

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 GEOFÍSICA – GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE NUEVO IMPERIAL

Lima - Perú

2017

Instituto Geofísico del Perú

Presidente Ejecutivo: Hernando Tavera

Director Científico: Danny Scipion

Autores

Isabel Bernal

Caracterización Geofísica de la Ciudad de Nuevo Imperial

Juan Carlos Gómez

Caracterización Geológica y Geotécnica de la Ciudad de Nuevo Imperial

Equipo de Evaluación Geológica y Geotécnica: Mariana Vivanco

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

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 GEOFÍSICA – GEOTÉCNICA DE LA
CIUDAD DE NUEVO IMPERIAL**

**Distrito de Nuevo 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 Geofísica - Geotécnica de las áreas urbanas de las ciudades/localidades de Chilca (distrito de Chilca), Coayllo (distrito de Coayllo), Humay y Bernales (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 Geofísica – Geotécnica de los suelos de la ciudad de Nuevo 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.

ÍNDICE

RESUMEN

ÍNDICE

PARTE 1

1. INTRODUCCIÓN

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

2.- CONDICIONES LOCALES DE SITIO

- 2.1. La Norma Técnica E.030

PARTE 2

Caracterización geológica y geotécnica de la ciudad de Nuevo Imperial.

PARTE 3

Caracterización sísmica y geofísica de la ciudad de Nuevo Imperial.

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS: Documentos y Anexos se adjuntan en formato digital.

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 desarrolló la Actividad “**Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico**” a fin de obtener el Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para el área urbana de las siguientes ciudades (Figura 1):

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

De acuerdo a la historia sísmica del Perú, se ha demostrado 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.

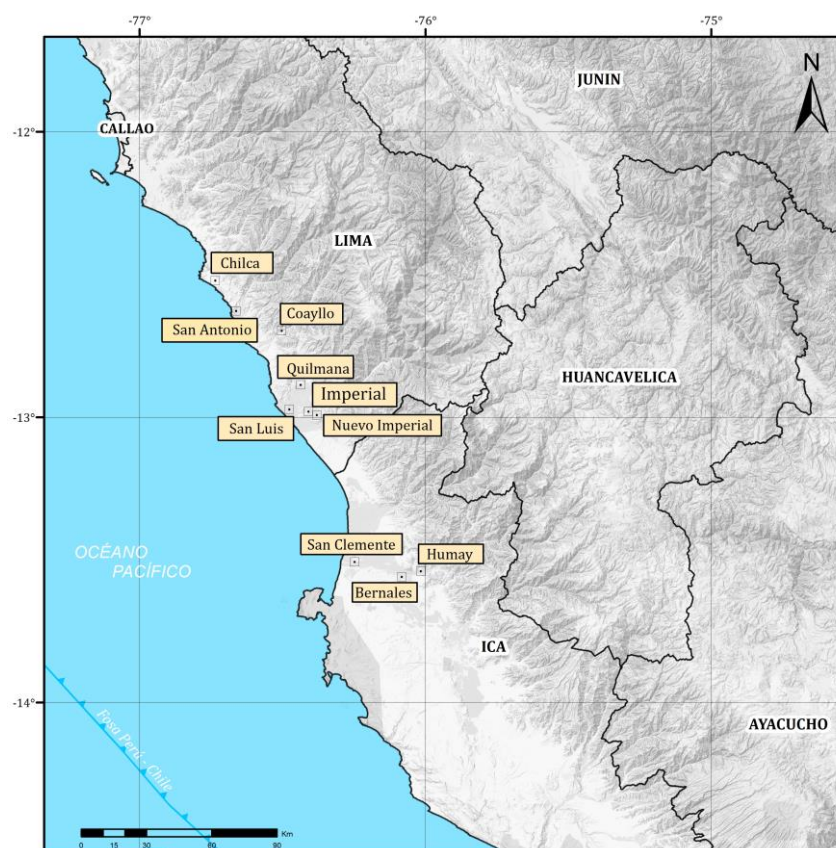


Figura 1: Distribución espacial de las ciudades para las cuales se realizaron los estudios de Zonificación Geofísica – Geotécnica de suelos.

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

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

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

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

1.1. Objetivo

El principal objetivo a cumplir en este estudio es obtener el mapa de Zonificación Geofísica - Geotécnica para la ciudad de Nuevo Imperial, provincia de Cañete, región de Lima (Figura 2); 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.



Figura 2: Plaza principal de la ciudad de Nuevo Imperial.

1.2. Historia

Durante el Intermedio Tardío (1000 – 1400 d.n.e.), en la parte baja del valle de Cañete, se establecieron los Huarcos, un grupo social que aprovechó el recurso marino y la fertilidad de los suelos del lugar para desarrollar actividades agrícolas (Rostworowski, 1983). En la zona alta del citado valle se encontraban asentados los Yauyos, una cultura antigua que alcanzó un gran desarrollo en el cultivo y aclimatación de muchas variedades de plantas, además de la domesticación de animales.

Según Cieza de León (1550), a la llegada del imperio incaico (a partir del siglo XV), el valle bajo del río Cañete se encontraba poblada por 30000 habitantes bajo el dominio de un señorío. El confrontamiento disputado entre los incas y los lugareños del valle por el dominio de tierras, tuvo una duración aproximada de 4 años con una victoria estratégica de los invasores incaicos (modificado de Cieza de León, 1962 - 1550). Con la finalidad de afianzar el poderío administrativo e ideológico del imperio, Túpac Yupanqui estableció la fortaleza Incahuasi (ubicado a 30 km al Este de la actual ciudad de Cañete) como centro administrativo del valle y dependiente del cusco, cuya relación perduró hasta la conquista española (siglo XVI).

Posteriormente, a la época colonial, a partir de las órdenes del virrey Hurtado de Mendoza se fundan las villas en el Perú. Cañete no fue ajeno a estas nuevas configuraciones político-administrativas y bajo el nombre de Villa Santa María de Cañete se crea el primer pueblo de españoles el 30 de agosto de 1556, en Puerto de la Fortaleza (localizado entre los actuales distritos de Cerro Azul y San Luis). A consecuencia de los constantes saqueos de piratas ingleses y la destrucción ocasionado por el terremoto de 1578, los habitantes del pueblo español citado anteriormente se trasladan al pie del “cerro de los celosos” (actual San Luis), donde radicaron hasta el año de 1687. Finalmente, cansados de los aún perennes saqueos migran a San Vicente de Mártir (actual San Vicente de Cañete), donde se inicia el desarrollo de actividades económicas agrícolas afianzadas por el establecimiento de grandes fundos y el crecimiento demográfico a causa de la llegada de inmigrantes nacionales y extranjeros (asiáticos y africanos).

Como parte del desarrollo y crecimiento de San Vicente de Cañete, se constituyeron pequeños pueblos como es el caso de Nuevo Imperial, cuyo origen radica desde el establecimiento de un campamento para obreros e ingenieros en 1921, con la finalidad de iniciar trabajos del canal de irrigación de las Pampas El Imperial.

Luego de concluida la obra, los trabajadores fueron retribuidos con pequeñas parcelas agrícolas y afincadas, esto marco el inicio de la creación del poblado. El 22 de junio de 1962 por la Ley N° 14154, se promulga como distrito al pequeño pueblo de Nuevo Imperial integrado por los anexos Parcelación Rinconada, Hacienda San Fernando, Hacienda Roma, Caserío Conta, Hacienda Los Alminares y Parcelación Túnel Grande (modificado de Municipalidad Provincial de Cañete, 2008).

La ciudad de Nuevo Imperial se ubica en las coordenadas UTM (Universal Transversal Mercator): 357141 E, 855403 N y cota promedio de 161 m.s.n.m; geopolíticamente limita, por el norte con el distrito de Quilmaná - Yauyos, al este con el distrito de Lunahuaná; al sur con el distrito de San Vicente de Cañete; y por el oeste con el distrito de Quilmaná - Imperial. Dentro de la división eclesiástica de la Iglesia católica del Perú, forma parte a la Prelatura de Yauyos (Figura 3).

1.3. Accesibilidad y Clima

El acceso a la ciudad de Nuevo Imperial se realiza por la carretera Panamericana Sur hasta el kilómetro 148, para luego recorrer aproximadamente 9 km en dirección oeste por la carretera Yauyos-Cañete (vía asfaltada).

