta unidad se asienta la zona urbana de la ciudad de Imperial (Figura 5).



Figura 5: Vista panorámica de la llanura aluvial desde el cementerio de la ciudad de Imperial

2.3.2. Loma

Esta unidad geomorfológica presenta pendientes $<35^\circ$ y alturas <300 m, con una geometría alargada, drenaje dendrítico y un origen denudacional. Abarca el 13% de la zona de estudio. Se han identificado lomas al noroeste y sureste, a 2.8 km y 1 km, respectivamente de la ciudad de Imperial, sobre estas se asientan la asociación de agricultores Huerto del Edén y el AA.HH. Alto Valle Hermoso (Figura 6).



Figura 6: Lomas denominadas "Cerro Candela" en el sector Vista Alegre sobre las cuales se asientan los AA.HH. Alto Valle Hermoso y Huertos de Edén

2.3.3. Colina

Esta unidad geomorfológica de origen denudacional presenta una pendiente $<20^\circ$, altura <100 m, geometría redondeada y drenaje dendrítico. Abarca el 1% de la zona en estudio. Se ubican a 1 km al noroeste y 0.8 km al noreste de la ciudad de Imperial (Figura 7).



Figura 7: Colina ubicada a 1 km al noroeste de la ciudad de Imperial

3. GEOLOGÍA

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

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

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

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

3.1. Geología 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, 1994) a escala 1:100,000. En esta, 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 Salazar & Landa (1993), hace 145-140 Ma, la zona de estudio, se enmarca a una cuenca deltaica sometida a erupciones submarinas intermitentes, representada por la Formación Puente Piedra y lateralmente hacia el este por la Formación Asia, en el área de Lima por los estratos Puente Inga.

Durante 140-136 Ma se produjo la sedimentación del Grupo Morro Solar; mientras que en la zona oriental de la cuenca se depositó la secuencia clástica Goyllarisquizga en un ambiente continental a semicontinental, alternando con facies marinas someras. La moderada Fase Peruana de G. Steinmann (85-83 Ma) pliega suavemente las secuencias preexistentes con el posterior retiro del mar y sedimentación de la serie clástica de moladas denominadas Formación Casapalca.

Durante la tectogénesis de la Fase Incaica (40-33 Ma) ocurre la fase principal de plegamiento de la orogenia andina; a este movimiento se asocia el magmatismo intrusivo y efusivo del Terciario inferior. La Fase Poroche (28-23 Ma) produce el plegamiento suave de la secuencia volcánico-sedimentario-piroclástica del Terciario inferior representado por la Formación Tantará y el Grupo Sacsacero.

En la Fase Quichuana (5-3 Ma) se produce el plegamiento moderado de las formaciones Caudalosa, Auquivilca y Huichinga por la fase tectónica Quichuana. A este movimiento se asocia un magmatismo intrusivo y efusivo de subvolcánicos durante el Plioceno. En su fase final el ciclo tectónico andino está relacionado a un largo periodo de erosión que produjo la superficie Puna. Luego tuvieron lugar los movimientos epirogenéticos que formaron el edificio andino por fallamiento gravitacional tipo “horst” hace 5-0.01 Ma.

Finalmente, la morfología de la cadena andina actual guarda relación con las etapas de glaciación que tuvieron lugar desde el Pleistoceno al Cuaternario Reciente (<0.01 Ma), lapso en el que se desarrollaron las etapas de erosión de valles y cañones.

3.2. Geología estructural

Comprende el ciclo geotectónico andino y la tectónica reciente de la zona de estudio.

Ciclo geotectónico andino (Jurásico-Terciario): Este ciclo comprende el ámbito de sedimentación andina en las diferentes etapas de su desarrollo y que fueron afectados por eventos de compresión (tectogénesis). En la evolución andina se distinguen cinco pisos estructurales, los que están evidenciados por discordancias orogénicas, epirogénicas, etc. El primer piso estructural corresponde a una epirogénesis y tectónica de fractura entre fines del Liásico y el Jurásico superior que afectan el sector occidental de la Cadena Hercínica de la Cordillera Oriental.

El segundo piso estructural de Tectogénesis moderada seguida por epirogénesis y tectónica de fractura de fines del Cretáceo (Fase Peruana de Steinmann) comprende los terrenos cretáceos que resultaron de la sedimentación en una cuenca epicontinental subsidente. El tercer piso estructural corresponde a la Tectogénesis del Eoceno superior (Fase Incaica). Se evidencia por el plegamiento con dirección predominantemente NO-SE de la secuencia Mesozoica incluyendo a la Formación Casapalca.

El cuarto piso estructural (Fase Poroche) se traduce en ondulamiento y emersión de los terrenos del Terciario inferior, lo cual se manifiesta con pliegues de flancos moderados, generalmente con ejes espaciados y orientados en sentido N 30° O a N-S.

El quinto piso estructural se desarrolla durante el Mioceno medio al Plioceno inferior (Fase Quechua) produce el plegamiento de la secuencia miocénica durante un evento tectónico al que se denominó “Fase Quechua”.

En la actualidad, en la región andina se reconoce la existencia de dos fases de plegamiento que afectaron a la columna miocénica. La más antigua fase tectónica (Fase Castrovirreyña) estaría localizada en el Mioceno medio. La segunda fase o

Quechua Tardía, ocurre en el intervalo Mioceno superior- Plioceno inferior afectando secuencias volcánico-sedimentarias del Mioceno con plegamientos moderados y ejes orientados en sentido NNO-SSE.

Tectónica reciente: En su etapa final el ciclo tectónico andino estuvo relacionado a movimientos epirogenéticos (emersión y fallamiento gravitacional tipo horst) que influyeron en la formación de la cadena andina actual. Este episodio se inicia con el desarrollo de la superficie Puna durante el Plioceno inferior y posterior levantamiento, hasta alcanzar una altura mayor a los 4, 000 m.s.n.m., asociado con un plegamiento de gran radio de curvatura y pliegues menores. Se asocia a esta tectónica reciente un gran magmatismo relacionado a centros volcánicos.

3.3. Geología local

Consistió en el reconocimiento y cartografiado de las unidades litológicas aflorantes en la ciudad de Imperial a escala 1:25,000, abarcando un área de 54 km² aproximadamente. En la Tabla 3 se describe estas unidades.

Se elaboró una sección geológica (sección A-A') (Figura 8). A continuación, se describen las unidades de la zona de estudio (Tabla 4):

Tabla 4: Columna cronolitoestratigráfica de la zona de estudio.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOSTRATIGRÁFICAS
CENOZOICO	CUATERNARIO	Reciente	Depósitos aluviales
		Pleistoceno	Formación Cañete
	TERCIARIO	Plioceno	Formación Paracas
		Eoceno	

Se ha tomado como base el cuadrángulo geológico de Chinchá 27-k (Salazar & Landa, 1993) a escala 1: 100, 000, donde se encuentra la ciudad de Imperial e identificaron las siguientes unidades litológicas aflorantes (Figura 8).

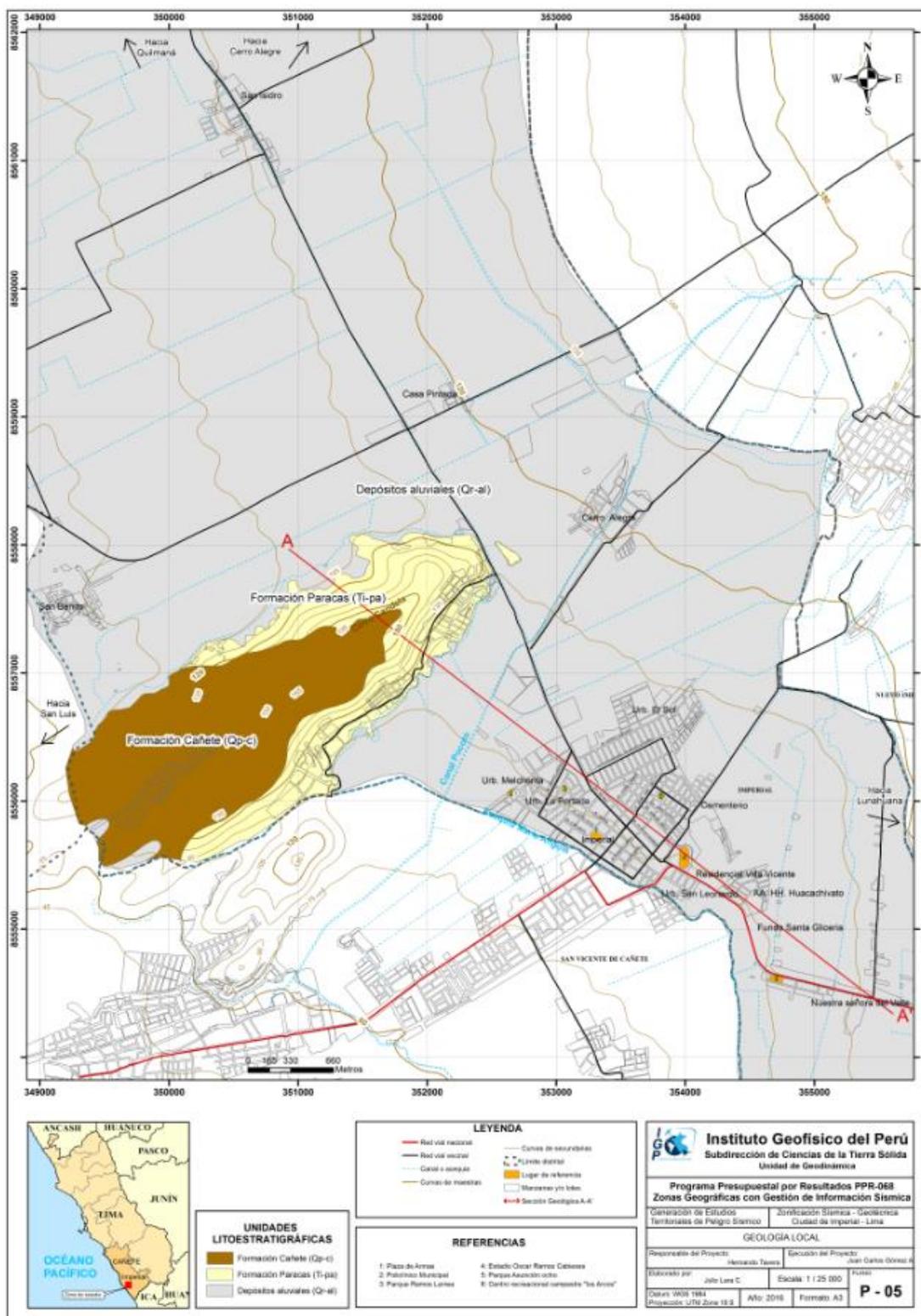


Figura 8: Mapa de geología local para la ciudad de Imperial y alrededores.

3.3.1. Formación Paracas (Ti-pa): Consiste de areniscas grises y areniscas calcáreas pardas, alternando con algunos horizontes de limolitas e infrayace con discordancia angular a la Formación Cañete. Esta unidad constituye el substrato rocoso de la ciudad de Imperial y se encuentra aflorando en el sector Vista Alegre (Cerro Candela) al noroeste de la ciudad en mención (Figura 9).



Figura 9: Areniscas grises y areniscas calcáreas pardas, alternando con algunos horizontes de limolitas, pertenecientes a la Formación Paracas, aflorando en el sector Vista Alegre a 2 km de la zona urbana de la ciudad de Imperial.

3.3.2. Formación Cañete (Qp-c): Consiste en un conglomerado consolidado constituido por gravas redondeadas a subredondeadas de tamaño y litología variada, englobados en una matriz areno-limosa. Sobreyace con discordancia angular a la Formación Paracas. Esta unidad se encuentra aflorando en el sector Vista Alegre al noroeste de la ciudad de Imperial (Figura 10).



Figura 10: Conglomerado consolidado constituido por gravas redondeadas a subredondeadas de tamaño y litología variada de la Formación Cañete, aflorando en el sector Vista Alegre a 3 km de la zona urbana de la ciudad de Imperial

3.3.3. Depósitos cuaternarios: Suprayaciendo al substrato rocoso, conformado por areniscas de la Formación Paracas, se encuentran de manera dispersa y con espesores distintos los depósitos Cuaternarios de edad Holocena, principalmente de origen aluvial.

Depósitos aluviales (Q-al): Están conformados por cantos y gravas redondeadas a subredondeadas, envueltos en una matriz areno-limosa y arcillosa. Es la unidad litológica de mayor distribución en el área de estudio, presenta un espesor de 4 m aproximadamente que conforma la extensa terraza aluvial, en ambas márgenes de la quebrada Pócoto, sobre la cual se asienta la ciudad de Imperial (Figuras 11).



Figura 11: Depósitos aluviales, conformados por cantos y gravas redondeadas a subredondeadas envueltos en una matriz areno-limosa y arcillosa, sobre los cuales se asienta la zona urbana de la ciudad de Imperial

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), estructuras geológicas (pliegues y disposición de estratos) que interactúan con los factores detonantes como sísmicos (sismicidad de la zona), climatológicos (incremento de las precipitaciones como el evento “El Niño”) y antrópicos (urbanismo, usos del suelo y construcción de vías de comunicación).

Tal como se indicó anteriormente, existen dos procesos, la meteorización y la erosión.

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

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

La acción, por separado o en conjunto, de los factores que dan origen a los procesos externos, favorecen a la ocurrencia de los eventos geodinámicos (Figura 12), los cuales se dividen, según su origen, en fluvio-aluvial e hidrogravitacional.

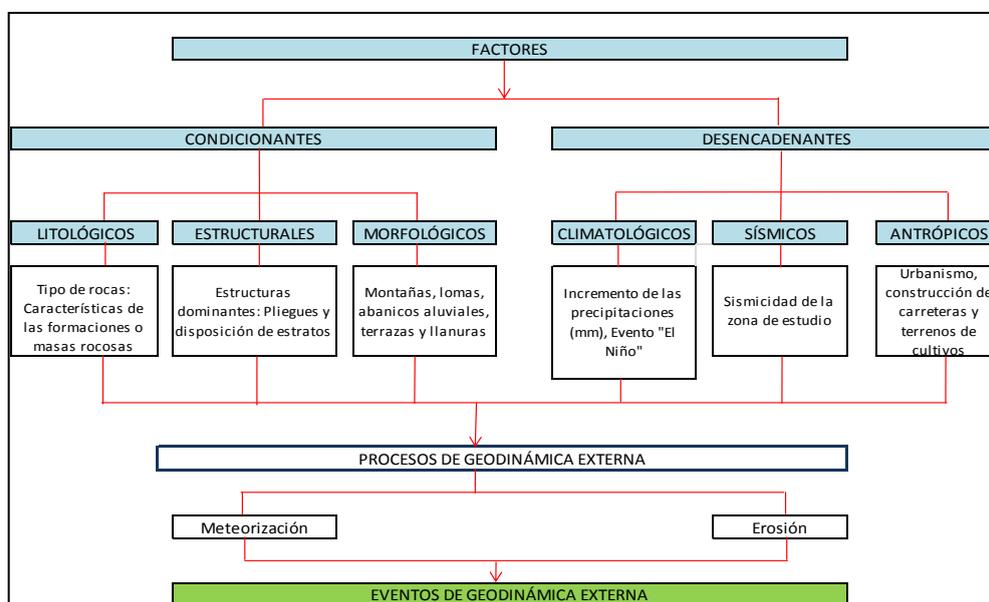


Figura 12: Factores asociados a procesos de geodinámica externa que contribuyen a la ocurrencia de eventos geodinámicos.

Los eventos de geodinámica superficial se dividen según su origen en Hidrometeorológico e hidrogravitacional, siendo sus características las siguientes:

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

Los eventos geodinámicos originados por estos procesos son descritos a continuación:

- **Flujos de detritos (huaicos):** movimiento de materiales sin cohesión (materiales sueltos) que se comportan como fluidos a causa del agua (provoca la pérdida total de resistencia de estos materiales) y se desplazan sin presentar superficies de rotura definidas, en algunos casos depositan sus materiales en forma de conos de deyección (Figura 13).

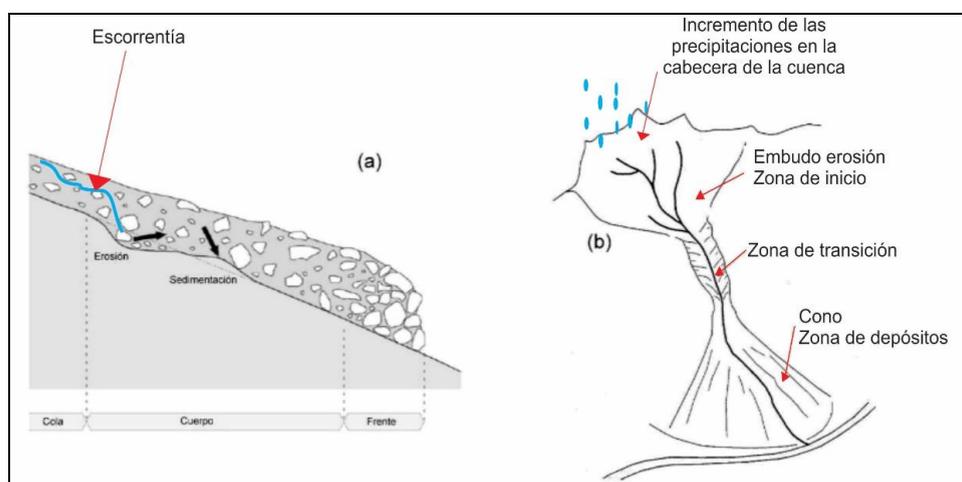


Figura 13: a) Proceso de erosión por las aguas de escorrentía y acumulación de material. b) Vista frontal de la cuenca y desarrollo del evento en cabecera de la cuenca por incremento de las precipitaciones, zona de transición (zona de almacenamiento de material y la depositación del material). Modificado del GITS (Grupo de Investigación de transportes de sedimentos)

- **Inundación:** 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 a la superposición de oleaje y las mareas, pero las más

frecuentes son las inundaciones en el interior de los continentes producidas por las aguas de escorrentía superficial (ríos, arroyos y torrentes), es decir, atribuida al incremento brusco del volumen de agua, denominado crecida, que es por consecuencia del exceso de lluvias. (Adaptado de CENEPRED, 2013). Las inundaciones pueden ser consecuencia de varios factores naturales y humanos (Tarbuck, 2005).

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 que causaron inundaciones en las áreas circundantes al río, esta anomalía es conocida como, evento hidrometeorológico extremo (Figura 14).

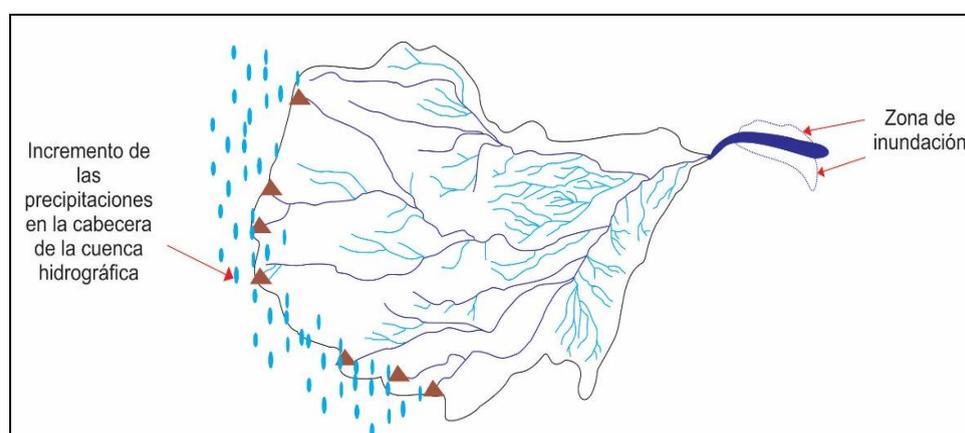


Figura 14: Inundación por incremento de las precipitaciones en la cabecera de la cuenca hidrográfica

b) Hidrogravitacional: En este mecanismo interviene el agua y la gravedad. Se presentan en los fondos de los valles y en las partes bajas de las vertientes. En estos se encuentran los movimientos en masa (MM) que son todos aquellos movimientos 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: el tipo de movimiento (caída, volcamiento y deslizamiento) y el material sean rocas y suelos (divididos en detritos y tierras).

Asimismo, Wyllie & Norrish, (1996), indican como causas de las caídas de roca: la lluvia, la roca fracturada, el viento, la escorrentía, la infiltración, las fracturas planares, la erosión, las raíces de los árboles, fuentes de agua superficial, la descomposición del suelo, los sismos, los cortes de las vías, la explotación de

materiales, el uso de explosivos, las vibraciones de la maquinaria, los vehículos y las diversas actividades antrópicas.

- **Caída de rocas:** Es el resultado del debilitamiento de la masa de roca, debido a la fragmentación y a la ausencia de soporte lateral, produciendo el deterioro de estructura del talud por la acción de la meteorización. En este caso, se forman prismas o pequeñas placas con dimensión mínima de 50 mm, que caen por gravedad (Figura 15).

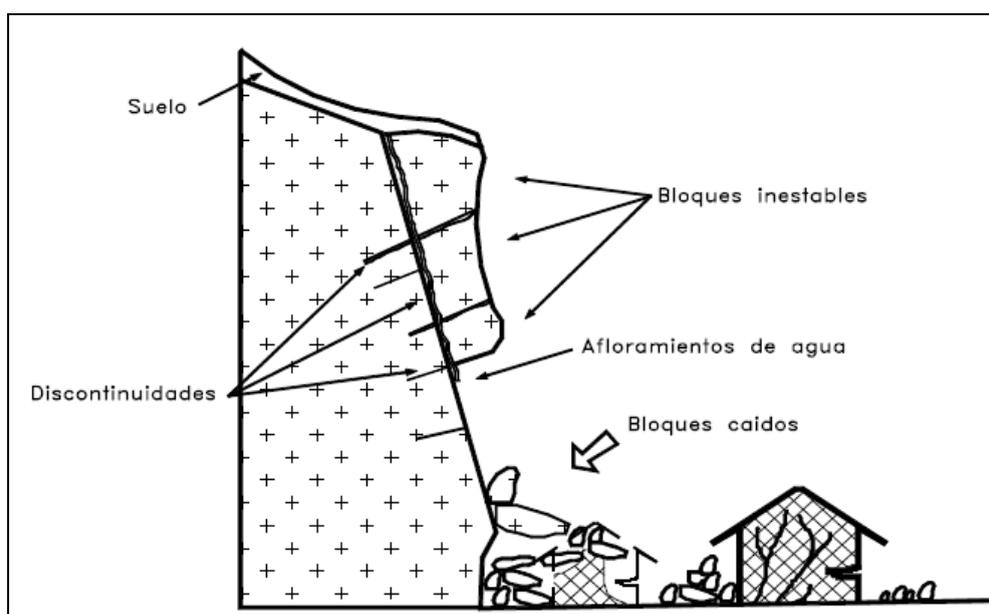


Figura 15: Proceso de caída de rocas (Suárez, 1998)

- **Deslizamiento:** Este movimiento consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies. El movimiento puede ser progresivo, es decir, que no se inicia simultáneamente a lo largo de toda la superficie de falla (Figura 16).