Nuevo Imperial, presenta un clima templado cálido, la temperatura promedio mensual se presenta en los meses de enero a abril (28 °C), y la mínima promedio mensual de julio a setiembre (14 °C). Fuente: INDECI, 2002.

1.4. Economía

La principal actividad económica de la ciudad de Nuevo Imperial, es la agricultura, cuyo porcentaje de participación al PBI local es del 55 % (INEI, 2007). Según el INEI (2013), el 21.2 % (4900 hab.) de la población total de Nuevo Imperial son pobres y dependen de los ingresos por prestaciones sociales (s/. 264 173), programas de apoyo, obtenidos del gasto presupuestal total anual s/.7 808 324 (MEF, 2017).

Considerando el gasto presupuestal anual del 2017 y del 2010, cuyo monto del último asciende a la suma de s/. 3 387 148 (MEF, 2010), se observa un incremento del presupuesto que indica aún, una continua dependencia de la municipalidad con el gobierno regional y nacional.

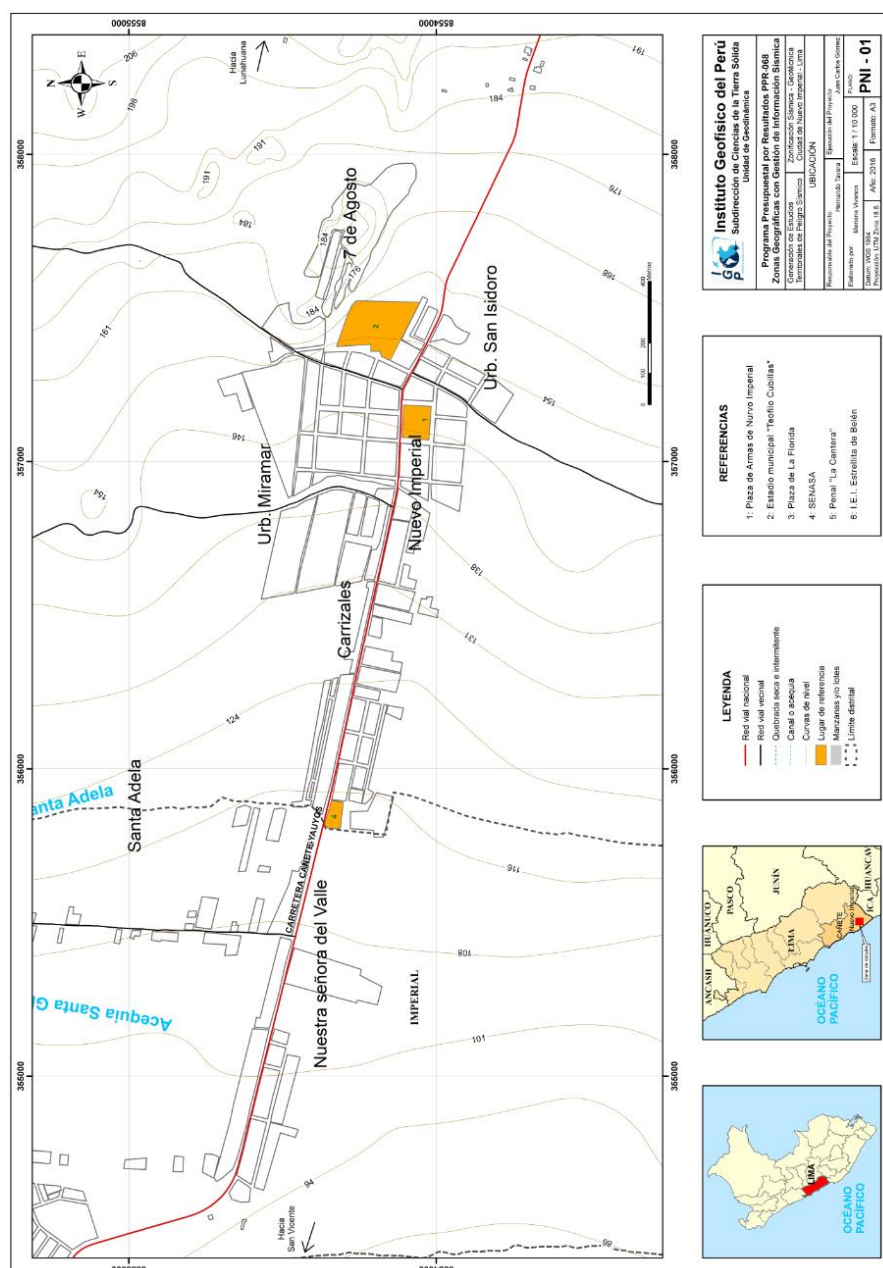


Figura 3: Mapa de ubicación geográfica de la ciudad de Nuevo Imperial.

1.5. Estudios previos

Para la ciudad de Nuevo 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:

- Veneros (2016): Mejoramiento de la infraestructura para los servicios administrativos de la municipalidad distrital de Nuevo imperial, Cañete, Lima. Se

realizaron cuatro calicatas dentro de la locación de la municipalidad a profundidad máxima 3.00 m y mínima de 1.00 m. De acuerdo a la clasificación SUCS, se identificaron tres tipos de suelos SP-SM-GP, que corresponden a arena limosa, arena pobremente graduada y grava bien graduada, la capacidad portante de estos suelos es de 2.00 kg/cm². Se puede inferir que el nivel freático se extiende a más de 80.00 m por debajo del nivel de cimentación”. El informe infiere que el suelo de cimentación “no es susceptible de licuar ante la ocurrencia de un sismo de gran magnitud”, esto según las condiciones de los suelos establecidas por la Norma RNE-Norma E050. Señala que el suelo de la zona es conformado por material de origen aluvial desértico.

- Proyecto PNUD (2008) – Ciudades Sostenibles. Mapa de Peligros, plan de uso de suelos ante desastres y medidas de mitigación de San Vicente de Cañete, Imperial y Nuevo Imperial. Este informe describe los daños causados por el sismo de Pisco del año 2007 en la ciudad de Nuevo Imperial y realiza un análisis geotécnico de la misma.

El sismo de Pisco de magnitud 8 Mw, causó daños en los poblados cercanos a Nuevo Imperial. El informe cuantifica que hubo 122 viviendas colapsadas que fueron declaradas inhabitables ubicadas en las laderas de los cerros sin nombre en particular, estas viviendas estaban construidas de adobe y quincha, las Instituciones Educativas (I.E.) afectadas por el sismo, fueron la I.E N° 20162 del Sector Caltopilla ubicado a 9 km del centro urbano de Nuevo Imperial en dirección este y la I.E. Augusto B. Leguía ubicada en Nuevo Imperial.

El análisis geotécnico realizado en la ciudad de Nuevo Imperial, refiere que los suelos, según la clasificación SUCS, son: SM-SP (arenas limosas y arena pobremente gradada), la capacidad portante de estos suelos es mayor a 2.00 kg/cm², “implica la poca probabilidad de asentamientos diferenciales en el suelo”, sobre suelo se asienta el casco urbano y urbanización Flores de San Antonio. En el sector de Santa Elena, el tipo de suelo es SM (arena limosa), la capacidad portante varía de 0.80 kg/cm² a 1.00 kg/cm², “poca probabilidad de asentamientos diferenciales”. Según el Peligro Geológico-Geotécnico, la ciudad de Nuevo imperial presenta un Peligro Bajo.

- INDECI (2002), Mapa de Peligros, Plan de Usos del Suelo y Propuesta de medidas de Mitigación de los efectos producidos por los desastres naturales de

las ciudades de la Provincia de Cañete: San Vicente, Cerro Azul, San Luis, Imperial y Nuevo Imperial. El informe señala lo siguiente:

Los peligros de geodinámica externa que se suscitan en Nuevo Imperial son Huaycos e inundaciones, siendo este último causado por los desbordes de los canales que atraviesan la ciudad de este a oeste denominados canal Viejo que circunda por la avenida A.B. Leguía haciendo un recorrido de sur a norte, que causaría daños a las viviendas cercanas a este ante un eventual desborde provocado por el colapso de los muros de contención. Asimismo, el canal que pasa por el Jirón Aljovín que afectaría a las viviendas ubicadas en los sectores de Miramar, Monchiga Muños, Miguel Grau y parte del colegio A.B. Leguía.

En el caso de huaycos, atribuye su origen a las “lluvias fuertes en las partes altas del distrito que al discurrir por cauces reducidos y/o interrumpidos por construcciones y otros elementos ocasionarían daños y perjuicios a los centros poblados asentados cerca de lechos de quebradas o en los mismos cauces”.

Las exploraciones geotécnicas llevadas a cabo en la ciudad de Nuevo Imperial, se ejecutaron con la finalidad de determinar el grado de peligro por sismos. Se realizaron 5 calicatas con profundidad máxima de 2.50 m y la información obtenida de estas (tipo de suelo, capacidad portante, entre otros) permitieron clasificar zonas de peligros, que se describen a continuación:

Zona de Peligro alto: La capacidad portante del suelo es menor a 0.93 kg/cm^2 (suelo de composición arena limosa y material de relleno) y corresponde a los sectores del colegio Nacional Augusto B. Leguía y zonas agrícolas consideradas como futuras habilitaciones urbanas y determina “en este tipo de zonas las edificaciones deben diseñarse considerando las condiciones geotécnicas y no deben ser utilizadas para la construcción de edificaciones esenciales o refugios en caso de producirse un desastre”. Clasifica este sector “zona de suelos parcialmente licuables”.

Zona de Peligro Medio: Problemas moderados de licuación. La capacidad portante de los suelos esta entre 0.93 kg/cm^2 y 1.50 kg/cm^2 . Esta característica de suelos se presenta en el casco antiguo y centro de la ciudad de Nuevo Imperial y parte colindante con Imperial.

Zona de Peligro Bajo: Se ubica en los sectores que pertenecen al lado oeste del distrito y nuevas urbanizaciones populares. Constan de suelos arenosos y gravosos con capacidad portante mayor a 1.5 kg/cm^2 .

En las zonas donde se realizaron las calicatas no se evidencio la presencia del nivel freático.

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 Geofísica - 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.

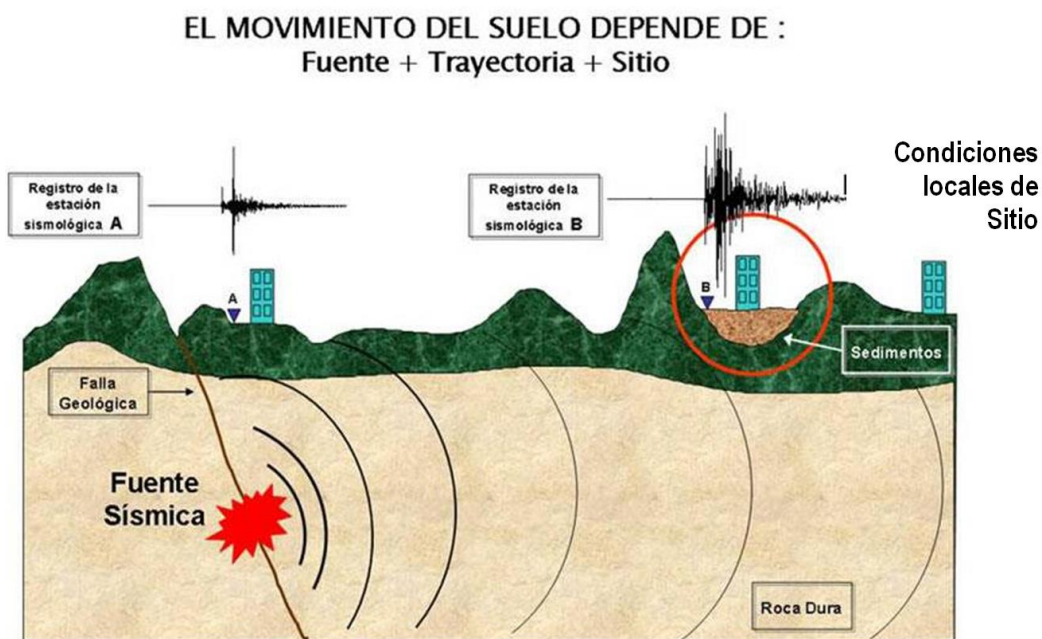


Figura 4: Las condiciones locales de sitio controlan la amplificación del sacudimiento del suelo, puesto en evidencia con la amplitud del registro sísmico obtenido sobre roca y sedimentos.

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 Geofísica - 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 Geofísica – 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.

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE NUEVO IMPERIAL

CONTENIDO

1. METODOLOGÍA

1.1. Base Topográfica

2. GEOMORFOLOGÍA

2.1. Modelo Digital del Terreno (MDT)

2.2. Pendientes

2.2.1. Clasificación del grado de pendientes

2.3. Unidades geomorfológicas

3. GEOLOGÍA

3.1. Geología regional

3.1.1. Geología histórica

3.2. Geología estructural

3.3. Geología local

4. GEODINÁMICA

4.1. Procesos de geodinámica interna

4.2. Procesos de geodinámica externa

4.3. Zonas susceptibles a procesos geodinámicos externos

5. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

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

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

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

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

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

5.4.2. Calculo del ángulo de fricción interna

5.5. Clasificación SUCS para suelos

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

5.7. Capacidad de carga admisible

5.7.1. Carga última

5.7.2. Capacidad de carga admisible baja

5.8. Problemas Geotécnicos.

5.8.1. Licuación de suelos

1. METODOLOGÍA

El estudio de cartografiado geológico, geomorfológico, geodinámico y de exploraciones geotécnicas realizadas en la ciudad de Nuevo Imperial, se desarrollarán en 3 fases:

- ✓ **Gabinete I:** Las actividades realizadas incluyeron la revisión de imágenes satelitales pancromáticas no estereoscópicas GeoEye-1 del Servidor Digital Globe (2013) con resolución 0.60 m., con la finalidad de delimitar la zona de estudio. Asimismo, 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: 10 000. Así mismo, se identificó y delimitó los eventos geodinámicos de la zona como las inundaciones (por acequias). Paralelo a este trabajo se realizó la topografía de la zona a escala 1:10 000.
- ✓ **Campo II:** Elaboración de ensayos geotécnicos:

Elaboración de calicatas, se realizaron 8 calicatas distribuidas equitativamente entre el casco urbano y área de expansión urbana a una profundidad promedio de 3.00 m.

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 Nuevo Imperial y anexos se llevaron a cabo 11 DPL.

Ejecución de auscultaciones haciendo uso de una posteadora: Estas se distribuyeron alternas a la ubicación de las calicatas a fin, de determinar el tipo de suelo. En la ciudad de Nuevo Imperial y anexos, se llevaron a cabo 10 posteos.

- ✓ **Laboratorio:** En esta etapa se realizaron los ensayos de mecánica de suelos como granulometría (clasificación SUCS), humedad, densidad y corte directo (capacidad de carga admisible).

- ✓ **Gabinete II:** Elaboración del informe técnico que adjunta anexos que contienen fichas geotécnicas (calicatas, DPL y posteos), geodinámicas (identificación de zonas susceptibles a movimientos en masa e inundaciones) y planos temáticos a escala 1:10 000.

1.1. Base Topográfica

Se obtuvo a partir de un levantamiento topográfico en la ciudad de Nuevo Imperial, sobre un área de 110 ha. Este trabajo se realizó con el propósito de obtener la representación digital del relieve que conforma el área de estudio (terrazas, colinas, montañas, 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). Las mediciones de la superficie del terreno, se realizó a partir de 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 una cruz al norte del estadio municipal.

BM	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m.s.n.m)	Descripción
BM	357483	8554411	187	Ubicado al N del estadio municipal

Luego, desde el punto de control antes mencionado se estableció un polígono cerrado conformado por 7 vértices, cuya corrección taquimétrica se describe en los Anexos: Aquí se tomaron 185 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 19400 has., se utilizaron imágenes SRTM en formato GeoTiff.