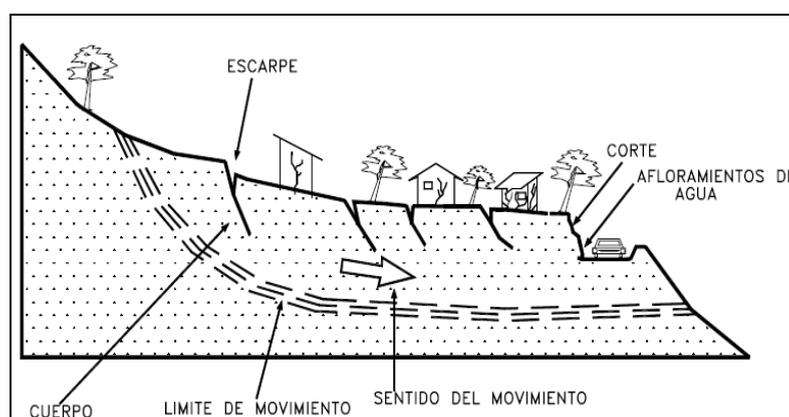


Figura 16: Deslizamiento en laderas (Suárez, 1998)

Se puede clasificar en:

Deslizamiento Rotacional cuando la superficie de falla es formada por una curva cuyo centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo del movimiento.

Deslizamiento Traslacional cuando el movimiento de la masa se desplaza hacia fuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada.

En la ciudad de Imperial, existe un solo tipo de evento geodinámica, tal como se muestra en la Figura 17.

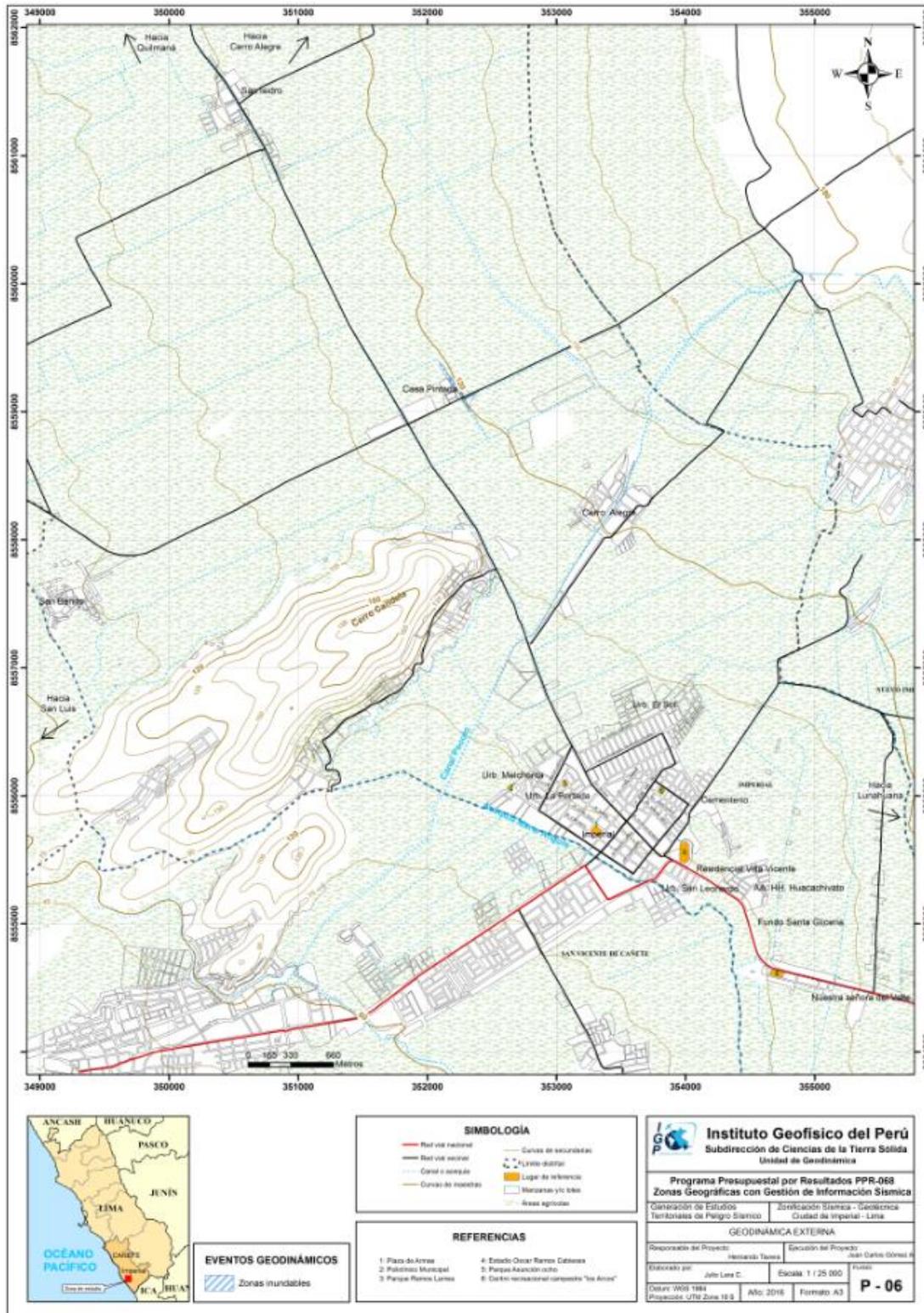


Figura 17: Mapa Geodinámico de la ciudad de Imperial y alrededores.

4.2.1. Inundaciones por desborde de acequias

El desborde de las acequias en el sector Casa Pintada podría volver a inundar las zonas aledañas (5 m a ambos márgenes) (Figura 18) y en la zona urbana de la ciudad de Imperial, el desborde de la acequia María Angola podría inundar las zonas aledañas (Figura 19). En ambos casos, debido a la acción del factor antrópico con el mal y/o la falta de mantenimiento de las acequias que conlleva a la acumulación de material fino en el fondo.



Figura 18: Acequia sin nombre ubicada en el sector Casa Pintada que al aumentar su caudal podría inundar las zonas aledañas a su cauce



Figura 19: Acequia María Angola (límite entre los distritos de San Vicente de Cañete e Imperial).

La susceptibilidad se define como la mayor o menor predisposición a que un proceso geodinámico suceda u ocurra sobre determinado espacio geográfico y tiempo (Hauser 1985 y 1993) y depende de los factores como: litología, tectonismo, agentes geológicos y actividad humana (taludes de corte).

Para identificar y delimitar las zonas susceptibles se utilizó la información recopilada en campo durante el cartografiado, así como la descripción contextual del evento geodinámico ocurrido en zonas adyacentes (antecedentes).

- **Zonas susceptibles ante inundaciones por desbordes de acequias:** En los sectores Casa Pintada (acequia sin nombre), Cerro Alegre (canal Pócoto) y la zona urbana de la ciudad de Imperial (acequia María Angola) (Figuras 20).



Figura 20: Ante el incremento de caudal de la acequia sin nombre particular, esto generaría desborde del mismo, afectando áreas urbanas, aledañas a la acequia en mención.

La actividad humana relacionada con el mal y/o falta de mantenimiento de las acequias conlleva a la acumulación de material fino en el fondo de éstas, lo que podría generar el desborde de las acequias inundando las zonas aledañas y afectando las viviendas que se encuentran en dichas áreas. Se ha estimado que las zonas susceptibles ante inundaciones afectarían 10.76 ha, zonas urbanas de los sectores Casa Pintada y Vista Alegre, así como las zonas aledañas a la acequia María Angola (Figura 21).

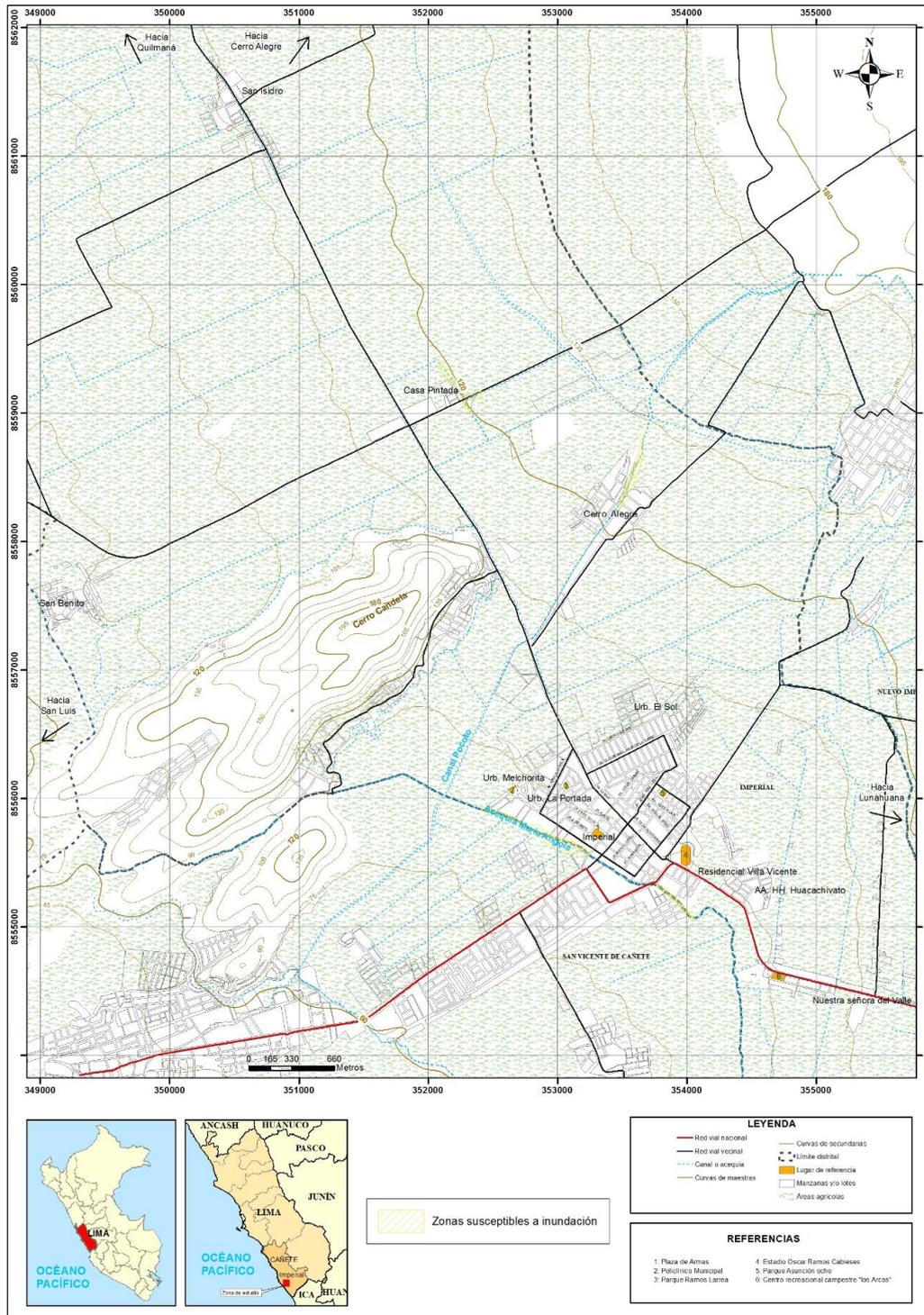


Figura 21: Zonas susceptibles ante inundaciones por desbordamientos de acequias

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 22).

Cabe destacar que, en algunas ciudades se presentan materiales eólicos (arenas), cuyo aporte se debe, principalmente a las corrientes de aire que proviene del Océano Pacífico.

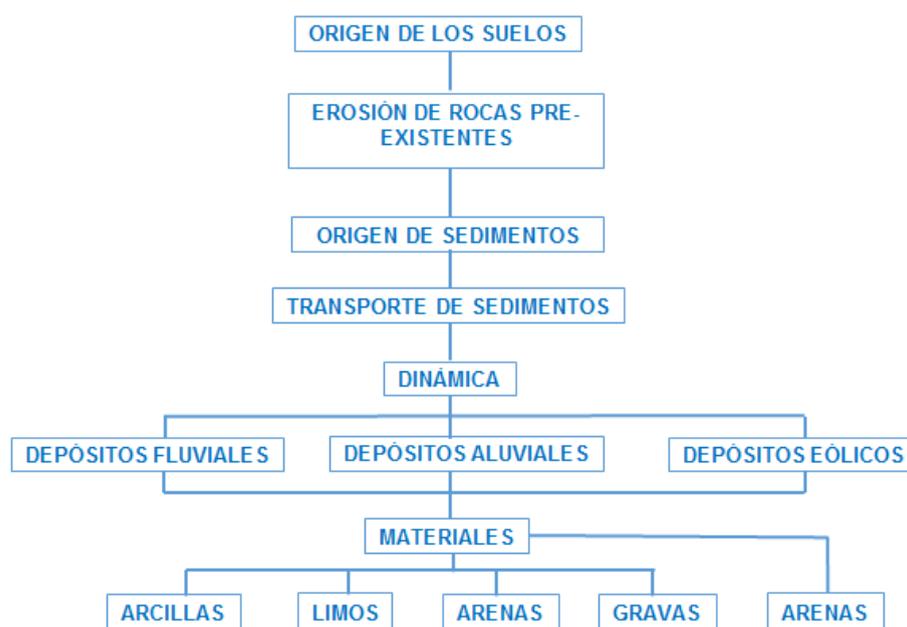


Figura 22: Diagrama del origen de los suelos.

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 Imperial, se realizó un estudio geotécnico que consistió en la elaboración de calicatas, densidad de campo, posteos y ensayos de penetración dinámica ligera (DPL).

Asimismo, de las calicatas se extrajeron muestras que fueron enviadas al laboratorio de suelos, a fin de realizar ensayos geotécnicos como: granulometría, plasticidad, corte directo y el cálculo de la capacidad de carga admisible, a continuación, se detallan los mismos:

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

Es un método de exploración directa que consiste en realizar una excavación en el terreno para la observación del suelo a cierta profundidad (aproximadamente 3 m), a fin de describir los estratos que lo conforman, así como extraer muestras para la realización de ensayos y análisis. Estas calicatas pueden ser realizadas con maquinaria (retroexcavadora) o de forma manual. Para el caso de la ciudad de Imperial se elaboraron 8 excavaciones realizadas con maquinaria (retroexcavadora) (Figura 23).



Figura 23: Calicata C-01 (3.20 m. de profundidad) ubicada en el sector San Isidro.

Reconocimiento de la zona de estudio: Se realizó el análisis visual de las características del terreno, evaluando la accesibilidad y lugares apropiados donde realizar las calicatas.

Excavaciones: Se realizaron con las siguientes dimensiones: 1.5 x 1.5 m. y aproximadamente 3 m., de profundidad en promedio.

Muestreo: Considera el proceso de extracción de dos muestras alteradas de suelo (para la identificación y la otra para determinar las propiedades de resistencia del suelo) en bolsas herméticas con capacidad de 5 kg aproximadamente.

5.1.1. Descripción de calicatas

Una vez terminada la excavación de la calicata, se procede a describir el perfil estratigráfico del subsuelo, para ello se han elaborado 08 fichas de descripción de calicatas, (ver Anexo). Las excavaciones fueron realizadas en puntos cuyas coordenadas UTM se detallan en la Tabla 5 y su distribución espacial en la Figura 24. Solo para la calicata C-08 se llegó a una profundidad de 2.30 debido a la presencia de nivel freático.

Tabla 5: Ubicación de calicatas (NP, no presenta nivel freático)

CALICATA	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO (m)
C - 01	350561	8561481	125	3.20	N.P
C - 02	352197	8559192	134	3.10	N.P
C - 03	349015	8557645	89	3.10	N.P
C - 04	353697	8558351	111	3.00	N.P
C - 05	352752	8556193	110	3.10	N.P
C - 06	353943	8556391	111	3.50	N.P
C - 07	353948	8555213	108	3.10	N.P
C - 08	354729	8554921	112	2.30	2.30

Según las calicatas y ensayos SPT realizados por INDECI (2008), no se encontró nivel freático superficial en la zona urbana de la ciudad de Imperial.

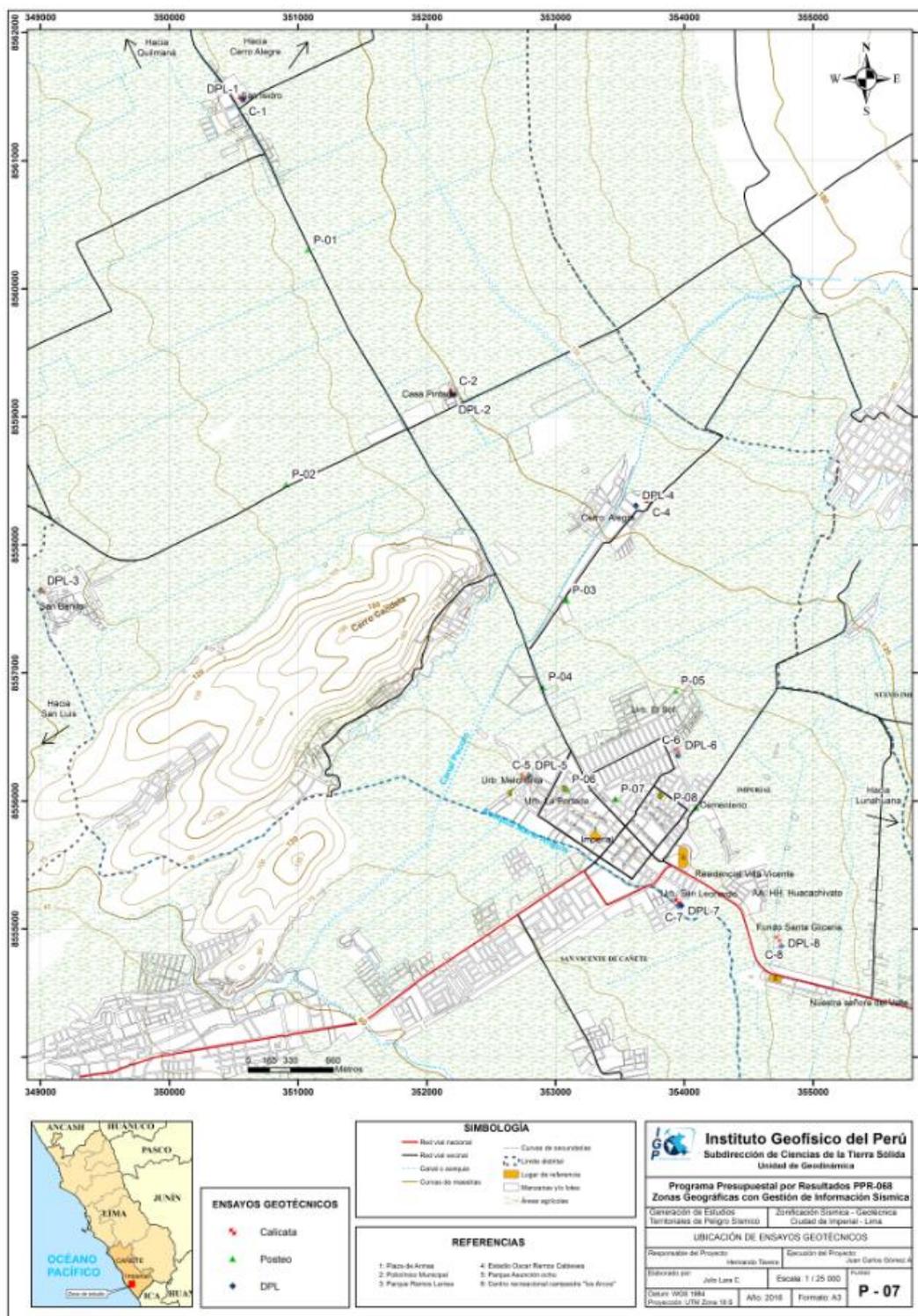


Figura 24: Mapa de distribución de calicatas, posteos y DPL en la ciudad Imperial y alrededores.

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 (estrato muestreado) se realizó un ensayo de densidad de campo, haciendo uso del método del cono de arena (Figura 25) a fin de conocer la compactación y el contenido de humedad del suelo en condiciones naturales, información necesaria para desarrollar los ensayos de corte directo a las muestras de suelo (en su estado inicial). Es necesario, indicar que en las calicatas C-04 y C-06 no se realizaron los ensayos antes indicados debido a la presencia de gravas que superaban el diámetro de la placa base.



Figura 25: Ensayo de densidad de campo, a través del método del cono de arena, realizado en la calicata C-01 a 3.20 m de profundidad.

5.2.1. Procedimiento

Excavación: El proceso de diseño del agujero se realizó usando cinceles y comba a (profundidad de 10 a 12 cm) siguiendo la guía del diámetro de la placa metálica.

Extracción de la muestra de suelo del agujero elaborado anteriormente y pesado del material extraído.

Posicionamiento de cono de arena pesado sobre la placa, se espera hasta que deje de vaciar arena y se llene el agujero.

Finalmente, se pesa la arena que sobra en el cono y se procede a realizar los cálculos para la obtención de la densidad húmeda; mientras que, la densidad seca se obtiene en el laboratorio al momento de conocer la humedad natural de la muestra extraída.

En la Tabla 6, se presenta los resultados obtenidos para las densidades de las calicatas elaboradas para el área de estudio y sus fichas se adjunta en los Anexos.

Tabla 6: Resultado de densidades in – situ

CALICATA	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	DENSIDAD HUMEDA (gr/cm^3)	DENSIDAD SECA (gr/cm^3)
C - 01	DC-A - 01	3.20	1.29	1.19
C - 02	DC-A - 02	3.10	1.84	1.63
C - 03	DC-A - 03	3.00	1.71	1.07
C - 05	DC-A - 05	3.10	1.69	1.67
C - 07	DC-A - 07	3.10	1.56	1.35
C - 08	DC-A - 08	1.00	1.68	1.30

En base a los valores definidos en la Tabla 7, se concluye que los suelos en la ciudad de Imperial, presentan rangos de densidad entre $1.07 - 1.35 \text{ gr}/\text{cm}^3$; es decir, presentan baja densidad, debido a que sus suelos están conformados por arcillas y limos inorgánicos; a excepción de las calicatas 02 y 05 (C-02 y C-05) que están conformadas por suelos granulares (arenas limosas).

Tabla 7: 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 (SP)	1.70 – 1.90	1.30 – 1.50
	BIEN GRADUADA (SW)	1.80 – 2.30	1.40 – 2.20
	MEZCLA DE ARENA (SW Y SP)	1.90 – 2.30	1.50 – 2.20
ARCILLA	LODO NO CONSOLIDADO	1.60 – 1.70	0.90 – 1.10
	BLANDA, AGRIETADA	1.70 – 1.90	1.10 – 1.40
	TÍPICA (CONS. NORMAL)	1.80 – 2.20	1.30 – 1.90
	MORRENA (SOBREC.)	2.00 – 2.40	1.70 – 2.20
SUELOS ROJOS TROPICALES		1.70 – 2.10	1.30 – 1.80

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

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

Por otro lado, es sabido que la posteadora presenta restricciones en suelos con presencia de gravas y gravillas (las cucharas sacan muestras se entranpan con este tipo de suelos) por corresponder a suelos densos a muy densos.

5.3.1 Procedimiento

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 van conectando y añadiendo las varillas de 1 metro de extensión para la obtención de muestras con las cucharas acopladas en el extremo. Estas exploraciones fueron distribuidas entre las calicatas en lugares donde no existía información geotécnica, a fin de obtener mejor caracterización de los suelos de la ciudad de Imperial (Figura 26).



Figura 26: Posteo P-02 realizado en la margen derecha de la carretera hacia San Benito, la profundidad alcanzada fue de 2.20 m.

En la Tabla 8, se muestran los resultados en detalle obtenidos en el área de estudio. Las fichas se adjuntan en los Anexos.

Tabla 8: Ubicación de posteos y clasificación de suelos SUCS (NP=no presenta).

POSTEOS	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE SUELO (SUCS)	NIVEL FREÁTICO (m)
P - 01	351077	8560303	126	0.80	SC	N.P.
P - 02	350909	8558474	112	2.20	SM	N.P.
P - 03	353088	8557569	118	1.53	SP	N.P.
P - 04	352902	8556892	115	1.80	SP	N.P.
P - 05	353931	8556861	121	1.56	SP	N.P.
P - 06	353085	8556093	112	1.00	SM	N.P.
P - 07	353465	8556017	117	1.90	SM	N.P.
P - 08	354094	8555949	107	2.00	SM	N.P.

En los posteos realizados en la ciudad de Imperial, no se encontró nivel freático superficial.

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) que 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. Este ensayo puede aplicarse en terrenos arenosos, arcillosos y limo arenoso, no

recomendable a utilizarse en gravas, fragmentos gruesos, conglomerados y terrenos rocosos.

5.4.1. Principio

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

5.4.2. Equipos y accesorios

El equipo de DPL cuenta con los siguientes accesorios (Figura 27)

Cono dinámico: Pieza metálica cilíndrica de dimensiones estandarizadas, está en contacto directo con el suelo, y se utiliza para medir la resistencia a la hincada del suelo.

Martillo o martinete: Pieza cilíndrica utilizada para generar la energía mecánica requerida para la hincada del cono.

Cabeza de golpeo o Yunque: Pieza que recibe el impacto del martillo cuando es utilizado y cuyo objetivo es transmitir la energía producida hacia la punta del cono dinámico.

Varillaje: Barras metálicas las cuales transmiten la energía producida por el martillo hacia el cono. Las barras se conectan desde el yunque hacia el cono cilíndrico, poseen una longitud de un metro y líneas de referencia cada diez centímetros, esto con el objeto de facilitar el registro de datos.

Placa base: Placa metálica que da soporte a las componentes del equipo y los mantiene de manera vertical, con lo cual es fácil la extracción de las barras de traspaso de carga luego de finalizado el sondaje.

Barra guía: Pieza unida al yunque que permite dar la altura de caída requerida por el martillo y a su vez guía en su caída libre hacia el yunque.



Figura 27: Equipo y accesorios que conforman el DPL.

5.4.3. Procedimiento

El procedimiento de campo incluyó las siguientes actividades:

- ✓ **Ubicación** de ensayos: Se distribuyeron al costado y en puntos intermedios a algunas de las calicatas; de este modo se obtiene mayor información sobre la resistencia del suelo en el área estudiada.
- ✓ **Ensamble de equipo:** Consiste en conectar los accesorios del equipo. La punta cónica va al final de la varilla de penetración, esta se une a la guía que contiene el yunque, posteriormente se ajusta las uniones y finalmente, se empieza a hincar el suelo con la caída libre del martillo (acción de la gravedad).
- ✓ **Proceso de toma de datos:** Se debe registrar el número de golpes por cada 10 cm que la varilla penetra el suelo. Este procedimiento se sigue hasta que el suelo ofrezca resistencia (no exceder los 45 golpes de acuerdo a norma técnica).

En la Tabla 9, se indica las coordenadas UTM de los ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) realizados en las inmediaciones de la ciudad de Imperial, la profundidad total alcanzada y los datos obtenidos del ensayo (número de golpes y ángulo de fricción), a una profundidad entre 0.90 y 1.20 m, debido a que en ese nivel se calculará los parámetros geotécnicos (ángulo de fricción y cohesión) para el cálculo de la capacidad portante. Las fichas de los ensayos se adjuntan en los Anexos.

Tabla 9: Ubicación de ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) y parámetros obtenidos

DPL	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	NUMERO DE GOLPES (0.90 – 1.20 m)	Φ
DPL - 01	350566	8561481	125	2.39	78	51.2
DPL - 02	352202	8559196	134	2.90	7	28.9
DPL - 03	349015	8557645	89	3.00	8	29.3
DPL - 04	353689	8558354	111	0.15	48	40.5
DPL - 05	352751	8556193	110	1.49	75	49.8
DPL - 06	353946	8556393	111	2.90	47	40.3
DPL - 07	353989	8555208	108	3.00	6	28.5
DPL - 08	354711	8554932	112	2.80	9	29.6

En la ciudad de Imperial, los suelos en su mayoría son finos de origen aluvial, o sea por arcillas limosas (DPL-03, 07 y 08), por lo cual su valor de ángulo de fricción interna es menor a 35°. Para suelos granulares conformados por gravas (DPL-01, 06), arenas arcillosas (DPL-04) y arenas limosas (DPL-02, 05), los ángulos de fricción varían entre 28.5° y 51.2°.

5.5. Correlación entre el “N” DPL y el “N” SPT (ASTM D1586)

El ensayo DPL no cuenta con correcciones normadas para la obtención del ángulo de fricción interna, es por ello que, los valores obtenidos del número de golpes del ensayo DPL (N_{DPL}) fueron correlacionados con el número de golpes del ensayo de penetración estándar (N_{SPT}) para determinar el ángulo de fricción interna corregido y posteriormente, calcular la capacidad de carga admisible.

Entre los diversos métodos de correlación para el número de golpes del ensayo DPL y SPT, en base a las características del terreno (compacidad, resistencia y deformabilidad), e incluso con las dimensiones de las cimentaciones requeridas, se

utilizó una fórmula empírica que relaciona los parámetros de los equipos DPL y SPT, tales como: peso del martillo, altura de caída del martillo, área de la punta cónica, el espesor de la hinca y los número de golpes obtenidos con el DPL, a continuación se detalla dicha relación:

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

Dónde:

N_1 = Número de golpes equivalente en SPT

N_2 = Número de golpes obtenidos en DPL

W_1 = Peso del martillo del DPL

W_2 = Peso del martillo SPT

H_1 = Altura de caída de DPL

H_2 = Altura de caída del SPT

A_1 = Área de la punta cónica del DPL

A_2 = Área de la punta cónica del SPT

e_1 = Espesor de la hinca del DPL

e_2 = Espesor de la hinca del SPT

Una vez calculado los valores de golpes con el SPT (N_{SPT}), se realizaron las siguientes correcciones: en nivel freático, eficiencia, longitud y diámetro, para así obtener un nuevo valor de número de golpes por ensayo SPT (N'_{SPT}), con el cual se procede a estimar el ángulo de fricción interna de los suelos.

5.5.1. Cálculo del ángulo de fricción interna

Para determinar el ángulo de fricción interna de los suelos de cimentación, existen diversas fórmulas empíricas propuestas por diversos autores, por ejemplo, Dunham, Osaki (1959), Muromachi (1974), Peck (1974), Das (1995) y Katanaka - Uchida (1996). Para el caso de la ciudad de Imperial, se empleó la relación experimental propuesta por osaki (1959), debido a que es la más usada internacionalmente y sus resultados son conservadores, respecto a otros autores (Tabla 10).

Tabla 10: Cálculo del ángulo de fricción interna usando valores del NSPT.

ENSAYO	N _{SPT} CORREGIDO	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA (ϕ'_{NSPT})	N _{SPT} CORREGIDO	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA (ϕ'_{NSPT})
DPL-01	9.19	28.6	7.26	27.0
DPL 02	8.95	28.4	6.53	26.4
DPL -03	7.98	27.6	7.74	27.4
DPL -05	7.50	27.2	26.13	37.9
DPL -06	7.26	27	9.92	29.1
DPL -07	13.55	31.5	13.55	31.5
DPL -08	12.82	31.0	7.98	27.6
PROFUNDIDAD DEL ENSAYO	1.00 – 1.20 m		1.30 - 1.50 m	

Tabla 11: Compacidad relativa de los suelos en base al NSPT (Modificado de Badillo & Rico 1973)

ARCILLAS			ARENAS GRANO MEDIO A GRUESO			ARENAS GRANO FINO A LIMOSAS		
Número de golpes SPT (N _{SPT})	Ángulo de fricción interna (ϕ')	Compacidad	Número de golpes SPT (N _{SPT})	Ángulo de fricción interna (ϕ')	Compacidad	Número de golpes SPT (N _{SPT})	Ángulo de fricción interna (ϕ')	Compacidad
< 2	0°	Muy Blanda	0 - 5	27°	Muy suelta	0 - 5	27°	Muy suelta
2 - 4	0 - 2	Blanda	6 -12	28.00° - 30.50°	Suelta	6 -12	28.00° - 29.50°	Suelta
4 - 8	2 - 4	Media	13 - 32	31.50° - 36.30°	Media	13 - 45	31.00° - 35.80°	Media
8 - 15	4 - 6	Compacta	33 - 52	37.00° - 41.20°	Compacta	46 - 60	36.00° - 36.80°	Compacta
15 - 30	6 - 12	Muy Compacta	53 - 60	42°.00 - 42.60°	Muy Compacta			
> 30	> 14	Dura						

De acuerdo a los datos de las Tablas 10 y 11, los suelos de la ciudad de Imperial, en su mayoría, son arenosos y por un valor de ángulo de fricción interna menor a 33° para profundidades entre 1.00 y 1.20 m; por tanto, los suelos presentan compacidad media a suelta. Mientras que, entre 1.30 y 1.50 m de profundidad, el ángulo de fricción interna es menor a 37° y presentan compacidad relativa de suelta a media.

Finalmente, en los Anexos se adjunta las fichas resumen de cada uno de los ensayos realizados en campo y sus respectivos valores del ángulo de fricción interna (Figura 28).

	PERÚ Ministerio del Ambiente	Instituto Geofísico del Perú - IGP	Dirección Científica	Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida	Unidad de Geodinámica
---	--	------------------------------------	----------------------	--	-----------------------

**ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA
(NORMA DIN - 4094)**

PROYECTO: ZONIFICACIÓN SÍSMICA - GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE IMPERIAL

UBICACIÓN: Sector San Isidro

PROFUNDIDAD (m): 2.39

COORDENADAS (m): 350566 E

8561481 N

FECHA: Julio de 2016

ELABORADO POR: Julio Lara C.

APROBADO POR: Juan Carlos Gómez A.

RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera

ENSAYO: DPL-01

HOJA: 1/1

N.F.: presenta nivel freático

Correlación entre DPL y SPT

PROF. (m.)	N _{dpl} (golpes)	N _{spt} (golpes)	C' _{spt} (Tn/m ²)	φ' _{spt} (°)	Compacidad Relativa
0.00	17				
0.10	42				
0.20	25	20.32	0.0	35.2	Media
0.30	17				
0.40	11				
0.50	10	7.02	0.0	26.8	Suelta
0.60	8				
0.70	10				
0.80	9	7.26	0.0	27.0	Suelta
0.90	11				
1.00	12				
1.10	13	9.19	0.0	28.6	Suelta
1.20	13				
1.30	15				
1.40	8	7.26	0.0	27.0	Suelta
1.50	7				
1.60	6				
1.70	4	3.39	0.0	23.2	Muy Suelta
1.80	4				
1.90	9				
2.00	17	15.24	0.0	32.5	Media
2.10	37				
2.20	35				
2.30	50	39.43	0.0	43.1	Compacta
2.39	78				
2.50					
2.60					
2.70					
2.80					
2.90					
3.00					
3.10					
3.20					
3.30					
3.40					
3.50					
3.60					
3.70					
3.80					
3.90					
4.00					
4.10					
4.20					

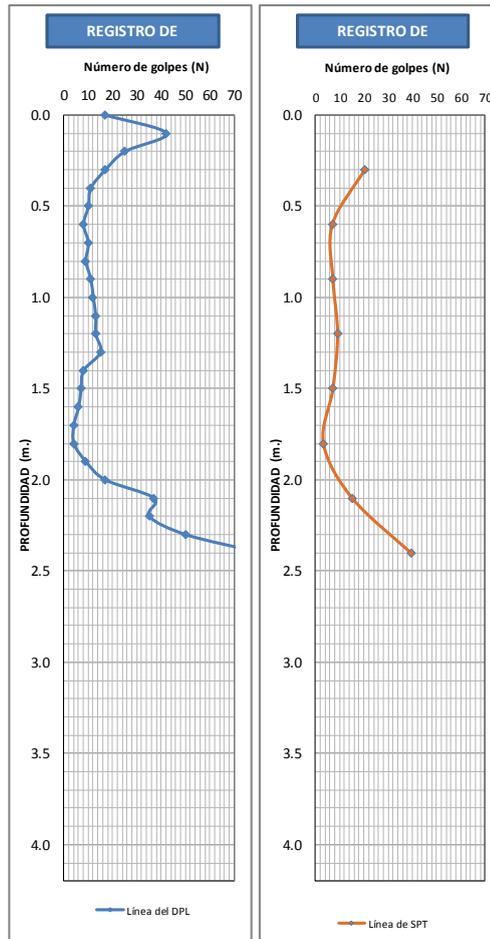


Figura 28: Diagrama de correlación entre el número de golpes del DPL y el número de golpes del SPT y el cálculo de ángulo de fricción interna corregido.

5.6. Clasificación SUCS

En base a la información geotécnica recopilada de las calicatas, posteos y DPL realizados en la ciudad de Imperial, los resultados obtenidos de los ensayos granulométricos plasticidad e inspección visual del terreno, se ha identificado la existencia de 4 tipos de suelos que han sido agrupados haciendo uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), ver Tabla 12 y Figura 29.

Suelos tipo GP: Grava mal graduada con poco contenido de material fino (1.79%) y humedad de 3.50%. Constituyen suelos con grado de compactación media, y no presentan plasticidad (debido al poco contenido de material fino). Estos suelos ocupan el 9% del área de estudio y se han identificado en la calicata 06 (C-06), a 900 m al noreste de la plaza principal de la ciudad de Imperial.

Suelos tipo SP: Están conformados por arenas mal graduadas y contenido de humedad menor a 4%. Constituyen suelos con grado de compactación bajo a medio y no presentan plasticidad. Estos suelos representan el 11% del área de estudio y se han identificado en los posteos 03, 04 y 05 (P-03, P-04 y P-05), a 1.86, 1.23 y 1.27 km al norte de la plaza principal de la ciudad de Imperial, respectivamente.

Suelos tipo SM: Están conformados por arenas limosas y contenido de humedad de 20.09%. Constituyen suelos con grado de compactación bajo a medio y presentan plasticidad media. Estos suelos representan el 8% del área de estudio y se han identificado en la calicata C-05 (Urb. Melchorita) y en los posteos P-06 (Parque Ramos Larrea) y P-08 (Cementerio de Imperial).

Suelos tipo CL-ML: Están conformados por arcillas limosas arenosas y contenido de humedad de 13.67%. Constituyen suelos con grado de compactación bajo y presentan plasticidad. Estos suelos representan el 7% del área de estudio y se han identificado las calicatas C-07 (Urbanización San Leonardo) y C-08 (Fundo Santa Glicería).

Según las cinco (5) calicatas realizadas por INDECI (2008), en la zona urbana de la ciudad de Imperial, los tipos de suelos identificados fueron: gravas mal graduadas (GP), arenas limosas (SM), arenas mal graduadas-arenas limosas (SP-SM) y limos arcillosos (ML-CL), los cuales coinciden con los resultados obtenidos en el presente informe.

Tabla 12: Clasificación SUCS de los suelos de ocho (8) calicatas elaboradas en la ciudad de Imperial

CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO (m)	GRAVAS % (>4.76 mm)	ARENAS % (>0.074 mm, <4.76 mm)	FINOS % (<0.074 mm)	LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	CLASIFICACIÓN SUCS	DENOMINACIÓN
C - 01	3.20	N.P.	0.1	46.7	53.17	23	16	7	7.72	CL	Arcilla limosa, arenosa
C - 02	3.10	N.P.	9	48.6	42.31	18	15.3	2.7	11.23	SM	Arena limosa con gravas
C - 03	3.10	N.P.	0.2	7.4	92.32	38	24	14	37.65	CL	Arcilla limosa, arenosa
C - 04	3.00	N.P.	61.7	30.6	7.62	N.P.	N.P.	N.P.	2.69	GW	Grava bien graduada arenosa
C - 05	3.10	N.P.	0.9	55.3	43.70	20.3	16.9	3.4	20.09	SM	Arena limosa
C - 06	3.50	N.P.	75.9	22.3	1.79	N.P.	N.P.	N.P.	1.35	GP	Grava mal graduada, arenosa
C - 07	3.10	N.P.	2.8	43.4	53.79	22.6	18.5	4.1	13.67	CL-ML	Arcilla limosa, arenosa
C - 08	2.30	2.3	2.0	15.2	82.73	26.1	18.4	7.7	22.77	CL	Arcilla limosa, arenosa

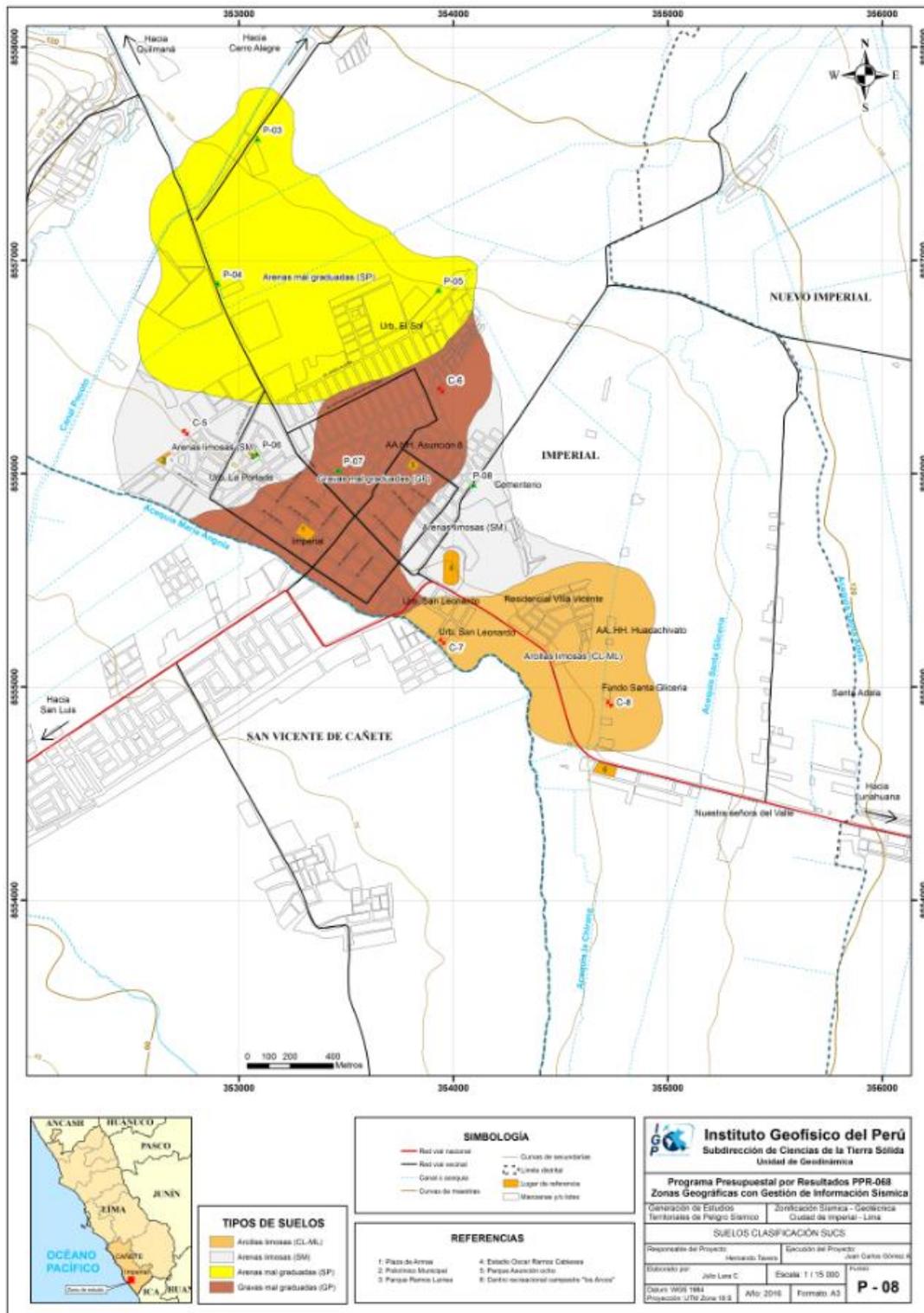


Figura 29: Mapa de clasificación SUCS para los suelos de la ciudad de Imperial y alrededores.

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

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

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

Para la ciudad de imperial, los valores obtenidos para los ensayos de corte directo se presentan en la Tabla 13.

Tabla 13: Valores obtenidos del ensayo de corte directo (JCL consultores e IGP- 2016)

MUESTRA	Ángulo de fricción interna del suelo (ϕ)	Cohesión aparente del suelo (Tn/m ²)	Densidad natural (Tn/m ³)
C-01	20	0.19	1.29
C-02	25.10	0.02	1.84
C-03	19.4	0.16	1.71
C-04	34.5	0.10	1.91
C-05	24.94	0.01	1.69
C-06	33	0.12	1.92
C-07	13.66	0.14	1.56
C-08	13.43	0.17	1.68

5.8. Capacidad de carga admisible

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

5.8.1. Carga última (q_u)

Es la presión última por unidad de área de la cimentación soportada por el suelo, en exceso de la presión causada por el suelo alrededor al nivel de la cimentación (Amézquita, J. et al). Para determinar la carga última se usaron los resultados de los ensayos de corte directo y en base al NSPT (ángulo de fricción y la cohesión), datos que se usaran con la fórmula general de Terzaghi (1943), a través de la siguiente expresión:

$$q_u = cN_c S_c + qN_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma S_\gamma$$

Dónde:

C: cohesión

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

N_c , N_q , N_γ : Factores de carga (Tabla 14).

Tabla 14: Factores de carga modificado por Terzaghi (Baja Das – 2007).

ϕ'	N_c	N_q	N_γ	ϕ'	N_c	N_q	N_γ
0	5.70	1.00	0.00	26	15.53	6.05	2.59
1	5.90	1.07	0.005	27	16.30	6.54	2.88
2	6.10	1.14	0.02	28	17.13	7.07	3.29
3	6.30	1.22	0.04	29	18.03	7.66	3.76
4	6.51	1.30	0.055	30	18.99	8.31	4.39
5	6.74	1.39	0.074	31	20.03	9.03	4.83
6	6.97	1.49	0.10	32	21.16	9.82	5.51
7	7.22	1.59	0.128	33	22.39	10.69	6.32
8	7.47	1.70	0.16	34	23.72	11.67	7.22
9	7.74	1.82	0.20	35	25.18	12.75	8.35
10	8.02	1.94	0.24	36	26.77	13.97	9.41
11	8.32	2.08	0.30	37	28.51	15.32	10.90
12	8.63	2.22	0.35	38	30.43	16.85	12.75
13	8.96	2.38	0.42	39	32.53	18.56	14.71
14	9.31	2.55	0.48	40	34.87	20.50	17.22
15	9.67	2.73	0.57	41	37.45	22.70	19.75
16	10.06	2.92	0.67	42	40.33	25.21	22.50
17	10.47	3.13	0.76	43	43.54	28.06	26.25
18	10.90	3.36	0.88	44	47.13	31.34	30.40
19	11.36	3.61	1.03	45	51.17	35.11	36.00
20	11.85	3.88	1.12	46	55.73	39.48	41.70
21	12.37	4.17	1.35	47	60.91	44.45	49.30
22	12.92	4.48	1.55	48	66.80	50.46	59.25
23	13.51	4.82	1.74	49	73.55	57.41	71.45
24	14.14	5.20	1.97	50	81.31	65.60	85.75
25	14.80	5.60	2.25				

Luego, en base a los resultados de la carga última (q_u) se calculó la capacidad admisible de los suelos para una profundidad de cimentación de 1.00 m y ancho de zapata de 1.00 m, así como también para profundidad de cimentación de 1.50 m y

ancho de zapata de 1.00 m. Los resultados de capacidad de carga admisible de los 4 tipos de suelos analizados se presenta en la Tabla15 y Figura 30.