A partir del uso de un software de Diseño Asistido por Computador (CAD), los datos recabados del levantamiento topográfico y del SRTM, se obtuvo un plano topográfico a escala 1:10000 que contiene curvas de nivel (líneas que unen puntos con igual altitud). En la Figura 1, se muestra el plano topográfico obtenido con una resolución espacial de 7.5 m.

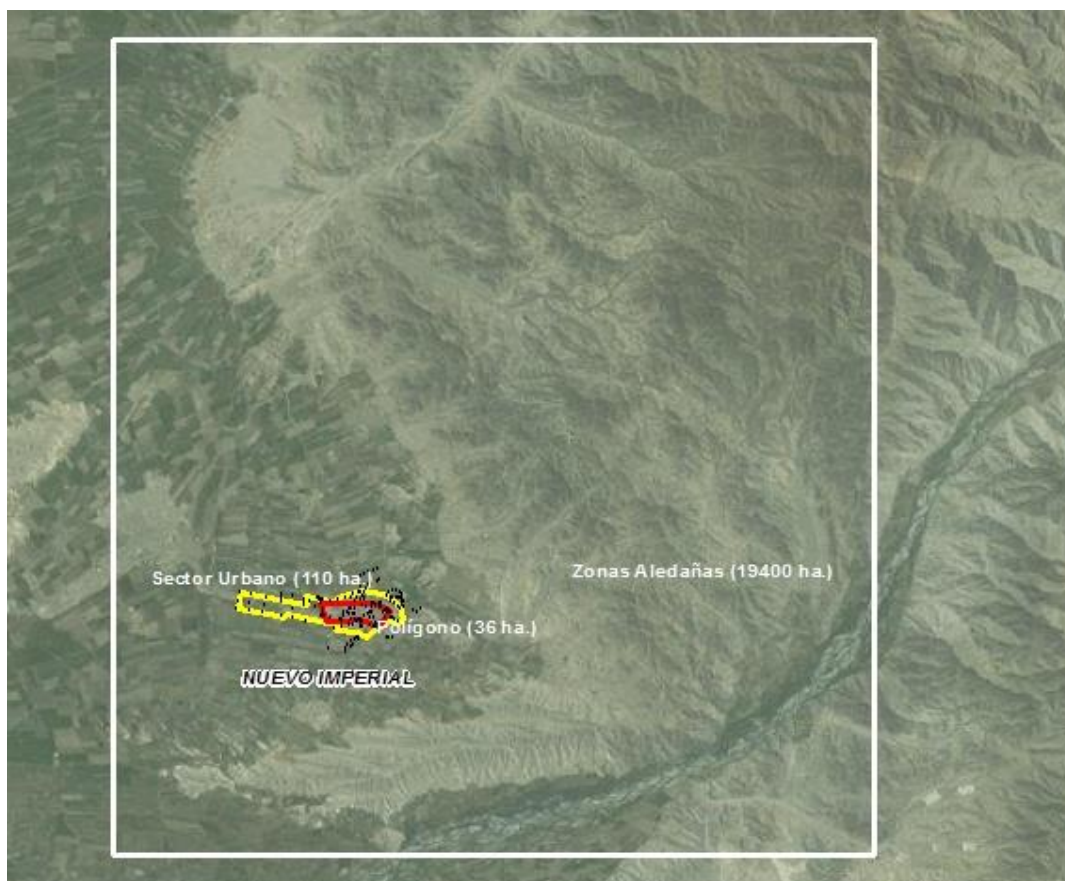


Figura 1: Se describe en línea roja el área del polígono (36 ha.), en amarillo el sector urbano (110 ha.) y en blanco las zonas aledañas (19400 ha.).

2. GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología estudia las diferentes formas de relieve de la superficie terrestre (geoformas) y los procesos que las generan, este relieve es el resultado de la interacción de fuerzas endógenas y exógenas. Las primeras actúan como creadoras de grandes elevaciones y depresiones producidas fundamentalmente por movimientos en masa de componente vertical, mientras que, las segundas, como desencadenantes de una continua denudación que tiende a rebajar el relieve originado, estos últimos llamados procesos de geodinámica externa, se agrupan en la cadena meteorización, erosión, transporte y sedimentación (Gutierrez, 2008).

El estudio de la geodinámica externa se efectúa en un sistema proceso-respuesta, siendo el primero el agente creador (origen) y el segundo la geoforma resultante. El término geoforma es un concepto genérico que designa todos los tipos de formas de relieve independientemente de su origen y dimensión (Zinck, 1988; Zinck & Valenzuela, 1990).

En este capítulo se describen las características físicas de las geoformas existentes en la ciudad de Nuevo 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). Esta información fue verificada y validada durante el trabajo de campo; asimismo fue útil para delimitar las unidades geomorfológicas en la ciudad de Nuevo Imperial.

2.1. Modelo Digital del 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 Nuevo 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 16 km² aproximadamente (Figura 2).

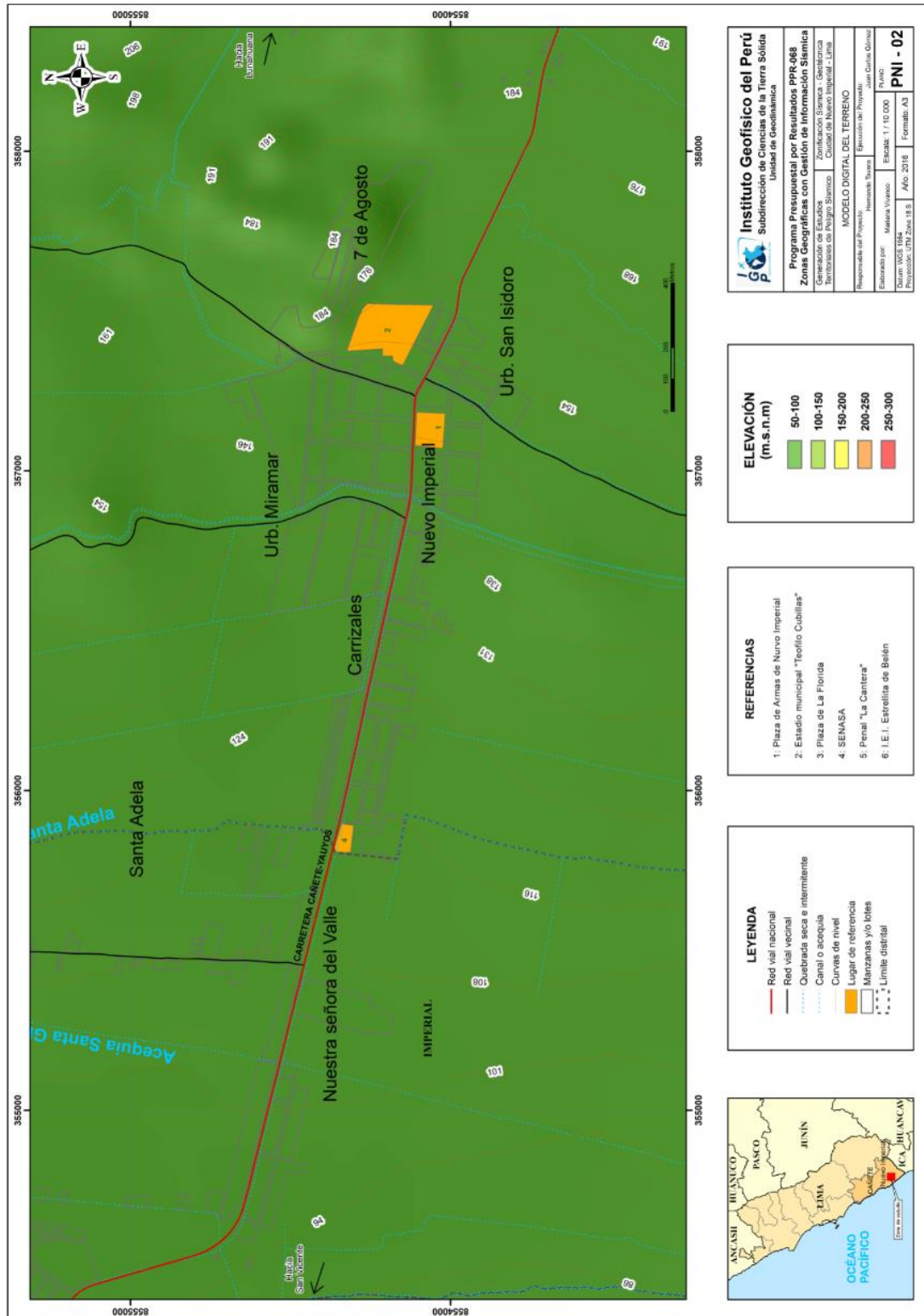


Figura 2: Mapa de modelo digital del terreno para la ciudad de Nuevo Imperial y alrededores

En base al MDT elaborado de la ciudad de Nuevo Imperial se ha reconocido que la zona urbana se asienta sobre una llanura aluvial, la cual presenta un rango de cotas entre 75 y 210 m.s.n.m. En los alrededores, hacia la parte noroeste de la ciudad se observan lomas que presentan un desnivel máximo de 110 m con respecto al área urbana.