Tabla 15: Capacidad de carga admisible de las muestras extraídas en la ciudad de Imperial.

MUESTRA	Capacidad de carga última (Tn/m ²)	Capacidad de carga admisible (Kg/cm ²)	Capacidad de carga última (Tn/m ²)	Capacidad de carga admisible (Kg/cm ²)
C-01	1.20	0.40	1.69	0.56
C-02	3.15	1.05	4.33	1.44
C-03	1.48	0.49	2.08	0.69
C-04	11.43	3.81	15.15	5.05
C-05	3.08	1.03	4.15	1.38
C-06	9.29	3.10	12.38	4.13
C-07	2.36	0.79	2.67	0.89
C-08	0.74	0.25	1.06	0.35
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00		Profundidad: 1.50 m y ancho:1.00	

Tabla 16: 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

De los resultados obtenidos, se ha determinado que la zona urbana de la ciudad de Imperial presenta suelos con la siguiente capacidad de carga admisible.

5.8.2. Capacidad de carga admisible muy baja

Comprende rangos de capacidad de carga admisible menores a 1.00 kg/cm² y corresponden al tipo de suelo arcilloso limoso, arenoso (CL-ML), cuyo grado de compactación es bajo, estos suelos se encuentran en la Urb. San Leonardo, Residencial Villa Vicente y el Fundo Santa Glicería.

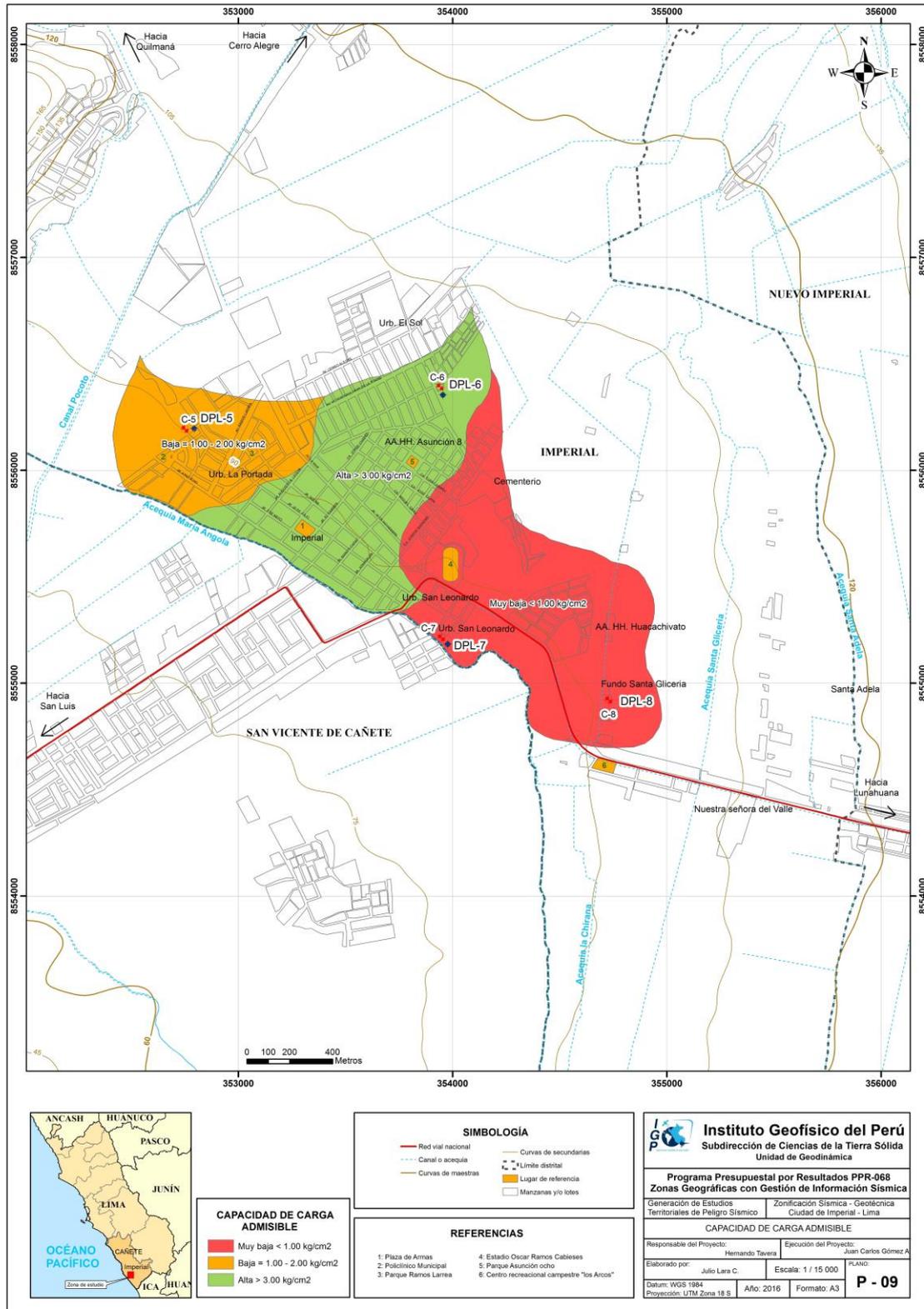


Figura 30: Mapa de capacidad de carga admisible para la ciudad de Imperial y alrededores.

5.8.3. Capacidad de carga admisible baja

Comprende rangos de capacidad de carga admisible entre 1.00 - 2.00 kg/cm² y corresponden al tipo de suelo arena limosa (SM), cuyo grado de compactación es bajo estos suelos se encuentran en la Urb. Melchorita, La Portada y en las inmediaciones del estadio Oscar Ramos Cabieses.

5.8.4. Capacidad de carga admisible alta

Comprende rangos de capacidad de carga admisible mayores a 3.00 kg/cm² y se encuentran representadas por suelos gravas mal graduadas (GP), cuyo grado de compactación es medios, estos suelos se encuentran en el AA.HH. Asunción 8, y las inmediaciones de la plaza de armas de la ciudad de Imperial.

CARACTERIZACIÓN SÍSMICA Y GEOFÍSICA DE LA CIUDAD DE IMPERIAL

CONTENIDO

1. METODOLOGÍA

- 1.1. Razones Espectrales H/V
- 1.2. Análisis Multicanal de ondas Superficiales (MASW)
- 1.3. Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT)

2. RECOLECCIÓN DE DATOS

- 2.1. Registro de vibración ambiental (H/V)
- 2.2. Registro de arreglos lineales (MASW)
- 2.3. Registro de la resistividad del suelo (ERT)

3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

- 3.1. Estudio Sísmico con la Técnica de H/V
- 3.2. Estudio Sísmico con la Técnica de MASW
- 3.3. Periodos Dominantes
- 3.4. Estudios Eléctricos con la Técnica ERT

4. ZONIFICACIÓN SÍSMICA – GEOTÉCNICA

- 4.1. Mapa de Zonificación Sísmica

CONCLUSIONES

1. METODOLOGÍA

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

1.1. Razones Espectrales (H/V)

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

Para la aplicación de esta técnica en la ciudad de Imperial, se obtiene registros de vibración ambiental y se procede a construir las razones espectrales H/V (cociente de los espectros de Fourier de las componentes horizontales entre la vertical), a fin de identificar las frecuencias predominantes y amplificaciones máximas relativas que caracterizan al tipo de suelo presente en el área de estudio. Estas características son definidas por las condiciones geológicas, geomorfológicas y geotécnicas 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.

- Los registros de vibración ambiental fueron tratados por ventanas de 20 segundos de señal no perturbada por el ruido de fondo. Para tal efecto, se selecciona de forma aleatoria diversos tramos de señal sin la presencia de ruidos transitorios.
- Se calcula la Transformada Rápida de Fourier para un número mayor a 10 ventanas de observación para cada punto.
- Los espectros horizontales de la señal se dividieron entre el espectro vertical para obtener la relación H/V y luego se promediaron estos para cada punto de observación considerando su respectiva desviación estándar.

- Se procedió a identificar la frecuencia predominante considerando, un rango de interés que fluctúa entre 0.5 a 20 Hz y picos/rangos con amplificaciones relativas de al menos 2 veces (se considera la amplitud de “1” como punto de referencia).

En la Figura 1, se muestra un ejemplo de registro de vibración ambiental (IM-65), el 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, las bandas grises identifican las frecuencias principales. Finalmente, para la presentación de los resultados, las frecuencias son expresadas en periodos dominantes.

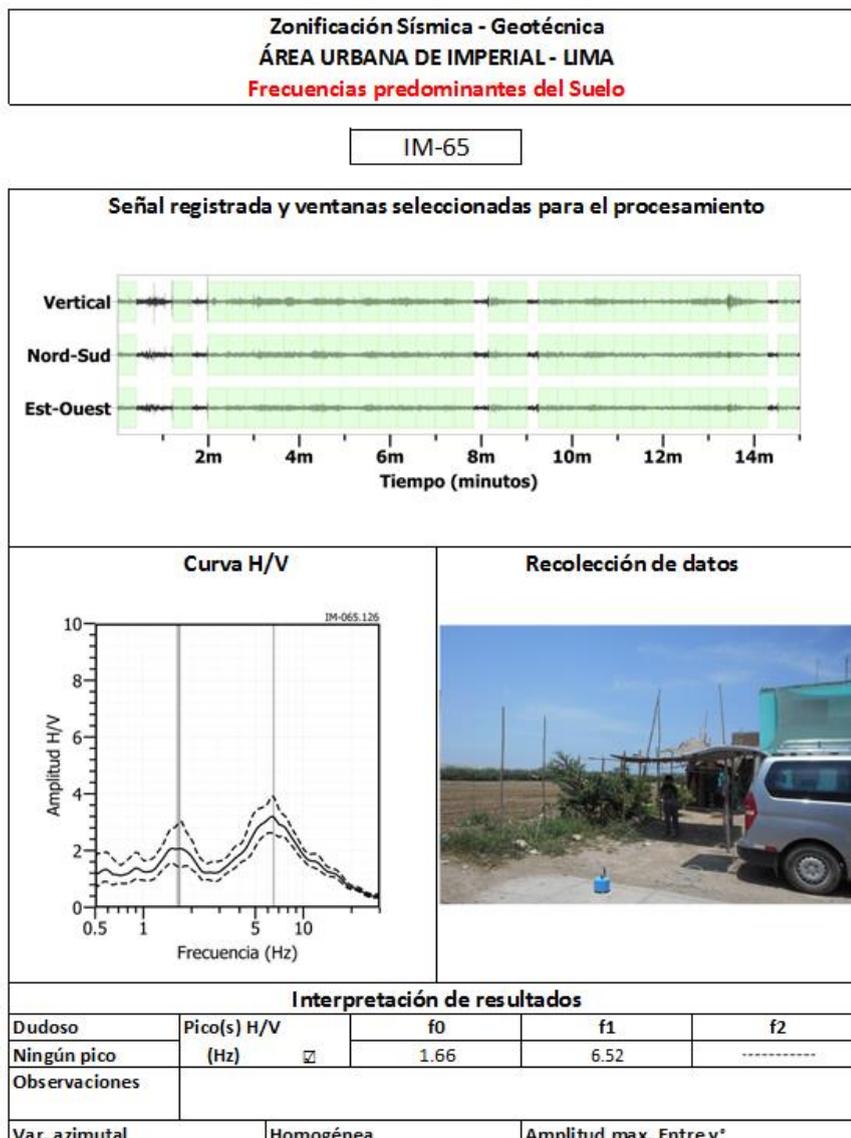


Figura 1: Ejemplo de la ficha H/V para el punto IM-165 en la cual se recopila la información registrada y analizada. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en líneas discontinuas y Abajo resultados.

Para la interpretación de los resultados se considera que: 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, 2004; Bernal, 2006). Asimismo, se evalúa la correspondencia de los parámetros físicos-dinámicos encontrados con los aspectos geológicos, geomorfológicos y geotécnicos que domina a la zona de estudio.

1.2. Análisis Multicanal de ondas Superficiales (MASW)

El arreglo lineal MASW es un método indirecto que 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 sensores sísmicos, tal como muestra en la Figura 2.

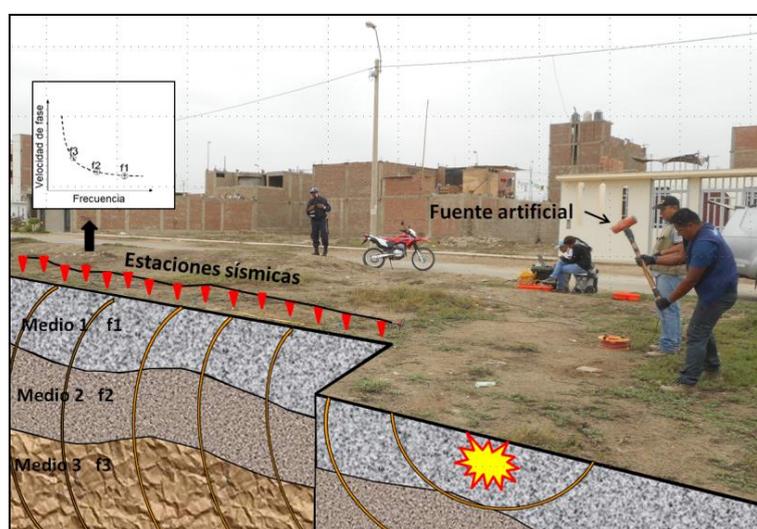


Figura 2: Generación de ondas Rayleigh con fuente artificial y su respectiva curva de dispersión.

El procesamiento de los datos de MASW fue realizado con el programa de computación SeisImager y consiste en aplicar la rápida transformada de Fourier (FFT) a los registros sísmicos obtenidos para cada punto de disparo (Reynolds, 2011), lo cual permite la transformación de los datos en series de tiempo, dando 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 perfil MASW son sometidas de forma individual a un proceso matemático de inversión con el fin de obtener los perfiles V_s en una dimensión (1D) (Park, 2014; Roma, 2010; Socco et al., 2008).

En la Figura 3, se muestra un ejemplo de los resultados que se obtiene del ensayo, ubicado en la Asoc. San Leonardo. 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 representa la inversión de la curva de dispersión del dominio de frecuencia a profundidad. Esta curva permite verificar el nivel de confiabilidad o la profundidad mínima y máxima de investigación (área sombreada), en este caso; el perfil presenta una capa sísmica y un semiespacio, donde, el nivel de confiabilidad es de 2 a 30 metros de profundidad.

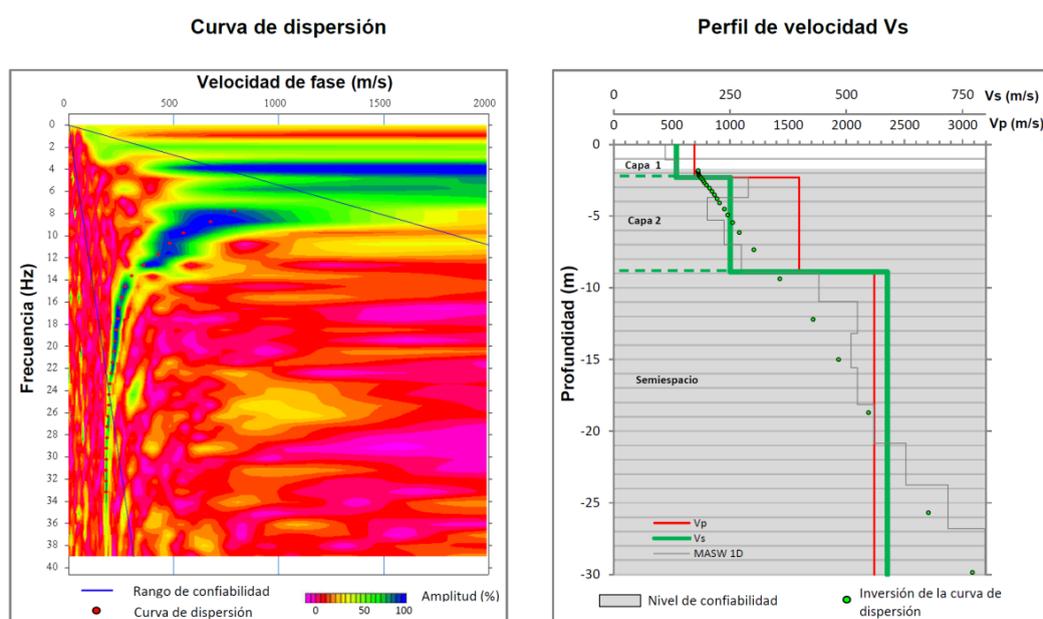


Figura 3: a) Curva de dispersión y b) perfil de velocidad obtenido a partir del ensayo realizado en la Asoc. San Leonardo.

Para el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en este ítem se considera la clasificación de suelos según la Norma E.030, que considera la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte para los 30 metros superiores (V_{s30}), considerando diferentes rangos de V_{s30} . En este caso, las velocidades de los perfiles de suelo S1 y S2 se subdividen según la Tabla 1, para un mayor detalle de la distribución de este parámetro. Asimismo, cada perfil de velocidad es representado en colores, para mejor comprensión de los resultados obtenidos (Tabla 1).

Tabla 1: Clasificación de perfiles de suelo, a partir de la norma E.030.

Clasificación de los perfiles de Suelo				
N°	Vs	Norma E030	Descripción	
1	< 180 m/s	Suelo blando		
2	180 m/s a 350 m/s	Suelo medianamente rígido	Suelo medianamente rígido	
3	350 m/s a 500 m/s		Suelo rígido	
4	500 m/s a 800 m/s	Roca o suelo muy rígido	Suelo muy rígido	
5	800 m/s a 1500 m/s		Roca fracturada	
6	> 1500 m/s	Roca dura	Roca dura	

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

1.3. Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT)

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

La tomografía eléctrica es un método convencional que se basan en introducir en el terreno, un campo eléctrico de corriente continua mediante dos electrodos de corriente (A y B) conectados a un miliamperímetro, mientras que con los otros dos electrodos (M y N), que están conectados a un milivoltímetro donde se medirá cual es la diferencia de potencial eléctrica ΔV entre esos dos puntos (Figura 4). Para este estudio se realizó el dispositivo polo-dipolo.

La profundidad de investigación depende de la separación entre electrodos, por ejemplo, con una separación de electrodos de 1 metro, se tendría una profundidad máxima de 9 metros en el centro del perfil. Si se aumenta la distancia entre los electrodos aumenta la profundidad de alcance, pero disminuye la resolución y en consecuencia aumenta el error.

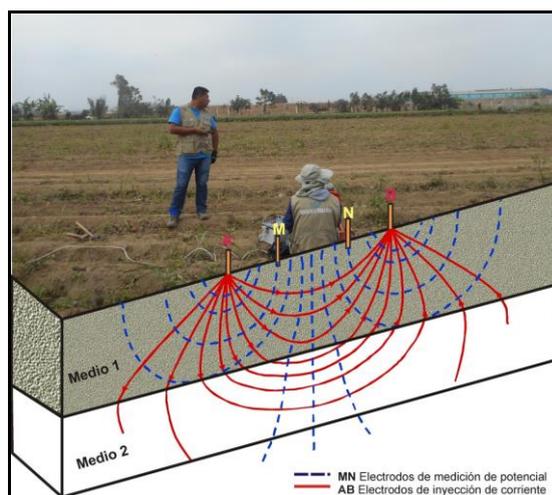


Figura 4: Principio del método de resistividad (LE01-IM).

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

Finalmente, los resultados son presentados mediante Sección 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.

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 resumido el rango de resistividades en la siguiente Tabla 2.

Tabla 2: Rango de Resistividades

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

Dado la estrecha relación que existe 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 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.

2. RECOLECCIÓN DE DATOS

En este estudio se ha realizado la aplicación de métodos sísmicos y geofísicos como la técnica de razones espectrales (H/V) que utiliza registros de vibración ambiental arreglos sísmicos lineales (MASW) para obtener registros sísmicos y los métodos eléctricos (ERT), para conocer los valores de resistividad del suelo. A continuación, se describe brevemente la toma de datos para cada uno de estos técnicos.

2.1. Registro de Vibración Ambiental (

Para la obtención de los registros de vibración ambiental se utiliza un equipo sísmico compuesto por un registrador tipo CityShark y sensores de tres componentes de registro tipo Lennartz (Figura 5).



Figura 5: Equipo sísmico utilizado para el registro de vibraciones ambientales en Imperial: sensor Lennartz (2N) y registradores CityShark II.

En el área urbana de la ciudad de Imperial, se consideró registros de vibración ambiental obtenidos de manera puntual en 110 puntos, distribuidos según la Figura 6.

La distribución de los puntos se definió sobre el mapa catastral de la ciudad Imperial, teniendo en cuenta la información geológica y geomorfológica de la zona de estudio. En cada punto, se registran datos por un periodo de 15 minutos, lo cual permite disponer de buena cantidad de información para su posterior análisis.

En la Figura 7, 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 IM-38, 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.