2.2. Pendientes

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

El diseño del mapa de pendientes de la ciudad de Nuevo 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 como base el informe: “Estudio de riesgos geológicos del Perú – 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

La mayor parte de la ciudad de Nuevo Imperial se encuentra asentada sobre una llanura aluvial que presenta pendientes de 0° a 5°; promedio, al noreste de dicha ciudad se encuentran las laderas de lomas que presentan inclinaciones de 5° a 10°.

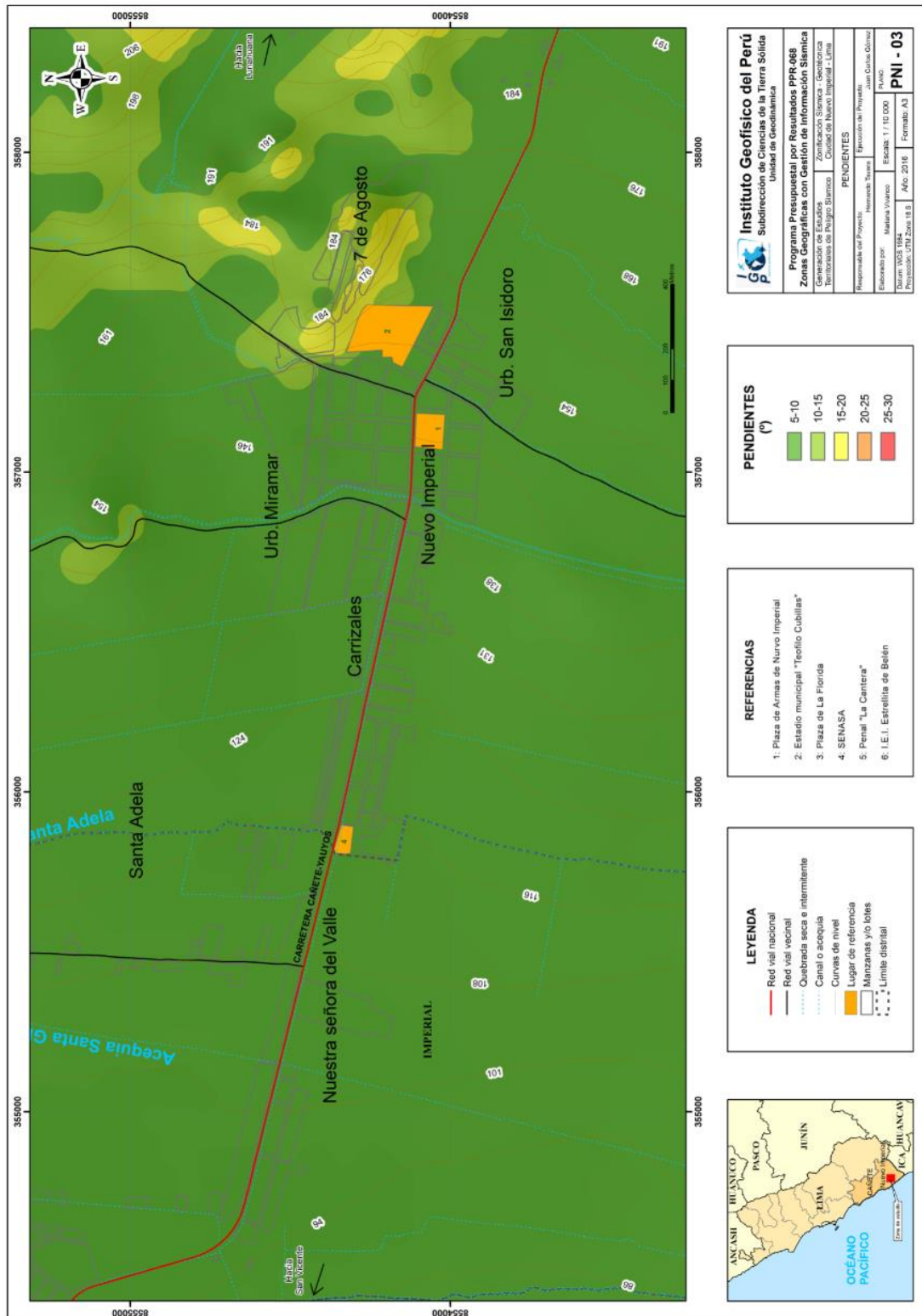


Figura 3: Mapa de pendientes del terreno para la ciudad de Nuevo Imperial y alrededores

2.3. Unidades geomorfológicas

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

Características físicas: Las características físicas de la forma; 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 Nuevo 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: Determinación de las unidades geomorfológicas en la ciudad de Nuevo Imperial en base a las características físicas y su origen.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		ORIGEN	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA
Pendiente	<5°	Depositacional	Llanura aluvial
Geometría	irregular		
Drenaje	irregular		
Pendiente	<35°	Denudacional	Loma
Altura	<300 m		
Geometría	alargada		
Drenaje	dendrítico		