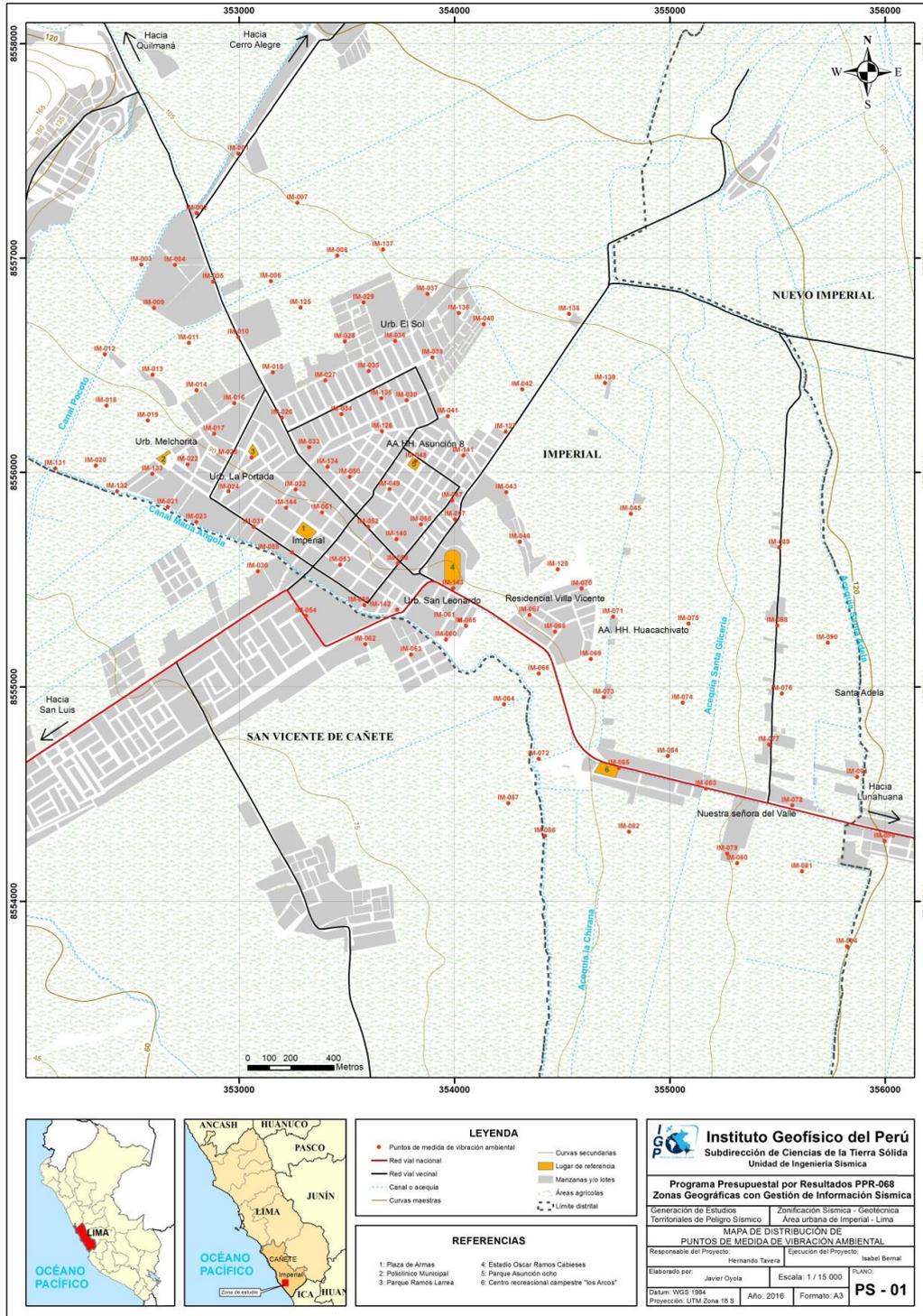


Figura 6: Mapa catastral de la ciudad de Imperial y la distribución de puntos donde se tomaron los registros de vibración ambiental.

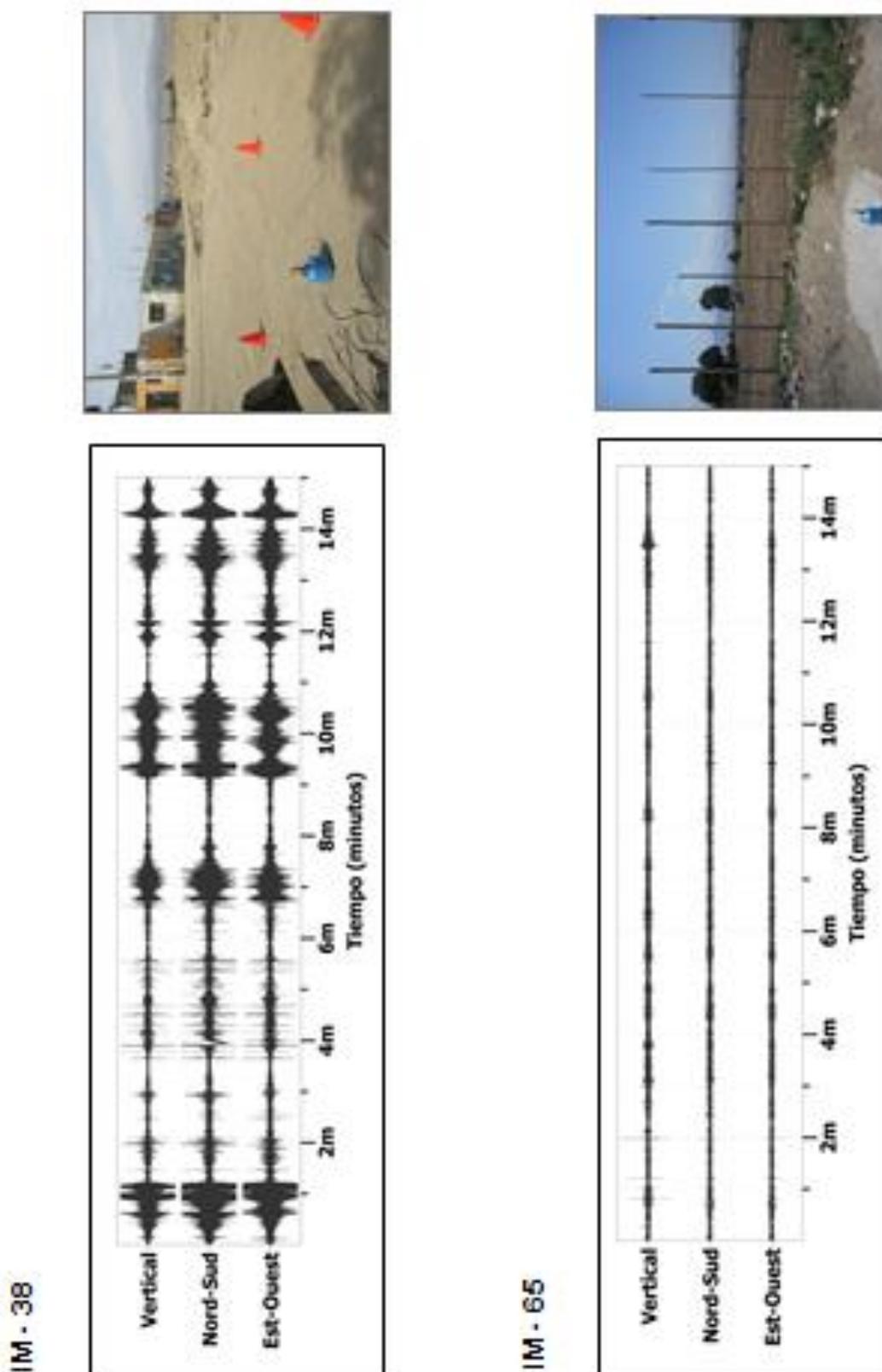


Figura 7: Ejemplos de la disposición del equipo sísmico para el registro de vibraciones ambientales. Ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos sobre una zona con ruido transitorio (IM-38) y otro con ruido de fondo constante (IM-65). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.

2.2. Registro de Arreglos Lineales (MASW)

El área urbana de la ciudad de Imperial se realizaron 6 arreglos lineales MASW cuyas coordenadas (UTM -WGS84) se muestran en la Tabla 3 y su distribución espacial en la Figura 8: LS01-IM..., LS06-IM.

Tabla 3: Coordenadas y características de los arreglos lineales MASW realizados en Imperial.

Línea Sísmica	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)	Espaciamiento entre geófonos (m)	Longitud total (m)
LS01-IM	353941.9	8556263.8	113.8	4	92
	353861.8	8556220.2	112.1		
LS02-IM	353123.1	8556091.1	109.0	3	69
	353179.3	8556131.1	110.2		
LS03-IM	353536.4	8556060.8	107.6	4	92
	353473.2	8555998.3	109.7		
LS04-IM	353879.0	8555852.9	107.6	4	92
	353936.6	8555780.8	109.0		
LS05-IM	354002.9	8555262.6	103.9	4	92
	353962.0	8555182.0	103.9		
LS06-IM	354709.9	8555150.8	103.2	4	92
	354716.4	8555241.9	103.7		

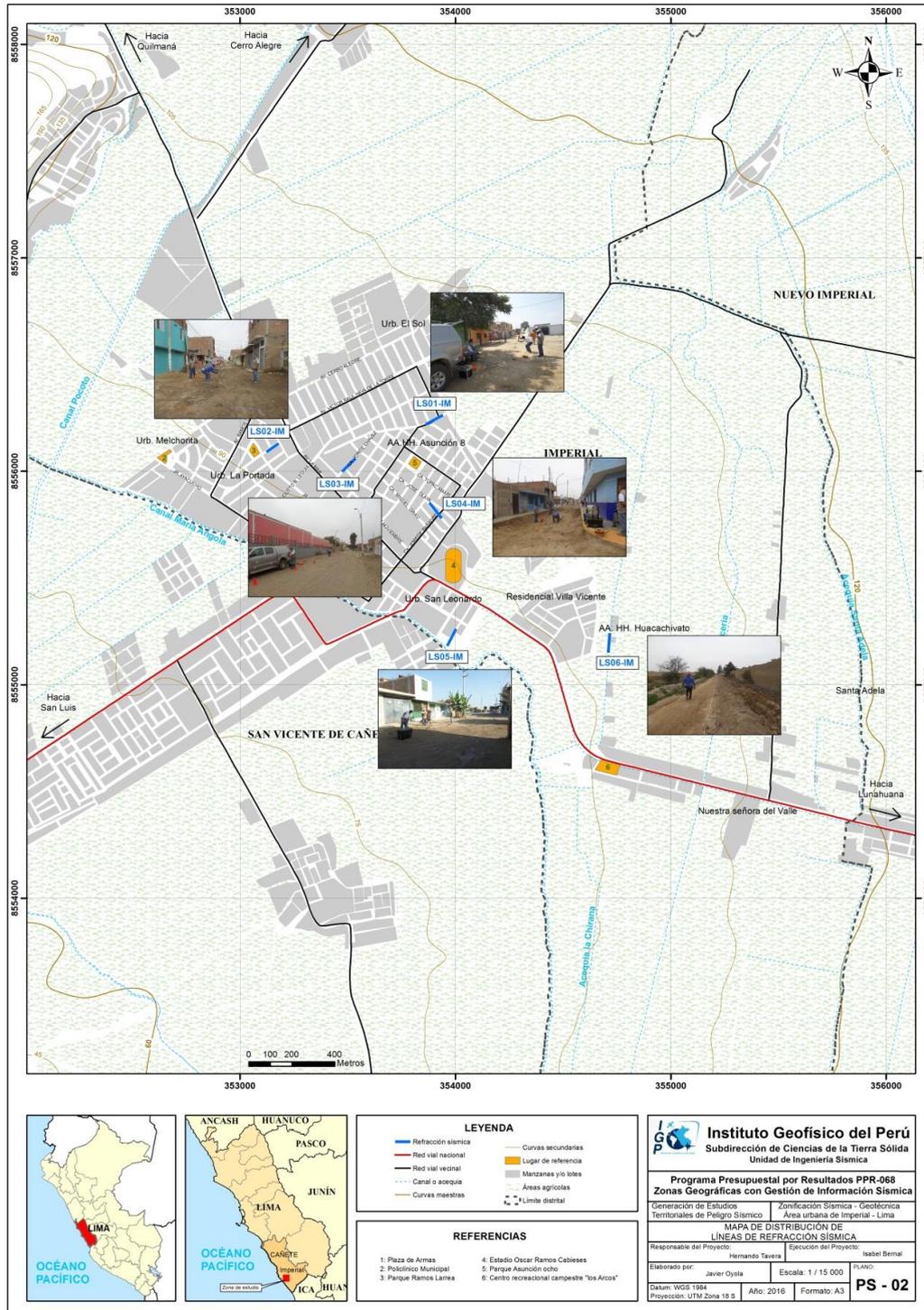


Figura 8: Mapa del área de estudio con la distribución espacial de las líneas sísmicas codificadas como: LS01-IM, ..., LS06-IM.

Para el registro de información se ha utilizado un equipo sísmico (sismómetro) de uso multipropósito, modelo GEODE de Geometrics, 24 sensores o geófonos de baja frecuencia (4.5 Hz). Como fuente de impacto y/o energía para generar las ondas sísmicas, se utilizó un martillo de 20 lbs (Figura 9). 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.

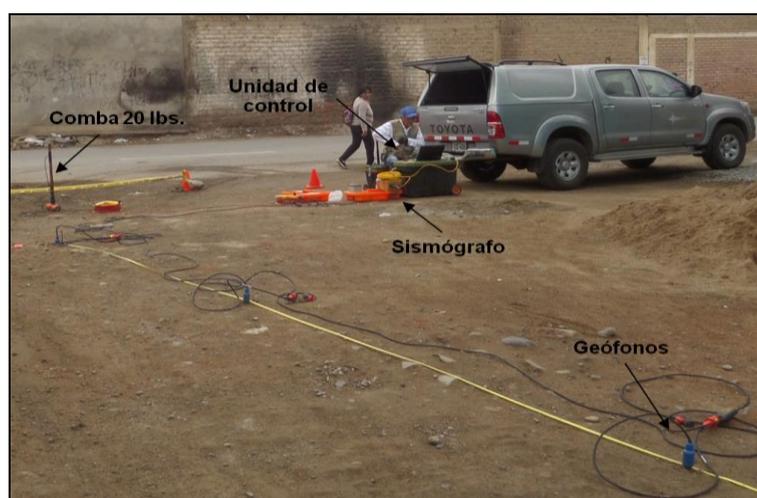


Figura 9: Equipo sísmico para la toma de datos de MASW en la ciudad de Imperial.

La profundidad máxima de investigación depende de la geometría del tendido, espaciamiento entre geófonos y la fuente activa, pudiendo variar entre los 10-30 m, según las características litológicas de los suelos y el espacio para realizar los arreglos considerando que se trabaja en zonas urbanas.

A fin de evaluar la calidad de los datos y el nivel de ruido, tal como se observa en la Figura 10, se verifica la relación señal/ruido mediante un apilamiento de señales (en cada punto de disparo se registran varios golpes y es acumulado al anterior), obtenidos de cuatro a cinco golpes en cada punto "shot" y un procesamiento preliminar de los datos.

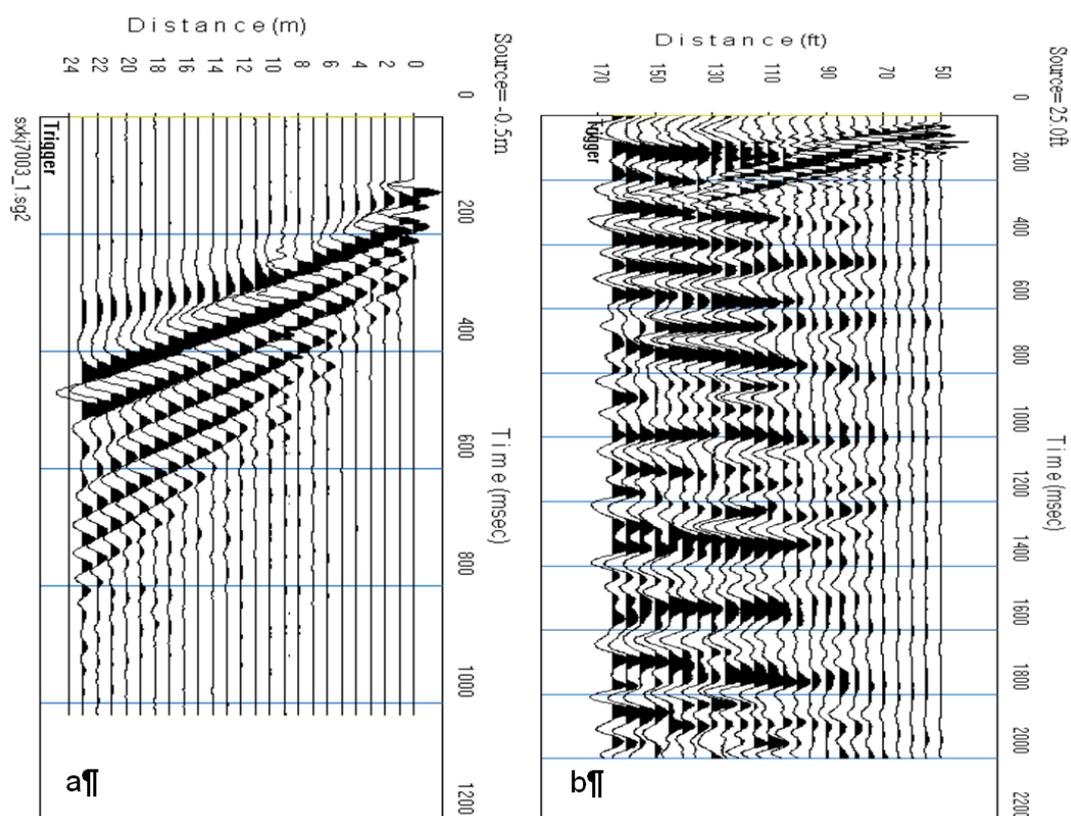


Figura 10: a) Registro sísmico con bajo contenido de ruido ambiental, es decir, alta calidad. b) Registro sísmico con alto contenido de ruido ambiental.

2.3. Registro de Resistividad del Suelo (ERT)

En la Figura 11, se muestra como ejemplo la disposición del equipo y el registro sísmico obtenido para la línea sísmica LS06-IM, realizada en el sector de Huacachivato. El sismograma contiene las señales sísmicas con bajo contenido de 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.

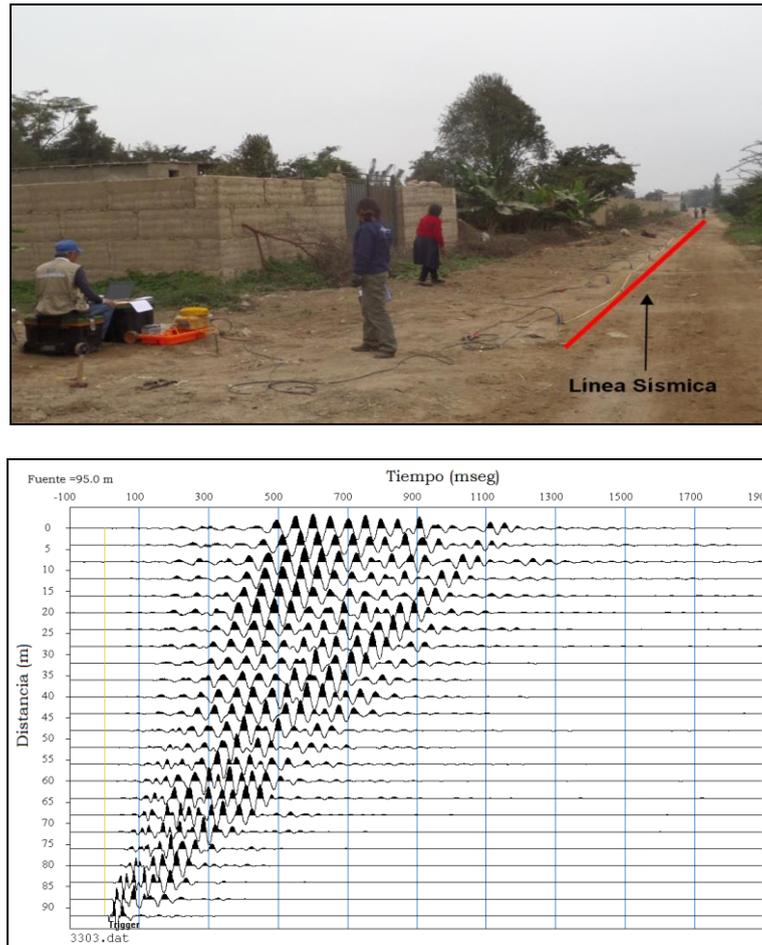


Figura 11: Disposición del equipo de adquisición por el método de MASW y el registro sísmico obtenido.

En la zona urbana y de expansión de la ciudad de Imperial se han realizado 9 líneas de tomografía eléctrica (Figura 12) con el dispositivo polo-dipolo y la distribución de 30 electrodos. Para las líneas se consideró un espaciamiento de 10 metros y 4 metros entre cada electrodo sobre un tendido longitudinal que variaba de 290 y 112 metros lo cual permitió tener alcances en profundidad del orden de los 39 metros.

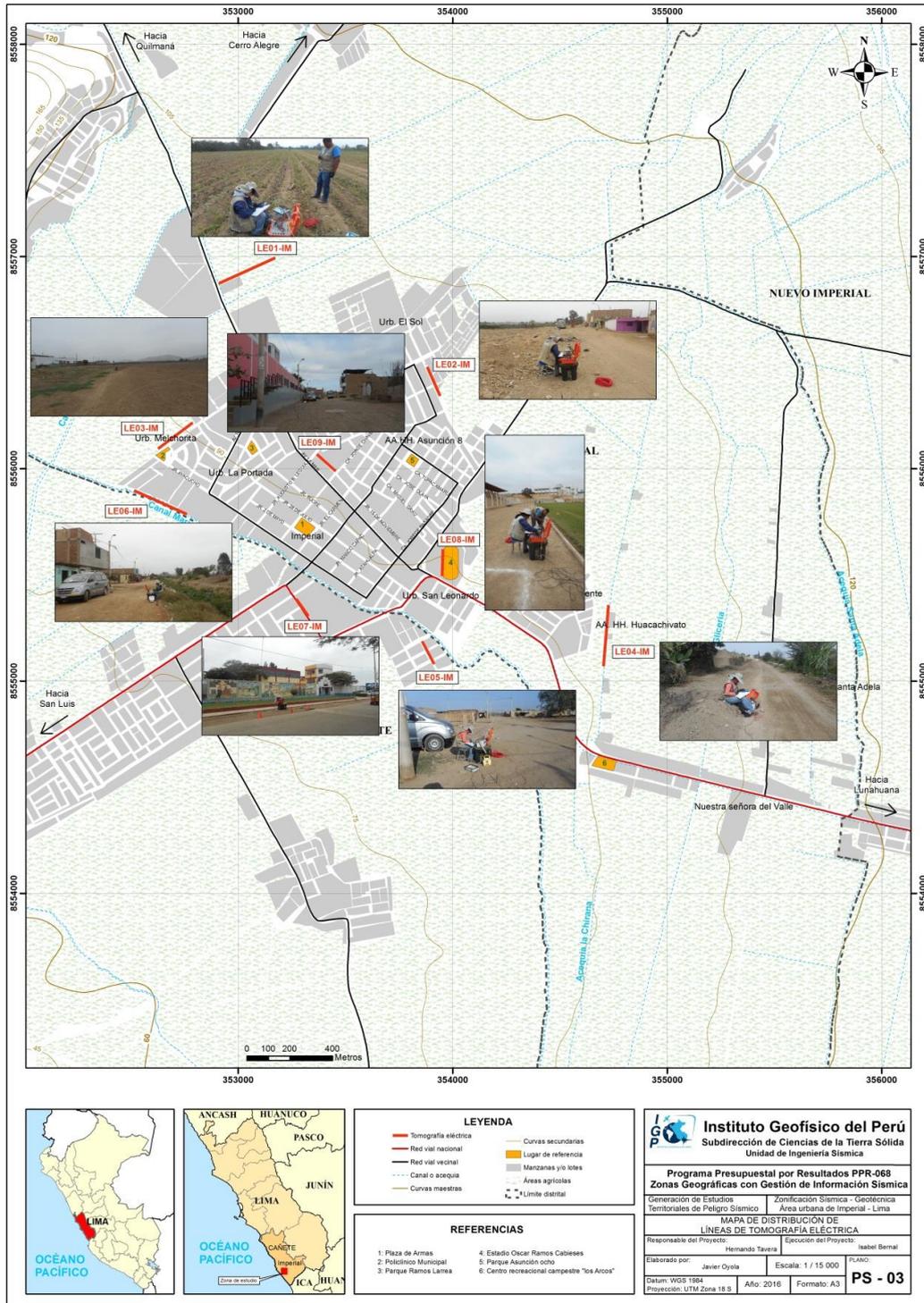


Figura 12: Mapa catastral del área urbana de la ciudad de Imperial y la distribución espacial de las líneas de tomografía eléctrica codificadas como: LE01-IM, ..., LE09-IM

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 de estudio.