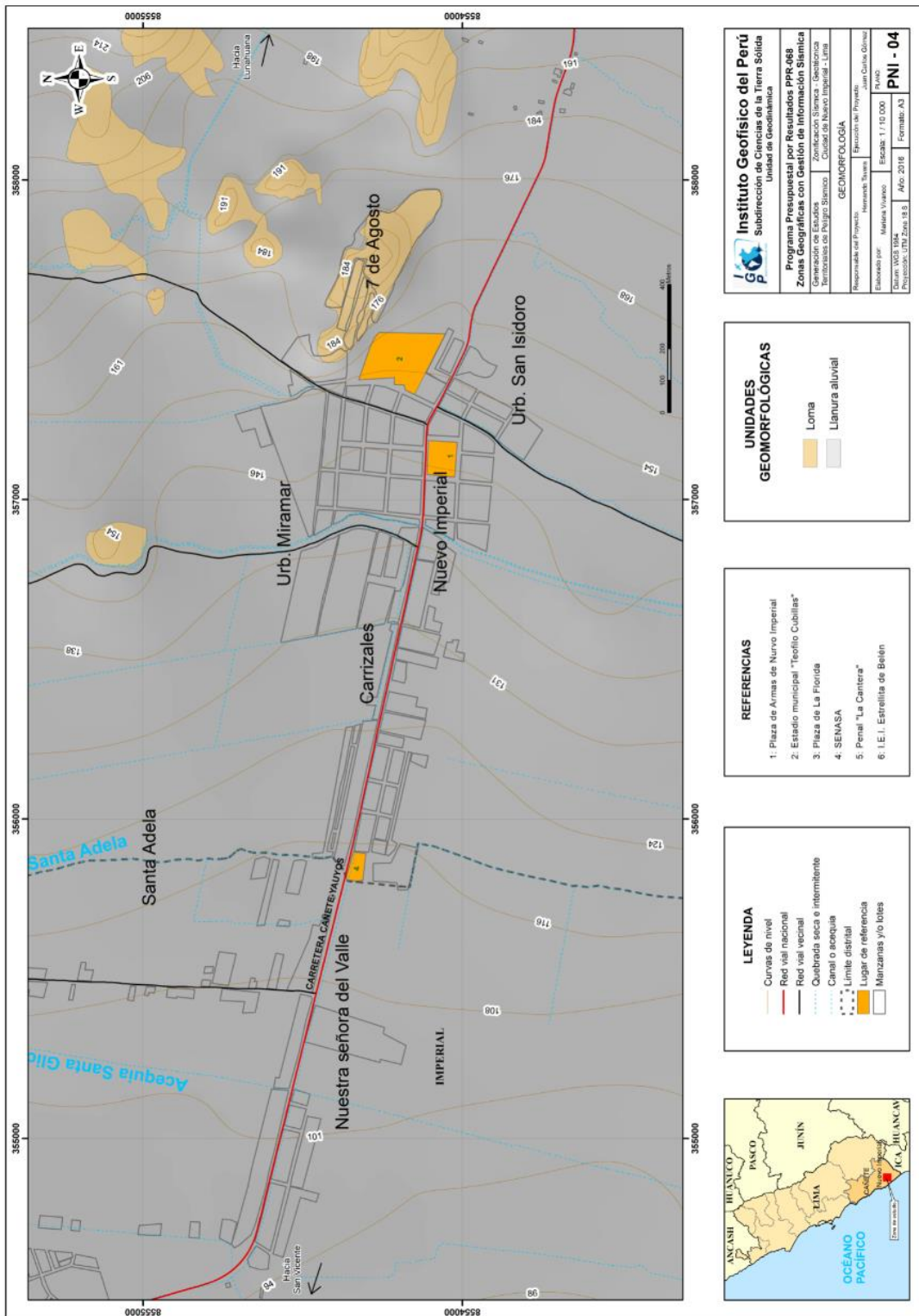


Figura 4: Mapa geomorfológico para la ciudad de Nuevo Imperial y alrededores

Llanura aluvial: Esta unidad geomorfológica de origen depositacional presenta una pendiente $<5^\circ$, así como una geometría irregular y drenaje irregular. La unidad abarca el 80% de la zona en estudio (Figura 5). Esta geoforma es producto de la dinámica de depositación de la quebrada Conta (Pócoto) ubicada aproximadamente a 7 km al norte de la ciudad de Nuevo Imperial. La llanura aluvial está conformada por materiales finos (limos y arcillas) y granulares (arenas y gravas).



Figura 5: Penillanura aluvial sobre el cual se asienta el 80 % de la población de la ciudad de Nuevo Imperial.

Loma: Esta unidad geomorfológica presenta pendientes $<35^\circ$, alturas <300 m, con una geometría alargada, drenaje dendrítico y un origen denudacional. Esta unidad abarca el 20% de la zona de estudio. Se han identificado lomas al noreste de la ciudad de Nuevo Imperial (Figura 6).

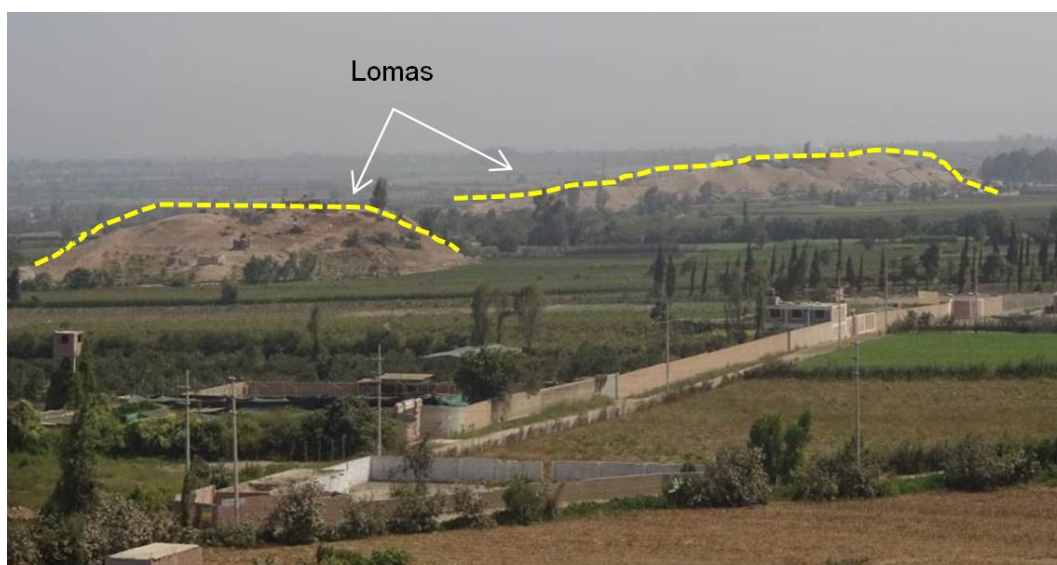


Figura 6: Lomas ubicadas aproximadamente a 600 m en dirección noroeste del casco urbano de la ciudad de Nuevo Imperial

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 templados, pero en climas ecuatoriales, las altas temperaturas y las precipitaciones pluviales contribuyen a su descomposición; es por ello que, es importante conocer los tipos de rocas y sus características físicas (Harvey, 1987). Estos procesos de meteorización, modelan tanto la roca como el suelo, dando como resultado las geoformas que componen el relieve, los factores condicionantes como la litología, pendiente, hidrología, etc; así como, los detonantes: sismos y precipitaciones pluviales ocasionan movimientos en masa (deslizamientos, flujos, caídas de rocas).

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

La geología comprende varias disciplinas, tales como la geología 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 de (INGEMMET, 1994) a escala 1:100,000. En esta, se describen las unidades litológicas aflorantes cuyas edades se encuentran desde el Cretáceo Inferior (145 Ma) hasta el Cuaternario Reciente.

3.1.1. Geología histórica

Según Salazar Díaz, 1993, la sedimentación epicontinental, en el Valanginiano (aproximadamente hace 139.8 millones de años (Ma) las transgresiones y regresiones fueron de forma continua, comportándose como un mar somero con aporte de sedimentos provenientes de zonas positivas.

La formación Chilca, cuyos afloramientos se evidencian en la zona costera son producto de la transgresión marina (aproximadamente hace 113.0 Ma) con una fase de actividad volcánica intercalada en unidades fosilíferas de ambiente nerítico (línea de marea baja y la terminación de la plataforma continental), esto se interpreta que al inicio hace 113.0 Ma (inicios del Albiano) hubo una subsidencia general de la cuenca, dando lugar a la formación Chilca y Grupo Imperial en la zona costanera.

En la transgresión del Albiano superior (aproximadamente hace 113.0 Ma) señala la depositación de facies marina poco profunda y ambiente reductor, a lo que sucedió la transgresión del mar Jumasha en la zona de la cuenca y al Grupo Quilmaná a lado occidental de la cuenca, asociado a la actividad volcánica (cuellos volcánicos) y flujos de lava con intercalaciones de unidades sedimentarias.

A fines del Neógeno y principios del Cuaternario (2.5 Ma), que acompañó al levantamiento de la cordillera. La zona costera fue controlada por fallas regionales que dieron origen a la fisiografía y desarrollo del litoral. A partir de entonces, la erosión modeló la superficie dando forma al relieve actual.

3.2. Geología estructural

Los eventos de deformación y metamorfismo produjeron el plegamiento de las estribaciones andinas y fallamientos en bloques evidenciados en esta parte de la costa.

A continuación, se detallan las estructuras resultantes de dichos eventos geológicos:

Zona de plegamientos: La deformación asociada a esfuerzos de compresión esta manifestada en los plegamientos existentes en la Cordillera Occidental interrumpidos por cuerpos intrusivos que forman parte del Batolito de la Costa. En la zona de estudio y alrededores de la ciudad de Nuevo Imperial no se han evidenciado dichas estructuras, sin embargo, se hace una descripción de estas reconocidas y cartografiadas en el cuadrángulo regional.

Zona de fallas: Las fallas geológicas pueden afectar grandes extensiones de paquetes de rocas y materiales, cambiando la geomorfología de la superficie pudiendo alterar el curso de los ríos.

Salazar (1993), según la geometría de las Estructuras Andinas, la zona de estudio, está determinada por la Zona I, esta comprende la unidad volcánica-sedimentaria de la faja costanera con deformación relativamente suave, el batolito de la costa sigue una alineación paralela al litoral el cual correspondería a una zona de falla longitudinal de orientación noroeste-sureste. Esta zona se caracteriza por un conjunto de rocas sedimentarias y volcánicas del Cretáceo inferior a superior afectadas por la “Fase Tectónica Peruana” y en menor grado por las “Fases tectónicas Andinas”, los sinclinales y anticlinales son abiertos, con buzamientos suaves y moderados, entre ellos destaca: El anticlinal de Imperial, los anticlinales y sinclinales en el sector este de las lomas de Quilmaná y sinclinal de Chilca, el cual parece guardar relación con el sinclinal de Mala.