Línea Eléctrica	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)	Espaciamiento entre electrodos (m)	Longitud total (m)
LE01-IM	353173	8556994	114	10	290
	352909	8556873	111		
LE02-IM	353881	8556481	113	5	145
	353941	8556343	111		
LE03-IM	352788	8556218	101	10	210
	352626	8556095	98		
LE04-IM	354726	8555358	106	10	290
	354703	8555070	104		
LE05-IM	353857	8555188	99	4	112
	353913	8555080	98		
LE06-IM	352515	8555897	99	10	240
	352761	8555786	99		
LE07-IM	353270	8555387	97	5	145
	353328	8555306	96		
LE08-IM	353954	8555621	106	5	120
	353950	8555495	107		
LE09-IM	353367	8556069	103	5	115
	353454	8555989	106		

La calidad de la señal eléctrica obtenida se evalúa mediante un test de resistencia de contacto entre los electros y el terreno, garantizando la obtención de 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. Para el análisis de los datos 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 13, se tiene la disposición de equipo eléctrico en campo y un ejemplo del análisis preliminar del registro obtenido.

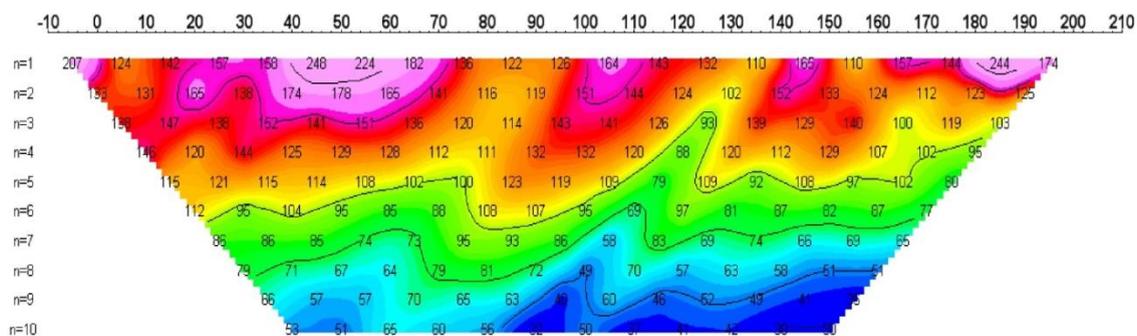


Figura 13: Disposición del equipo de adquisición por la técnica de ERT (LE03-IM) y el registro eléctrico obtenido en campo.

3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

En este estudio se ha realizado la aplicación de los siguientes métodos sísmicos y geofísicos: razones espectrales (H/V), arreglos sísmicos lineales (MASW) y métodos eléctricos (ERT). Todos tienen como principal objetivo conocer las propiedades físicas y dinámicas del subsuelo (periodos dominantes, velocidades sísmicas, resistividades del subsuelo, etc.). A continuación, se describe el desarrollo de estos métodos y los principales resultados obtenidos en cada caso para el área urbana de la ciudad de Imperial.

3.1. Estudio Sísmico con la Técnica de H/V

Esta información permite obtener espectros de Fourier para las tres componentes de registro de vibración ambiental obtenidos de manera puntual en 110 puntos (Figura 6) y a partir de la razón de estos (componentes horizontales / componente vertical), conocer las frecuencias predominantes y/o periodos dominantes de vibración natural del suelo y en algunos casos, la amplificación sísmica relativa para cada punto.

- Distribución de frecuencias predominantes: 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 la ciudad Imperial, los resultados obtenidos de las razones espectrales H/V, permitió definir dos rangos de frecuencias F0 ($F \leq 2.0$ Hz) y F1 ($F > 2.0$ Hz), en razón que en varios puntos de medición, sobresalen dos picos de frecuencias con amplificaciones similares, lo cual sugiere que la respuesta dinámica de estos suelos es compleja. A continuación, se describe y analiza la distribución espacial de las frecuencias predominantes identificadas en el área urbana de la ciudad de Imperial

- Frecuencia predominante F_0 : *En la Figura 14 se muestra el mapa con la distribución espacial de los valores de F_0 , donde predominan valores entre 1.0 y 1.8 Hz. Hacia los extremos Norte y NE del área de estudio, estos valores se distribuyen de manera uniforme y conforme se tiende hacia su extremo SO y zona céntrica, F_0 presenta mínimas amplificaciones; aunque en varios puntos no son identificados (área delimitada por líneas discontinuas).*

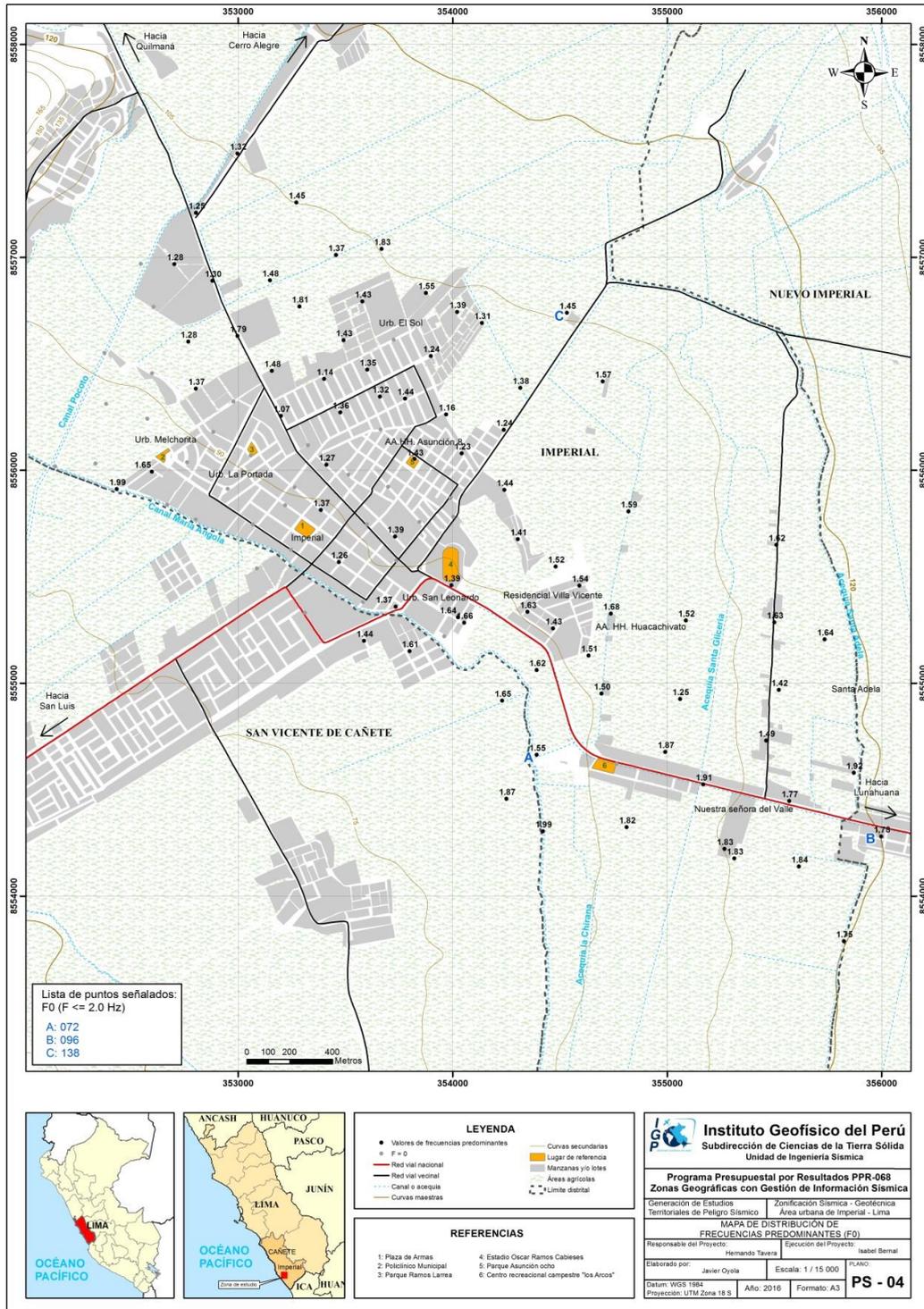
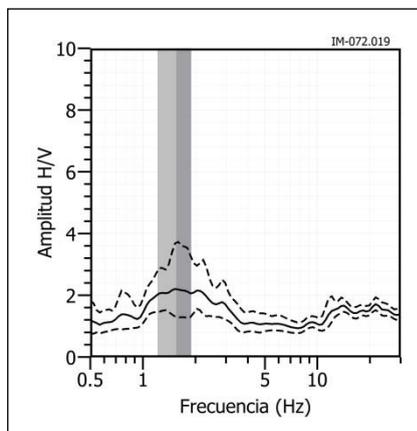


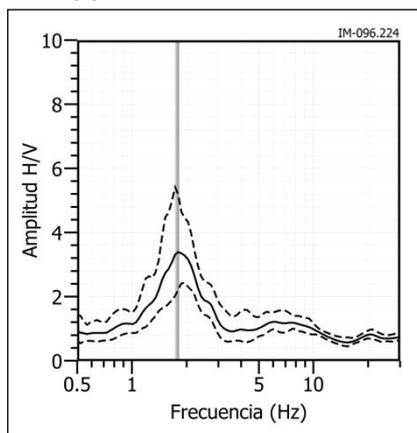
Figura 14. Mapa del área de estudio con la distribución espacial de las frecuencias predominantes F_0 ($F \leq 2.0 \text{ Hz}$) definidas en cada punto. Las letras indican la ubicación de los gráficos que se están considerando en la Figura 15, como característicos de este rango.

En la Figura 15, se muestra ejemplos de razones espectrales para los puntos IM-72 (A), IM-96 (B) y IM-138 (C), ubicados en el extremo Este del área de estudio, el primero próximo al canal María Angola, al Este de la Urb. Nuestra señora del Valle y al Norte del AA.HH. Asunción respectivamente. Los suelos bajo estos puntos responden a frecuencias de entre 1.5 y 1.8 Hz con amplificaciones de hasta 4 veces. Son pocos los puntos donde se identifique un solo pico que corresponda a F_0 , en la mayoría de puntos sobresale un segundo pico con tendencia a mayores valores de frecuencia.

IM - 72



IM - 96



IM- 138

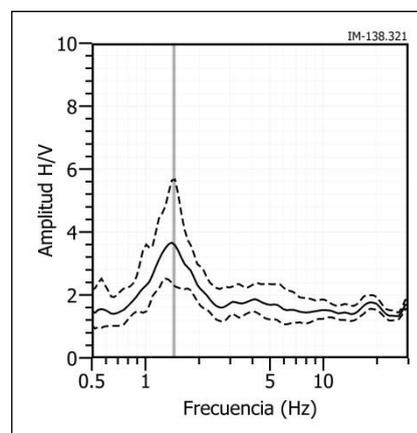


Figura 15: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F \leq 2.0\text{Hz}$): puntos IM-72 (A), IM-96 (B) y IM-138 (C), ubicados en el extremo Este del área de estudio, el primero próximo al canal María Angola, al Este de la Urb. Nuestra señora del Valle y al Norte del AA.HH. Asunción respectivamente. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

.- Frecuencias predominantes F1: En la Figura 16, se muestra la distribución espacial de las frecuencias predominantes $F1$ ($F > 2.0\text{Hz}$) y en la Figura 17, ejemplos de los gráficos de razones espectrales que caracterizan los suelos, donde predominan frecuencias de entre 5.0 y 9.0 Hz en la zona céntrica y extremo NO y de entre 10 y 15 Hz hacia los extremos NE y SE del área de estudio.

En las razones (H/V) obtenidas para los puntos IM-15(C), IM-48(D) y IM-51(E), ver Figura 17, realizados en la zona céntrica de la ciudad de Imperial, al norte de la urb. La Portada, en el AA.HH. Asunción 8 y próximo a su plaza de armas respectivamente, sobresalen frecuencias predominantes de entre 10 y 14 Hz con amplificaciones de hasta 4 veces hacia su extremo NO y de 2 veces en el punto próximo a la plaza. Adicionalmente, con menor amplitud, resalta un pico entre 1.4 y 1.6 Hz. Hacia el extremo Norte de la zona céntrica, se considera los puntos IM-08(A), IM-09(B) y IM-132(N), ubicados próximos al Canal Pocoto, donde sobresalen un pico bien definido a frecuencias de 12, 11 y 6 Hz con amplificaciones máximas relativas de hasta 5, 4 y 6 veces respectivamente. Y hacia el extremo Sur de la zona céntrica, se considera los puntos IM-73(I), IM-128(M) y IM-143(O), ubicados en la periferia de la Urb. Villa Vicente, donde predomina un pico de frecuencia a 7.7, 5.6 y 6.5 Hz con amplificaciones de hasta 3.5 veces, evidenciando la presencia de suelos más consolidados respecto a lo observado en su extremo Norte.

Un caso especial, se presenta entre la Urb. Villa Vicente y el canal Maria Angola, donde según las razones obtenidas para los puntos IM-63(F), IM-64(G) y IM-68(H), los suelos responden en dos rangos de frecuencia, el primero entre 1.5-1.8Hz y el segundo entre 6.0-9.0Hz con amplificaciones de hasta 6 veces ambos picos. Las altas amplificaciones, evidencian un comportamiento de un suelo flexible, sobre un área pequeña, motivo por el cual es considerada como caso especial.

Hacia el extremo SE del área de estudio, se considera las razones obtenidas para los puntos IM-78(J), IM-80(K) y IM-88(L), donde los suelos responden a 7.5, 11 y 15 Hz con bajas amplificaciones. Adicional a este pico, los suelos son sensibles a frecuencias que fluctúan entre 1.5 y 1.8 Hz.

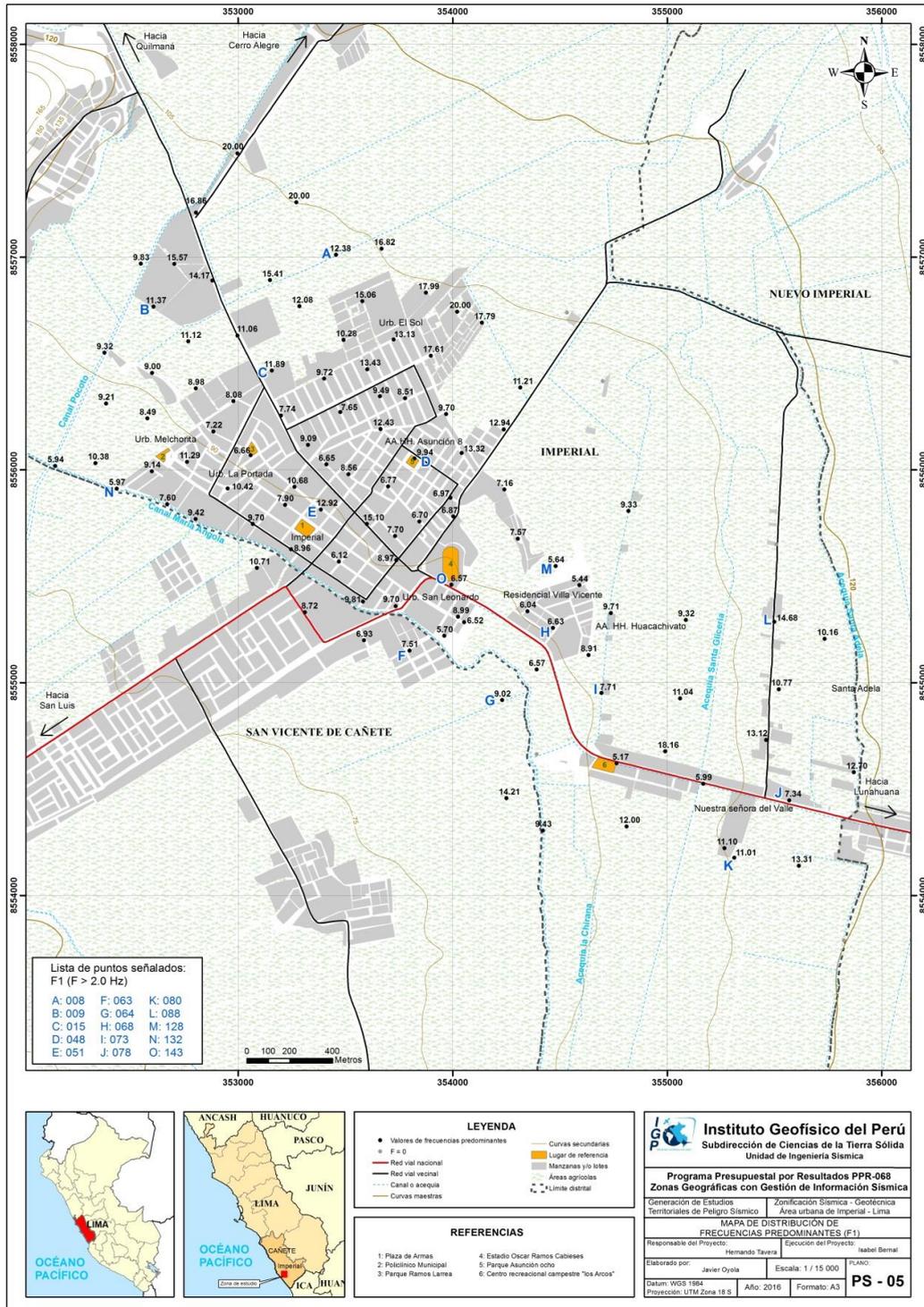
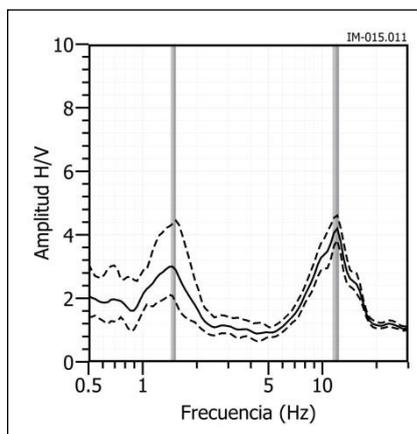
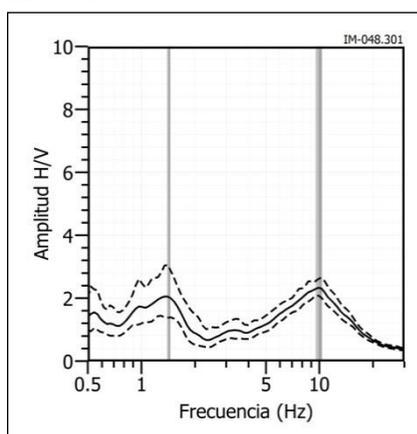


Figura 16: Mapa del área de estudio y la distribución espacial de las frecuencias predominantes F1 (F>2.0Hz). Las letras indican la ubicación de los gráficos que se están considerando en la Figura 17 como característicos de este rango.

IM-15



IM - 48



IM - 51

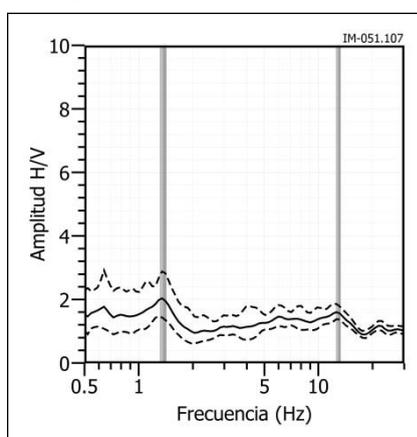
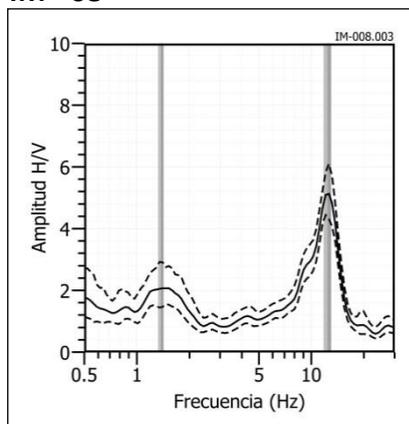
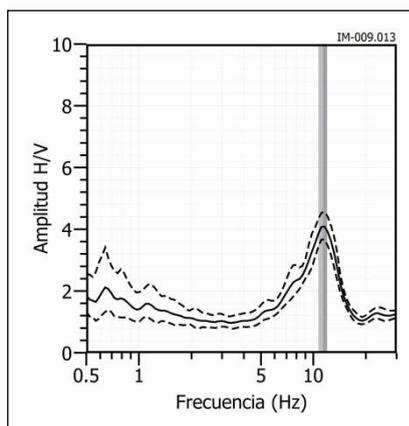


Figura 17: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$). Puntos IM-15(C), IM-48(D) y IM-51(E), ubicados en la zona céntrica de la ciudad de Imperial, al norte de la urb. La Portada, en el AA.HH Asunción 8 y próximo a su plaza de armas respectivamente. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

IM - 08



IM - 09



IM- 132

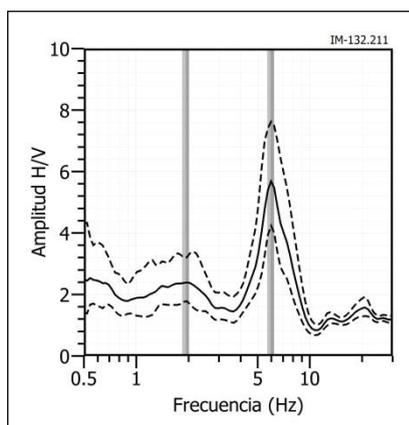
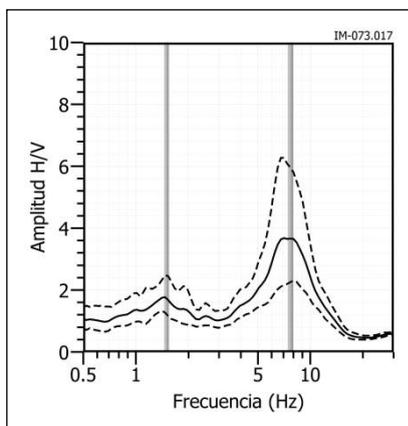
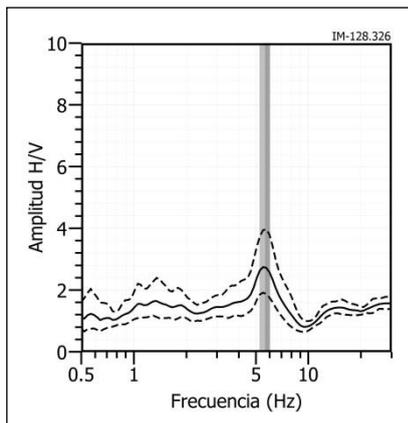


Figura 17: ... Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$). Puntos IM-08(A), IM-09(B) y IM-132(N), ubicados en el extremo Norte de la zona céntrica de la ciudad de Imperial, próximo al Canal Pocoto. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

IM - 73



IM- 128



IM- 143

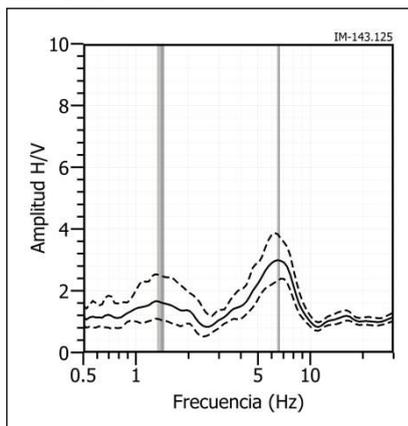
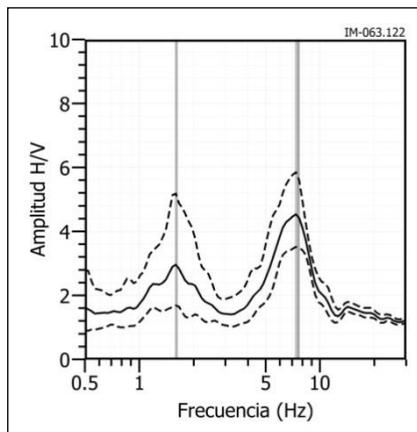
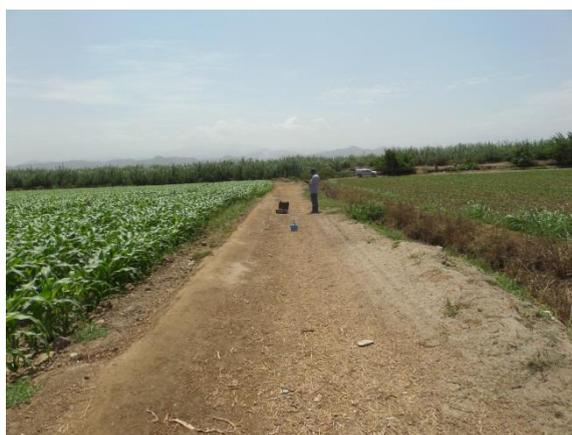
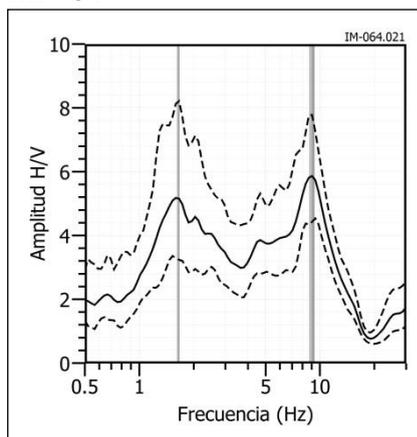


Figura 17:... Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0$ Hz). Puntos IM-73(I), IM-128(M) y IM-143(O), ubicados en el extremo Sur de la zona céntrica de la ciudad de Imperial en la periferie de la Urb. Villa Vicente. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

IM - 63



IM - 64



IM - 68

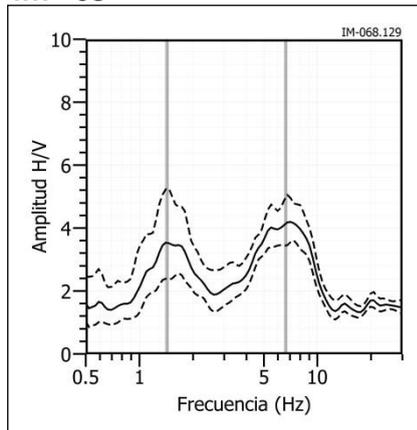
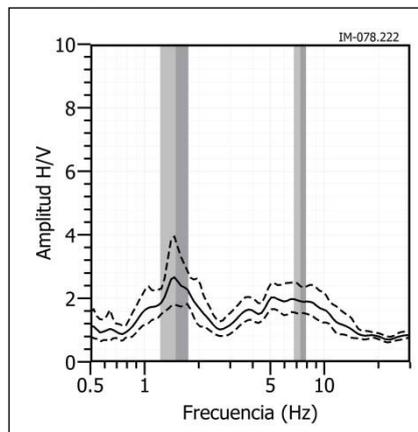
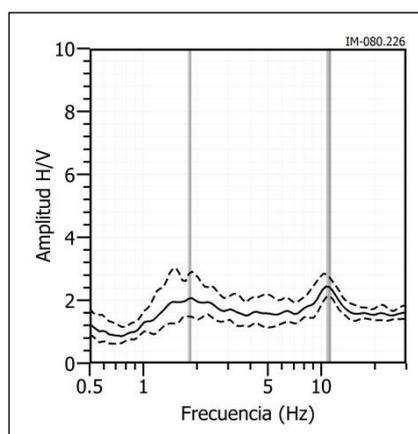


Figura 17: ... Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$). Puntos IM-63(F), IM-64(G) y IM-68(H), ubicados en el extremo SE del área de estudio, entre la Urb. Villa Vicente y el canal Mario Angola. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

IM - 78



IM - 80



IM - 88

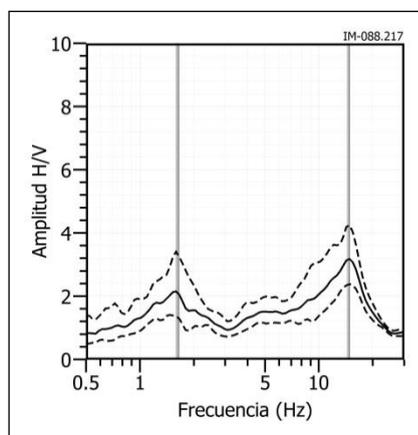


Figura 17: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0$ Hz). Puntos IM-78(J), IM-80(K) y IM-88(L), ubicados en el extremo SE del área de estudio. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

Interpretación

El análisis de razones espectrales H/V, evidencia que los suelos de la ciudad Imperial responden en dos rangos de frecuencias F0 (1.0-2.0 Hz) y F1 (>2.0 Hz, entre 5.0-15.0 Hz), excepto en el extremo NE que sobresale solo F1. En la zona céntrica del área urbana se presentan las mínimas amplificaciones, sugiriendo la presencia de suelos más consistentes a diferencia de lo obtenido en la Urb. Villa Vicente, que presentan las máximas amplificaciones en ambos rangos de frecuencia (de hasta 6 veces), resultados que sugieren la presencia de suelos complejos y blandos. Asimismo, se presentan moderadas amplificaciones, en puntos ubicados próximos al canal de Pocoto y canal Maria Angola.

3.2. Estudio Sísmico con la Técnica de MASW

Los modelos de velocidad de propagación (V_s) proporcionaron información muy útil para el reconocimiento de la estructura y naturaleza del subsuelo. En este estudio, el análisis y procesamiento de datos permitió llegar desde profundidades confiables mínimas de 2.0 metros hasta profundidades mayores de los 30 metros en cada línea sísmica. A continuación, se describe los resultados obtenidos (de acuerdo a la Tabla 1) para líneas sísmicas realizados en el área urbana de la ciudad de Imperial:

Líneas sísmicas LS01-IM a LS04-IM: Líneas sísmicas realizadas al norte (LS01 y LS04) y al noroeste (LS02 y LS03) del área urbana de la ciudad de Imperial (Figura 8), sobre la mayor parte de la zona urbana e indicando la presencia de suelos conformados por dos capas, la primera de 4 a 5 metros de espesor y velocidades V_s de 189 a 229 m/s y la segunda, con espesores de 5 a 8 metros y velocidades V_s del orden de 274 a 348 m/s, ambos corresponden a suelos moderadamente duros. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades $V_s > 513$ m/s en todas las líneas sísmicas y sugiere la presencia de suelo muy duros a excepción de la línea LS02 con una velocidad $V_s > 476$ m/s, que corresponde a suelos duros.

Líneas sísmicas LS05-IM y LS06-IM: Ambas líneas realizadas al sur del área urbana de la ciudad de Imperial, en la Urb. San Leonardo (LS05) y en el AA.HH. Huacachivato (LS06), (Figura 8). Indican la presencia de suelos conformados por dos capas, la primera de 2 a 4 metros de espesor y velocidades V_s de 135 a 159 m/s, lo cual sugieren la presencia de suelos blandos. La segunda, en el caso de la línea LS05 con un espesor de 7 metros y velocidades V_s de 250 m/s que sugiere la existencia de suelos moderadamente duros, a diferencia de la línea LS06, con espesor de 9 metros y velocidades V_s de 497 m/s que considera la existencia de suelos duros. La superficie de contacto con el semiespacio, en el caso de la línea LS05 presenta velocidades V_s mayores de 588 m/s que sugieren la presencia de suelos muy duros o rocas blandas, a diferencia de la línea LS06 con una velocidad alta $V_s > 922$ m/s que considera roca moderadamente dura.

En la Tabla 5, se resume los valores de velocidad de ondas de corte V_s para los distintos tipos de perfiles de suelo (ver Tabla 1) y en la Figura 18, se muestra los resultados del arreglo sísmico LS01, siendo las líneas LS02 a LS06 mostrados en los Anexos.

Tabla 5: Valores de espesor y V_s de los perfiles sísmicos obtenidos para el área urbana de la ciudad ciudad de Imperial mediante el arreglo lineal MASW.

		Superficie \longrightarrow Profundidad						
Línea Sísmica	N° DE CAPA						VS30 (m/s)	
	1		2		Semiespacio			
	V_s (m/s)	Esp. (m)	V_s (m/s)	Esp. (m)	V_s (m/s)	Esp. (m)		
LS01-IM	208	4	348	7	534	-	397	
LS02-IM	189	4	274	5	476	-	359	
LS03-IM	194	5	327	8	518	-	352	
LS04-IM	229	4	316	7	513	-	394	
LS05-IM	135	2	250	7	588	-	367	
LS06-IM	159	4	497	9	922	-	495	

	Suelo blando ($V_s < 180$ m/s)
	Suelo medianamente 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)

En general, los resultados obtenidos definen la presencia de 2 capas sísmicas y un semiespacio (Tabla 5). El análisis de los resultados según cada capa sísmica encontrado y su correlación geológica son:

La capa observada en superficie, distingue la presencia de dos tipos de suelo: los suelos blandos (V_s 135 a 159 m/s) y con presencia de humedad (Figura 19 a), se encuentran ubicados al sur (Urb. San Leonardo) y se extienden hacia el sureste de la ciudad de Imperial (AA.HH. Huacachivato). Suelos moderadamente duros (V_s 189 a 229 m/s) ubicados en la zona central, al norte y al noroeste de la ciudad de Imperial (Figura 19b), con espesores de 2 a 5 metros, siendo los de menor espesor los ubicados al sur, ambos suelos corresponden a materiales aluviales.

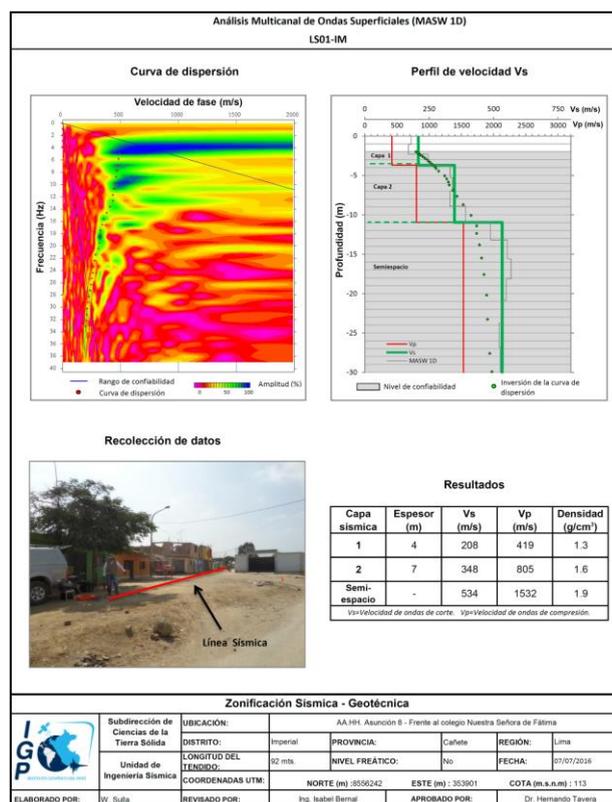


Figura 18: Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo LS01-IM.

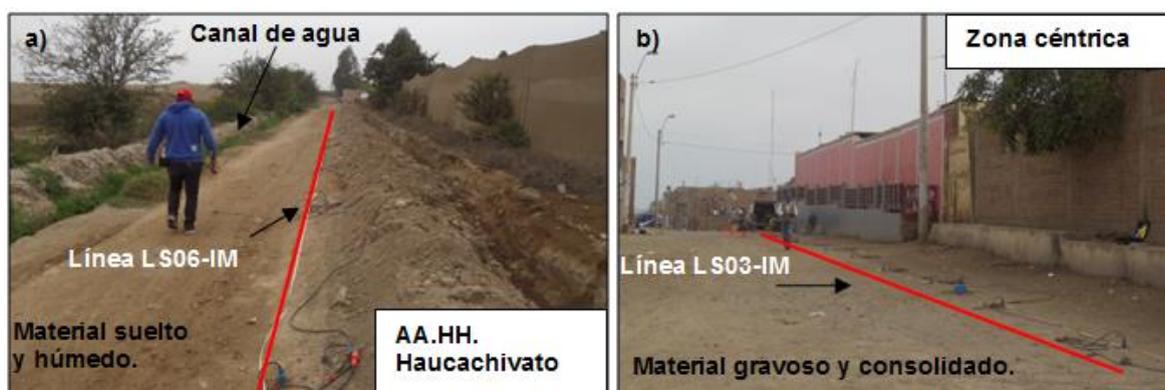


Figura 19: Distintos tipos de suelos observados en superficie: a) suelo blando (LS06-IM) y b) suelo moderadamente duro (LS03-IM).

La capa superficial suprayace a suelos moderadamente duros a muy duros en profundidad (V_s 250 a 588 m/s), los cuales se expanden sobre toda el área urbana, a excepción de la zona sureste (AA.HH. Huacachivato) con suelos duros a roca moderadamente dura (V_s 497 a 922 m/s). De acuerdo a la geología, los suelos duros corresponden parte del aluvial, los muy duros posiblemente a los depósitos de la formación Pisco y la roca moderadamente dura a los depósitos de la formación Atocongo. Este último, ubicado en la zona sureste se encuentra posiblemente cubierto de aluviales de poco espesor; es decir, los suelos de menor espesor se encuentran en la zona sureste y aumenta conforme se dirige al noroeste.

3.3. Periodos Dominantes

Para presentar los resultados finales obtenidos con la técnica razones espectrales, los valores de frecuencias fueron transformados a periodos dominantes y para construir el mapa de periodos, se asignó a cada punto de medición un radio de confiabilidad de 10 metros, lo cual facilita los procedimientos seguidos para la zonificación de los suelos. En la Figura 20 se muestra la distribución espacial de los valores de periodos dominantes en el área urbana de la ciudad de Imperial, los cuales han sido separados en dos grupos, en color negro para periodos menores a 0.2 segundos y en gris los periodos mayores.

Los periodos de 0.1 y 0.2 segundos, se distribuyen de manera casi uniforme sobre toda el área de estudio. Asimismo, el 80% de la zona de estudio también presenta sensibilidad a periodos de 0.5 y 0.7 segundos, excepto en áreas próximos al canal Pocoto y Canal María Angola, donde este segundo rango no está presente. Entre la Urb. Villa Vicente y el canal María Angola, sobresalen los periodos de 0.1-0.2 y 0.5-0.7, con amplificaciones de hasta 5 veces para ambos rangos; motivo por el cual se debe considerar como suelo blando y complejos.

Los periodos dominantes que caracterizan los suelos de la ciudad de Imperial están relacionados con 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 350 m/s y 500 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.1 y 0.2 segundos, se estima la existencia de una capa superficial con espesores de entre 8 a 15 metros. Del mismo modo, al considerar periodos de 0.5 y 0.7 segundos, los espesores de las capas del suelo varían entre 40 a 60 metros. Estos valores son confirmados con los modelos de velocidad y espesores de capas obtenidos con los arreglos sísmicos.

En el área urbana de la ciudad de Imperial, la distribución espacial de periodos mayores a 0.4 segundos sugiere la presencia en el subsuelo de una capa profunda de gran potencia y los periodos menores, una capa superficial de menor potencia, donde la primera influye moderadamente sobre la segunda.

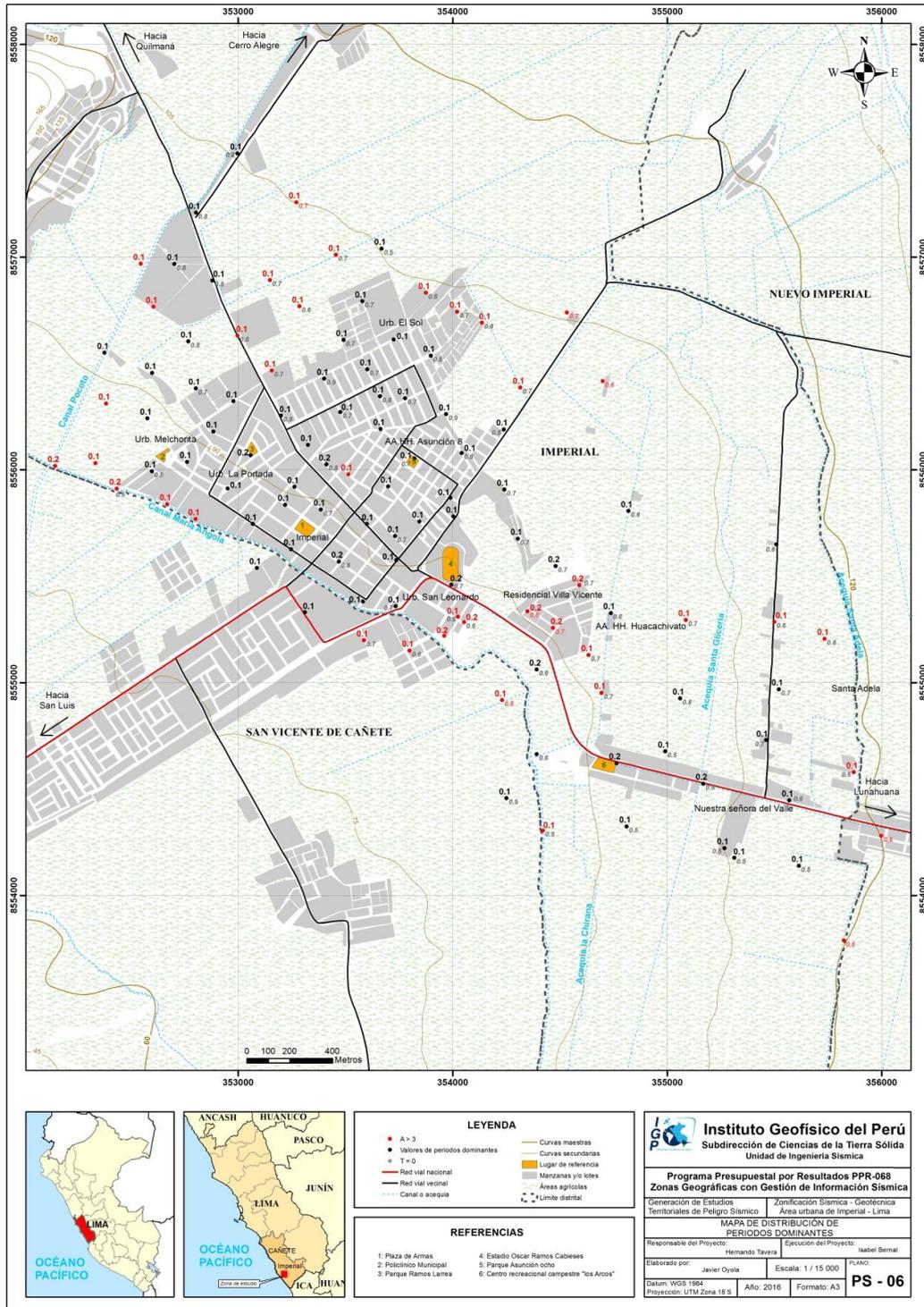


Figura 20: Mapa de la distribución espacial de los valores de periodos dominantes.

3.4. Estudios Eléctricos con la Técnica ERT

A continuación, se describe los resultados obtenidos de las líneas de tomografía eléctrica realizadas en el área urbana de la ciudad de Imperial:

Líneas eléctricas LE01-IM, LE02-IM y LE03-IM, realizadas sobre depósitos aluviales al Norte del área de estudio, en las Urb. El Sol y Melchorita (Figura 12). Presentan dos horizontes geoeléctricos, el primero con material medianamente resistivo desde la superficie, y algunos rastros de material resistivo; mientras que, el segundo, es un material conductivo correspondiente al nivel freático, presente a partir de 15 y 25 metros de profundidad. Las líneas LE01 y LE03 (Figura 21) fueron realizadas sobre terrenos cultivables y están próximas al canal Pocoto.



Figura 21: Vista de las líneas LE02-IM y LE03-IM

Las líneas LE04-IM y LE05-IM realizadas sobre áreas de cultivo al sur del área de estudio: AA.HH. Huacachivato y paralelas al canal María Angola al sur de la Plaza de Armas (Figura 12). Estas líneas eléctricas muestran que los suelos son medios conductivos desde la superficie; es decir, un medio bajo resistivo y muy bajo resistivo. De forma similar; la línea LE08-IM, realizada en el estadio Oscar Ramos Cabieses, presenta un horizonte geoeléctrico, con valores bajos

resistivos; sin embargo, existen cuerpos aislados con material medianamente resistivo presentes en profundidad, asociado a la presencia de material más competente (Figura 22).



Figura 22: Vista de las líneas LE04-IM (izquierda) y LE05-IM (derecha) en la parte superior.
Vista de la línea LE08-IM en la parte inferior.

Líneas eléctricas LE06-IM, LE07-IM y LE09-IM realizadas en la parte central del área de estudio (Figura 12), paralelas al canal María Angola (no revestido en todo su trayecto). En estas líneas eléctricas se presentan dos medios geoelectrónicos, el primero, define la existencia de dos zonas medianamente resistivas asociadas a la Formación Pisco y conglomerados mal clasificados en una matriz areno limosa; el segundo medio, compuesto por material conductivo, donde el nivel freático fluctúa entre 10 y 25 metros de profundidad (Figura 23).



Figura 23 Vista de las líneas LE06-IM y LE09-IM

Interpretación

De acuerdo a la información analizada hacia la parte Norte de la Plaza de Armas de la ciudad de Imperial, los materiales resistivos son los que predominan en superficie y hacia el sur los valores muy bajo resistivos a bajo resistivos.

Al Norte de la Plaza de Armas de la ciudad de Imperial, en las Urbanizaciones El Sol, Melchorita y proximo al canal María Angola (LE01-IM, LE03-IM y LE06-IM) el nivel freático se encuentra a partir de los 15 metros de profundidad; mientras que en el extremo Sur de la Plaza de Armas, en el AA.HH. Huacachivato y la Urb. San Leonardo (LE04-IM, LE05-IM y LE08-IM), el nivel freático se encuentra a 3 metros de profundidad. En la parte central del área urbana, Urb. El Sol y el AA.HH. Asunción (LE02-IM, LE07-IM y LE09-IM), el nivel freático se presenta a partir de los 10 metros de profundidad.

Finalmente, el nivel freático hacia la parte Norte del área urbana de la ciudad de Imperial se encuentra a 15 y 25 metros de profundidad, en la parte central a partir de 10 metros de profundidad y hacia la parte Sur a partir de 3 metros de profundidad.

En la Tabla 6, se ha realizado la clasificación de los valores de resistividad de acuerdo a los rangos definidos en la Tabla 2, desde material muy bajo resistivo hasta muy resistivos y en la Figura 24, se presenta el resultado para la línea LE03–IM. Para otros ver Anexos.

Tabla 6. Valores de resistividad obtenidos para el área de estudio

Líneas Eléctricas	Orientación	Profundidad de alcance (m)	Horizonte geoelectrico	Resistividad ($\Omega.m$)	Nivel freático (m)
LE01-IM	EW	39	1	100 – 500 500 - 700	25 m
			2	< 100	
LE02-IM	NS	19	1	100 – 500 500 - 700	15 m
			2	< 100	
LE03-IM	EW	39	1	100 – 500	25 m
			2	< 100	
LE04-IM	NS	15	1	20 - 100	3 m
			2	< 20	
LE05-IM	NS	39	1	100 – 500	3 m
			2	< 100	
LE06-IM	NS	19	1	100 – 500 500 - 700	15 - 25 m
			2	< 100	
LE07-IM	NS	19	1	100 - 500	17 m
			2	< 100	
LE08-IM	NS	19	1	20 - 100	3 m
			2	100 - 160	
LE09-IM	NS	19	1	100 - 500	10 m
			2	< 100	

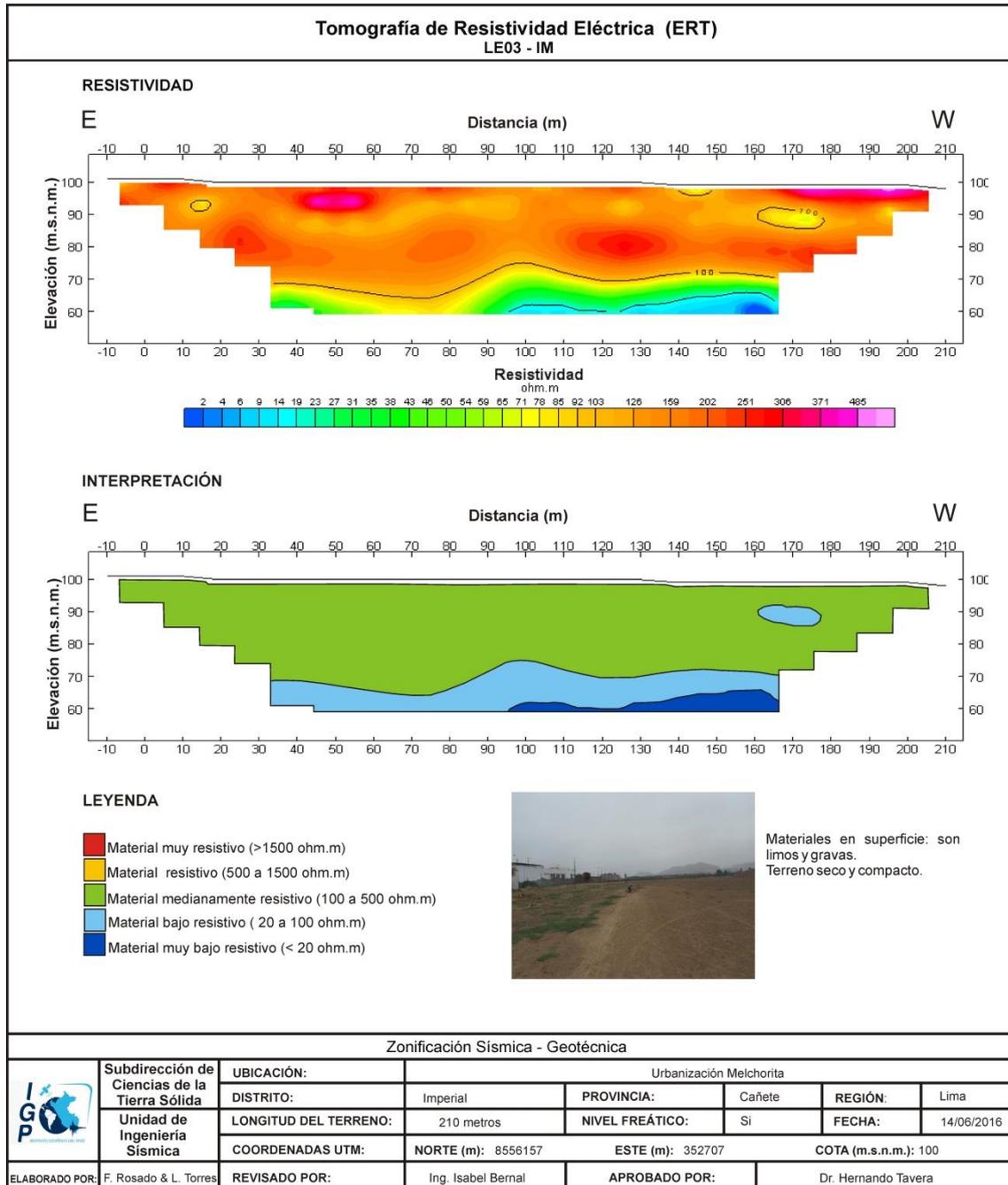


Figura 24: Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE03-IM

4. ZONIFICACION SÍSMICA - GEOTÉCNICA

El mapa de zonificación sísmica - geotécnica se elabora en función de la integración de los resultados de los estudios geológicos, geotécnicos, sísmicos y geofísicos. Las características dinámicas del suelo y sus propiedades mecánicas, han permitido identificar en el área de estudio, de acuerdo a la Norma de Construcción Sismorresistente E.030, la existencia de suelos de Tipo S1 y S2, que corresponden a medios rígidos y medianamente rígidos. Asimismo, se considera la existencia de una pequeña área cuyos suelos presentan un comportamiento dinámico muy compleja.

4.1. Mapa de Zonificación Sísmica

Para el área urbana de la ciudad de Imperial, se propone la siguiente Zonificación Sísmica-Geotécnica (Figura 25).

- ZONA I: Conformada por estratos de conglomerados semi-consolidados, que se encuentran, a nivel superficial cubiertos por depósitos de material fino (arcillas-limosas, arena-limosas) de poco espesor. Este suelo tiene un comportamiento semi-rígido, con periodos de vibración natural que varían entre 0.1 y 0.2 segundos. La capa superficial presenta velocidades de 200 m/s y está asentada sobre un estrato que alcanza velocidades de hasta 500 m/s. En la zona hay un dominio de suelos Tipo S1 según la norma sismorresistente peruana.

Dentro de esta zona, con líneas de color rojo, se delimita las áreas donde los suelos alcanzan amplificaciones mayores a las 4 veces, debido a sus altos niveles freáticos distribuidos a diferentes niveles de profundidad.

- ZONA II: En la zona se incluye las áreas de terreno conformado por estratos superficiales de suelos granulares finos a gruesos con espesores que varían entre 8 y 15 m., subyaciendo a estos estratos se tiene grava. Este suelo presenta un comportamiento medianamente rígido a blando, con velocidades de ondas de corte de 200 y 350 m/s, que corresponden a suelos Tipo S2. Esta zona, presenta una capacidad admisible de 1.0-2.0 Kg/cm².

La respuesta de los suelos de esta zona es especial ya que presentan velocidades de ondas de corte que corresponden a suelos Tipo S2, pero no responden a periodos de entre 0.3 y 0.5 segundos; sin embargo, muestran sensibilidad en dos rangos de periodos de entre 0.1-0.2 y 0.5-0.7 segundos,

predominando el primero respecto al segundo por presentar bajas amplificaciones.

Caso especial: Se considera como caso especial al sector ubicado entre la Urb. Villa Vicente y el canal María Angola, donde sobresalen los periodos de 0.1-0.2 y 0.5-0.7, con altas amplificaciones de hasta 5 veces para ambos rangos; resultados que resaltan en la zona de estudio y sugieren la presencia de suelo blando con una respuesta dinámica compleja ante la ocurrencia de sismos.

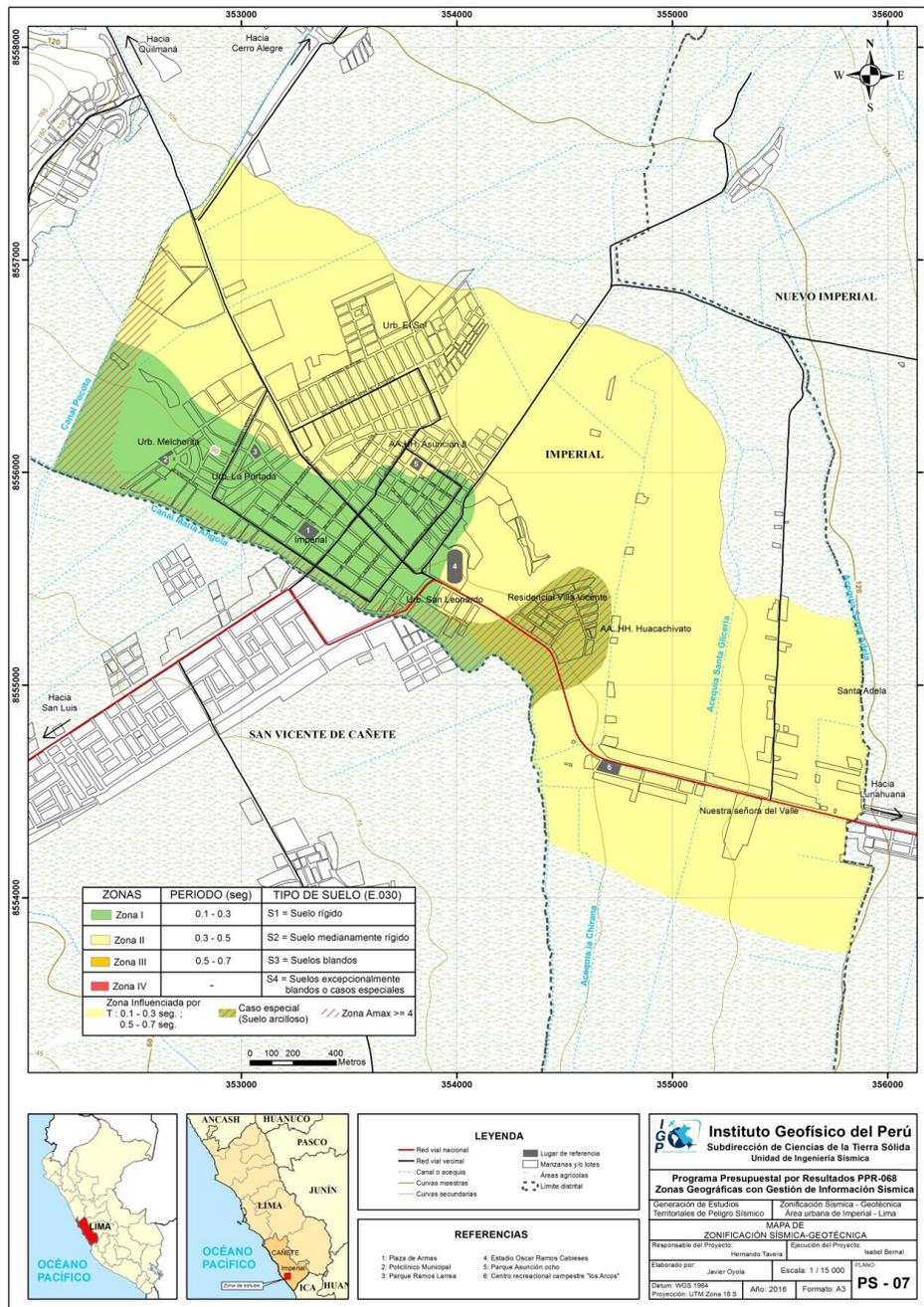


Figura 25: Mapa de Zonificación Sísmica del área urbana de la ciudad de Imperial.

CONCLUSIONES

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

- Existen tres unidades geomorfológicas: llanura aluvial (sobre la cual se asienta el centro urbano de la ciudad de Imperial), loma (asociación de agricultores Huerto del Edén y el AA.HH. Alto Valle Hermoso) y colina (a 1 km al noroeste y 0.8 km al noreste de la ciudad de Imperial), que ocupan el 86%, 13 % y 1%, respectivamente.
- Los eventos geodinámicos identificados de origen fluvio-aluvial: inundaciones por desbordes de las acequias María Angola y otras sin nombre, que se encuentran colmatadas en partes de los sectores: Casa Pintada, Vista Alegre y la zona urbana de la ciudad de Imperial, debido al arrojado de basura en sus cauces.
- Los suelos presentes en la ciudad de Imperial son 4 tipos: gravas mal graduadas (GP) a 900 m al noreste de la plaza principal de la ciudad de Imperial, con capacidad de carga admisible alta; arenas mal graduadas (SP) a 1.25 km al norte de la plaza principal de la ciudad de Imperial. Arenas limosas (SM) en la Urb. Melchorita, las inmediaciones del Parque Ramos Larrea y el Cementerio de Imperial, estas últimas con capacidad de carga admisible baja; y finalmente, arcillas limosas, arenosas (CL- ML), en la Urb. San Leonardo y el Fundo Santa Glicería con capacidad de carga admisible muy baja.
- Los suelos de la ciudad de Imperial responden a periodos de 0.1 y 0.2 segundos que se distribuyen de manera casi uniforme sobre toda el área de estudio. Asimismo, el 80% de la zona de estudio también presenta sensibilidad a periodos de 0.5 y 0.7 segundos, excepto en áreas próximos al canal Pocoto y Canal María Angola, donde este segundo rango no está presente. Entre la Urb. Villa Vicente y el canal María Angola, sobresalen los periodos de 0.1-0.2 y 0.5-0.7, con amplificaciones de hasta 5 veces para ambos rangos; motivo por el cual es considerada como suelo blando y complejo. Los periodos dominantes que caracterizan los suelos de la ciudad de Imperial están relacionados con las condiciones físico-dinámicas a través de la relación $T_0=4H/V_s$. Asumiendo velocidades de 350 m/s y 500 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.1

y 0.2 segundos, se estima una capa superficial con espesores de entre 8 a 15 metros, y al considerar periodos de 0.5 y 0.7 segundos, los espesores de las capas del suelo varían entre 40 a 60 metros.

- Según los resultados de Tomografía eléctrica, al Norte de la plaza de la ciudad de Imperial, el nivel freático se encuentra a partir de los 15 metros de profundidad; mientras que, en el extremo Sur de la Plaza de Armas, el nivel freático se encuentra a 3 metros de profundidad. En la zona central el nivel freático se presenta a partir de los 10 metros de profundidad.

-Los resultados obtenidos para el área urbana de la ciudad de Imperial han permitido identificar, según las características dinámicas del suelo, sus propiedades mecánicas y el procedimiento establecido en la Norma E.030, la existencia de dos (2) zonas sísmicas correspondientes a suelos Tipo S1 y S2, que corresponde a suelos rígidos y medianamente rígidos. Adicionalmente se considera, al sector ubicado entre la Urb. Villa Vicente y el canal María Angola, como una zona con suelos blandos y cuyo comportamiento dinámico será complejo a la ocurrencia de sismos.

BIBLIOGRAFIA

- APESSEG (2005). Estudio de vulnerabilidad y riesgo sísmico en 42 distritos de Lima y Callao, CISMID, 10 pag.
- 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. (2002) Microzonificación sísmica de la ciudad de Tlaxcala, Mexico. Tesis de Maestría en Ciencias, UNAM, pag. 130.
- Belaústegui, S. (1999) - Pendientes del terreno y fundamentos del caudal máximo no erosivo. Hoja técnica N° 07. Buenos Aires - Argentina. 4 p.
- Cahill & Isacks, (1992) - Seismicity and shape of the subducted Nazca Plate. Journal Geophys. Res., 97, 17503-17529.
- Cieza de León, P. 1962 [1550]. La crónica del Perú. Madrid- España: Espasa Calpe.
- Ciudades sostenibles PNUD (2008). Mapa de peligros, plan de usos del suelo ante desastres y medidas de mitigación de San Vicente de Cañete, Imperial y Nuevo Imperial.
- Dorbath, L., Cisternas, A., Dorabath, C. (1990). Assessment in the size of large and great historical earthquake in Peru. B.S.S.A., 80,551-576
- Felicísimo, M. (1994) - Modelos digitales del terreno. Oviedo-España: Pentalfa. 222 p. ISBN: 84-7848-475-2. 222 p.
- Fidel, L., Zavala, B., Núñez, S. & Valenzuela, G. (2006) - Estudio de riesgos geológicos del Perú, Franja N° 4. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 29. 383 p.
- Flores-Estrella, H., Lomnitz, C. y Yussim S. (2004). "Estimación de velocidades de fase a partir del análisis de microtemores con el método SPAC", Geophysics, Vol. 24, N° 3, 438-445
- Gasulla, M.; Jordana, J.; Pallás, R.; Torrents, J.M. (1998). Subsurface resistivity measurements using square waveforms. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 47(1): 74-77.

GITS - Grupo de investigación de transportes de sedimentos.

Gutiérrez, M. (2008) - Geomorfología. Edit. Pearson/Prentice Hall, Madrid, 898 p. ISBN 97884832-23895.

Harvey, J. C. (1987) – Geology for geotechnical engineers (Cambridge University Press), 5p y 13p.

Hürlimann, M., (2011). Ingeniería Geológica. UPC.

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

Hutchinson, J., N., (1988) - General Report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. Proceedings, Fifth International Symposium on Landslides, (Ed: Bonnard, C.). 1, 3-35 p. Rotterdam: Balkema.

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

INDECI (2002) - Mapa de peligros, plan de usos del suelo y propuesta de las medidas de mitigación de los efectos producidos por los desastres naturales de las ciudades de la Provincia de Cañete.

INDECI (2008) - Mapa de peligros, plan de usos del suelo ante desastres y medidas de mitigación de San Vicente de Cañete, Imperial y Nuevo Imperial, INDECI-PNUD-PER/02/051-Ciudades sostenibles.

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2007) - Censos Nacionales 2007 XI de Población y VI de Vivienda. Recuperado de <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/censos/>

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2013). Mapa de pobreza provincial y distrital 2013. Recuperado de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1261/Libro.pdf

INGEMMET (1985) - Estudio Geodinámico de la Cuenca del río Cañete. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 8. 172 p.

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.
- Mas-Pla, J., & Bach-Plaza, J., (2008) –Evaluación y prevención de riesgos Ambientales en Centroamérica. ISB: 978-84-96742-37-6. Documenta Universitaria. Girona (España).
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2010). Distribución del Gasto del Gobierno Local por Fuentes de Financiamiento y Grupo Generico de Gastos. Recuperado de https://www.mef.gob.pe/contenidos/presu_publ/sectr_publ/presu_2010/anexos/Anexo5.pdf
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2017). Distribución del Gasto del Gobierno Local por Fuentes de Financiamiento y Grupo Generico de Gastos. Recuperado de <https://www.mef.gob.pe/es/presupuesto-del-sector-publico/aprobacion-presupuestal/nacional-regional-y-local/182-presupuesto-publico/programacion-formulacion-y-aprobacion/1954-presupuesto-aprobado-ano-2007-nacional-regional-y-local> Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2015) - <http://renac.mtc.gob.pe/inventariovial/default2.aspx>
- Municipalidad Provincial de Cañete. (2008) - Plan de desarrollo concertado de la Provincia de Cañete 2008 – 2021. Recuperado de https://issuu.com/residente/docs/canete_2008_2021
- Orellana, E. (1982). *Prospección geoeléctrica en corriente continua*. Madrid: Ediciones Paraninfo.
- Park, C.B. (2015). Data acquisition. Retrieved 23 June, 2015, from <http://www.masw.com/DataAcquisition.html>
- Park, C.B. (2014). MASW for geotechnical site investigation. *The Leading Edge*, 32(6):656-662.
- Park, C. B., Miller, R. D., Xia, J., & Ivanov, J. (2007). Multichannel analysis of surface waves (MASW)—active and passive methods. *The Leading Edge*, 26 (1), 60–64.
- Park, C. B., Miller, R. D. y Xia, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves *Geophysics* 64 800-8.
- Perrone, A., Iannuzzi, A., Lapenna, V., Lorenzo, P., Piscitelli, S., Rizzo, E., and Sdao, F. (2004). Highresolution electrical imaging of the Varco d'Izzo earthflow (southern Italy), *J. Appl. Geophys.*, 5 56, 17–29, doi:10.1016/j.jappgeo.2004.03.004

- Pike, R. J., Evans, I. S., & Hengl, T. (2009). Geomorphometry: a brief guide. In T. Hengl & H. I. Reuter (Eds.), *Geomorphometry: concepts, software, applications*. Developments in Soil Science 33, 3-30. Amsterdam: Elsevier
- PNUD (2010). Riesgo sísmico y medidas de reducción del riesgo en Lima. PNUD, INDECI, Proyecto N° 00058530
- Rostworowski, M.; Marcus, J. y Matos, R. (1983 – 1985). Arquitectura Inca de Cerro Azul, valle de cañete. En: *Revista del Museo Nacional*. Tomo XLVII: 126,138, Lima.
- Reynolds, J.M. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2nd ed., 712 pp.
- Roma, V. (2010). Seismic geotechnical site characterization by means of MASW and ReMi methods. *FastTIMES*, 15(3):16-28.
- Samouëlian, A., I. Cousin, A. Tabbagh, A. Bruand y G. Richard, (2006). Electrical resistivity survey in soil science: a review. *Soil Till Res* 83, 173-193
- Salazar, H. & Landa, C. (1993) - Geología de los cuadrángulos de Mala, Lunahuaná, Tupe, Conayca, Chincha, Tantará y Castrovirreyna. INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 44. 105 p.
- SESAME European research project WP12 – Deliverable D23.12: (2004). Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation.
- Silgado, E. (1978). Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú entre 1513 y 1974. Instituto Geológico Minero del Perú, Lima, Perú, 120 pag.
- Socco, L.V., Boiero, D., Comina, C., Foti, S., y Wisen, R. (2008). Seismic characterization of an Alpine site. *Near Surface Geophysics*, 6(4):255-267.
- Suárez, D. J. (1998) – Estabilidad de Taludes en Tropicales. Instituto de Investigación sobre erosión y deslizamientos. Colombia. Ed. Ingeniería de Suelos Ltda. 550 p.
- Tavera, H., Buforn, E. (2001). Source mechanism of earthquakes in Peru. *Journal of Seismology* 5: 519–539, 2001.
- Tavera, H., (2014) - Escenario sísmico en base a la intensidad máxima esperada en un probable sismo frente a la zona costera de Lima.
- Tarback, E., D. Lutgens, F., K., (2005) *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la Geología Física* Pretince Hall. Cap16. 8a edición. 710 pp.
- Varnes, D.J., (1958) - Landslide types and processes in Eckel E.B., ed., *Landslides and Engineering Practice*, Highway Research Board Special Report 29, NAS- NRC Publication 544, Washington, D.C. 20-47 p.

- Varnes, D. J., (1978) - Slope Movement: Types and Proceses. In Scuster R. L. y Krizek, R. J., ed. Landslides analysis and control: Washington, D. C.
- Zinck, J. A. (1988). Physiography and soils. Lecture notes. Enschede, The Netherlands: International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC).
- Zinck, J. A., & Valenzuela, C. R. (1990). Soil geographic database: structure and application examples. ITC Journal, 1990(3), 270-294.
- 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.

ANEXOS

ANEXOS

La documentación del presente Informe Técnico: “Zonificación Sísmica – Geotécnica de la ciudad de Imperial”, se adjunta en DVD.

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 temáticos

2.- Información Geofísica

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