La zona costera en la zona de estudio se presenta afectada por un sistema de fallas longitudinales que guardan paralelismo a la costa y fallas transversales que interrumpen la secuencia estratigráfica o desplazan cuerpos del batolito y su propagación norte-sur, estas fallas siguen aproximadamente el curso principal de los ríos y quebradas, esta tiene orientación que varían de norte a noreste, los efectos del fallamiento se observan en el borde litoral. La Zona I está afectada por un fallamiento en bloques.

En la ciudad de Nuevo Imperial no se ha evidenciado estas estructuras por la escala de trabajo realizada (1:10 000).

3.3. Geología local

Las unidades litológicas aflorantes en la ciudad de Nuevo Imperial han sido cartografiadas a escala 1:15,000, abarcando un área de 16 km² aproximadamente, ver Figura 7 y la Tabla 4 describe estas unidades.

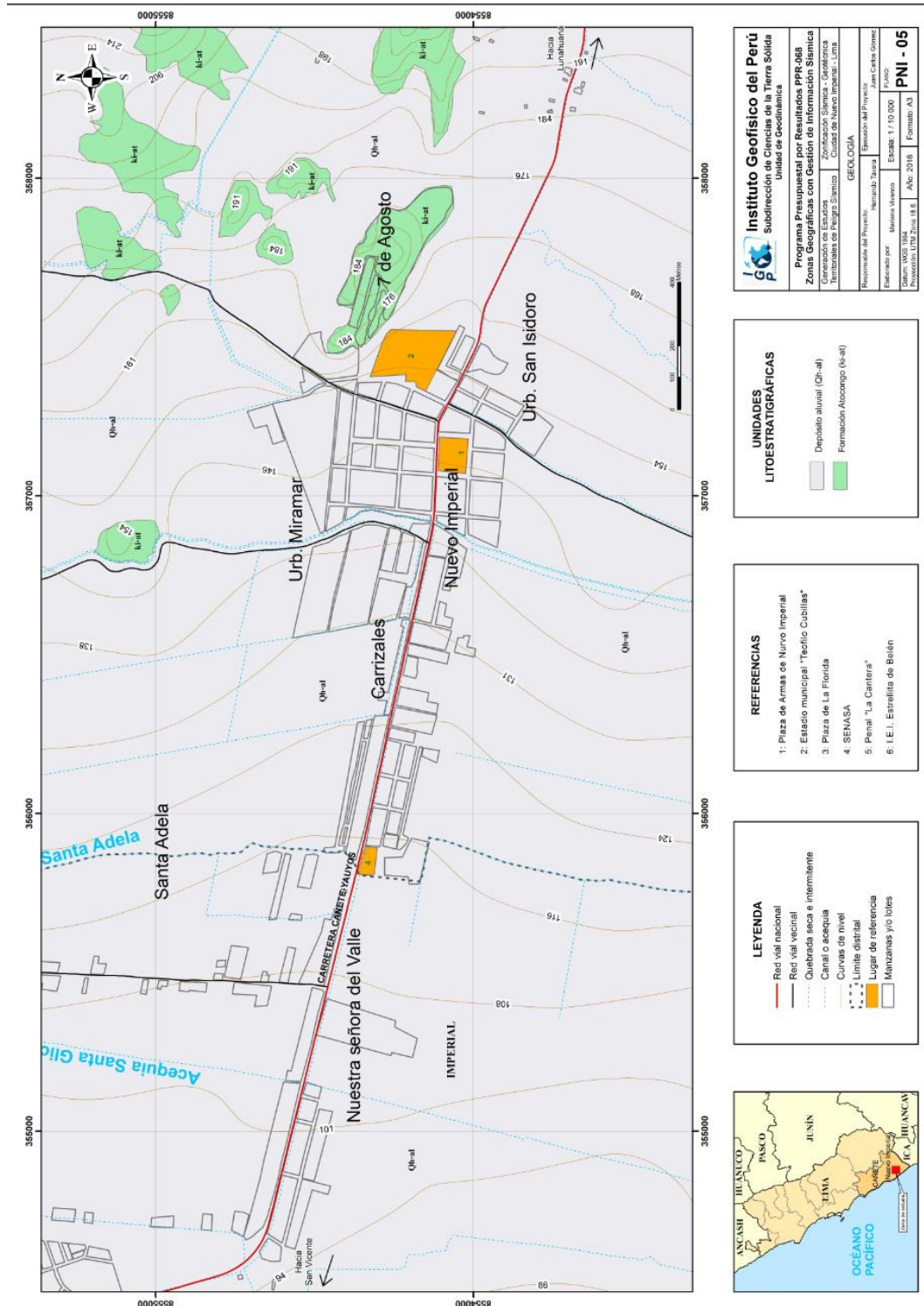


Figura 7: Mapa de geología local para la ciudad de Nuevo Imperial y alrededores.

Tabla 4: Columna cronolitoestratigráfica de la zona de estudio.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	SÍMBOLO	LITOLÓGÍA
CENOZOICA	CUATERNARIO	HOLOCENA	DEPÓSITO ALUVIAL	Qh-al	GRAVAS REDONDEADAS A SUB REDONDEADAS CON MATRIZ ARENO LIMO ARCILLOSA
MESOZOICA	CRETÁCEO	INFERIOR	FORMACIÓN ATOCONGO	ki-at	CALIZAS INTERCALADAS CON LIMOLITAS Y ARENISCAS

Formación Atocongo: Consiste en calizas de color gris en capas gruesas con intercalaciones limolitas calcáreas y areniscas en capas delgadas. Esta formación aflora al noreste del casco urbano de la ciudad de Nuevo Imperial constituyendo las lomas (Figura 8).



Figura 8: Afloramiento de formación Atocongo en la colina Los Polvorines.

Depósitos Cuaternarios: Suprayaciendo al sustrato rocoso, conformado por rocas volcanoclásticas (calizas intercaladas con areniscas) se encuentran los depósitos Cuaternarios de edad Holocena, principalmente aluvial, los que se describen a continuación:

Depósitos aluviales (Qh-al): Conformados por conglomerados (gravas, arenas, limos y arcillas) y sobre este tipo de material, está asentado la ciudad de Nuevo Imperial: casco urbano y alrededores (áreas de cultivo), es la unidad de mayor extensión (80%) (Figura 9).



Figura 9: Limos y arenas sobre los cuales se asienta la zona urbana de la ciudad de Nuevo 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) 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 10), los cuales se dividen según su origen en: fluvio-aluvial e hidro-gravitacional, descritos a continuación:

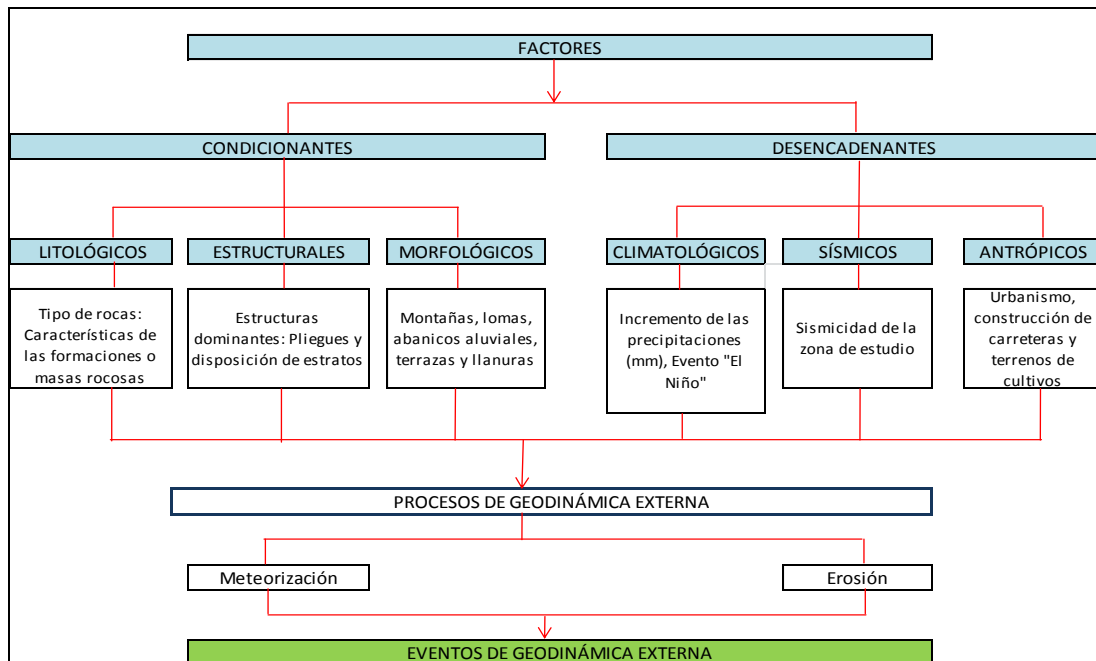


Figura 10: Factores asociados a procesos de geodinámica externa que contribuyen a la ocurrencia de eventos geodinámicos.

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 (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 11).

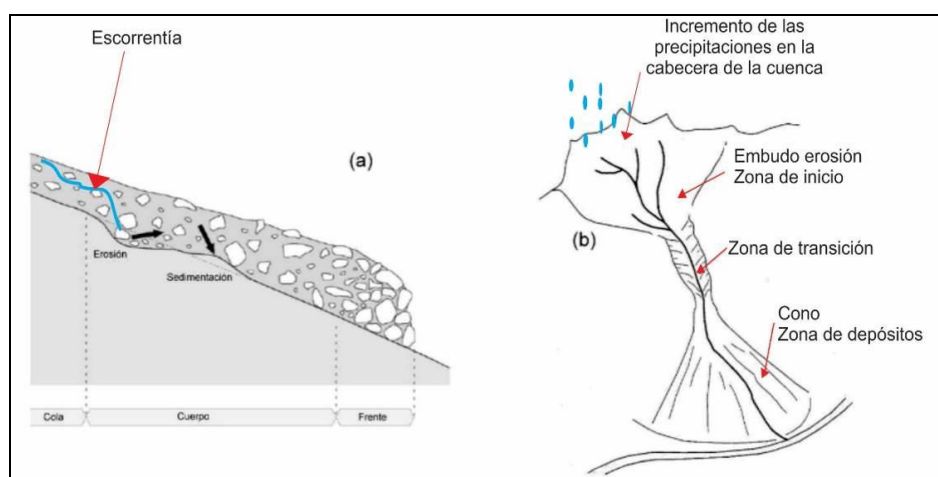


Figura 11: a) Proceso de erosión por las aguas de escorrentía y acumulación de material. b) Vista frontal de la cuenca y desarrollo del evento en cabecera de la cuenca por incremento de las precipitaciones, zona de transición (zona de almacenamiento de material y la depositación del material), modificado 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) que sufren una crecida (avenida) transitoria del caudal (Figura 12).

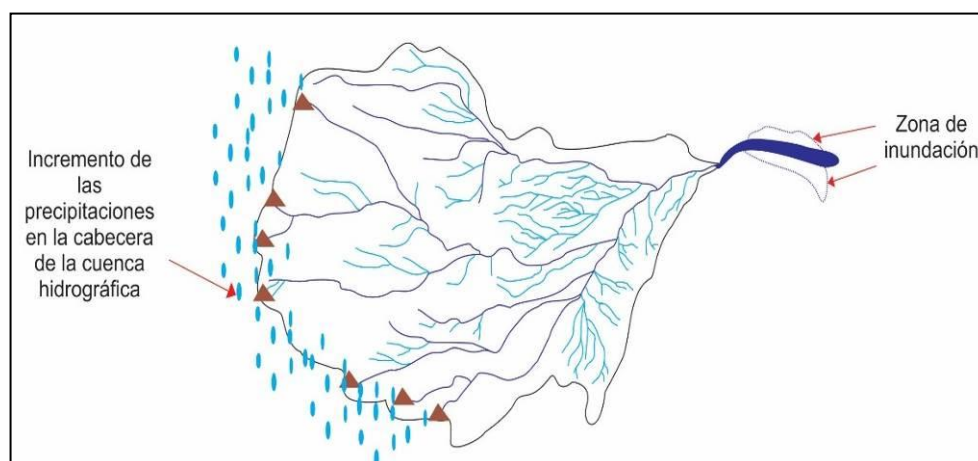


Figura 12: Inundación por incremento de las precipitaciones en la cabecera de la cuenca hidrográfica.

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

b) Hidro-gravitacional: 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), las cuales se basan en dos elementos:

El tipo de movimiento (caída, volcamiento y deslizamiento) y el material ya sean rocas y/o 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 13).

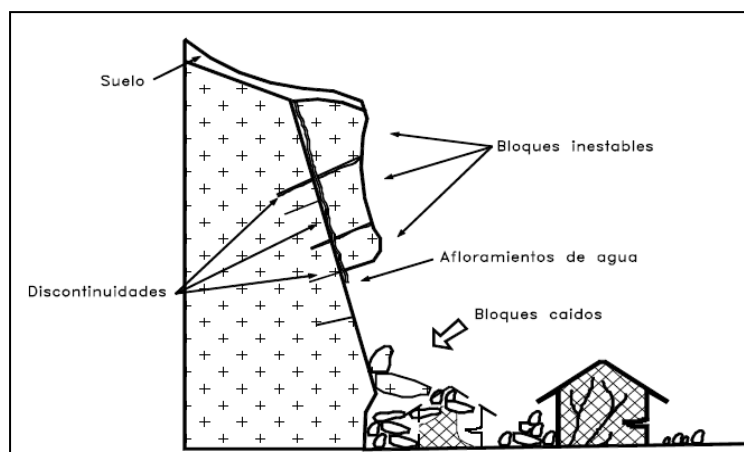


Figura 13: Proceso de caída de rocas (Suárez 1998).

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 14).

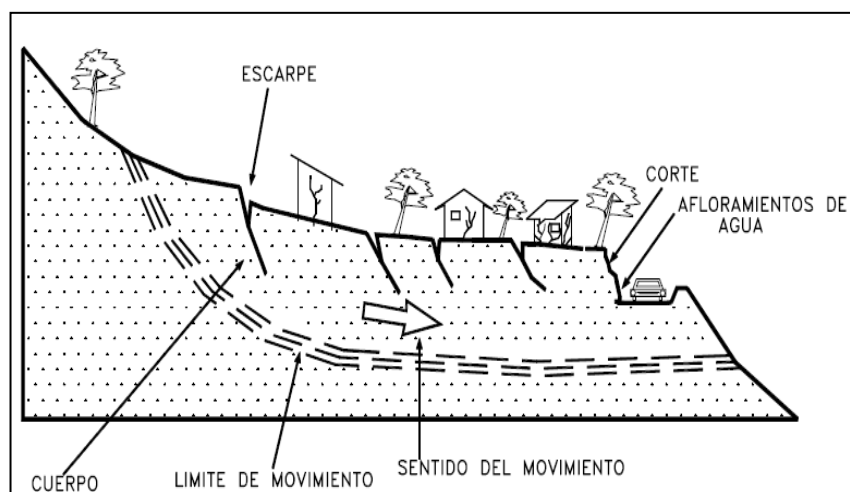


Figura 14: Deslizamiento en laderas (Juárez 1998).

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 en 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 Nuevo Imperial, no se han evidenciado la presencia de eventos geodinámicos de origen natural que puedan afectar la seguridad física de la población. Sin embargo, se ha identificado inundaciones por el desbordamiento de las acequias que rodean y atraviesan el área de estudio. Si se produjese este escenario, las viviendas y/o edificaciones públicas (colegio Augusto B. Leguía) asentadas en las inmediaciones del cauce serían afectadas.

Las acequias que atraviesan el área de estudio reciben el nombre de “canal viejo” (Figura 15) y “canal del Jirón Aljovín” (PNUD, 2002).

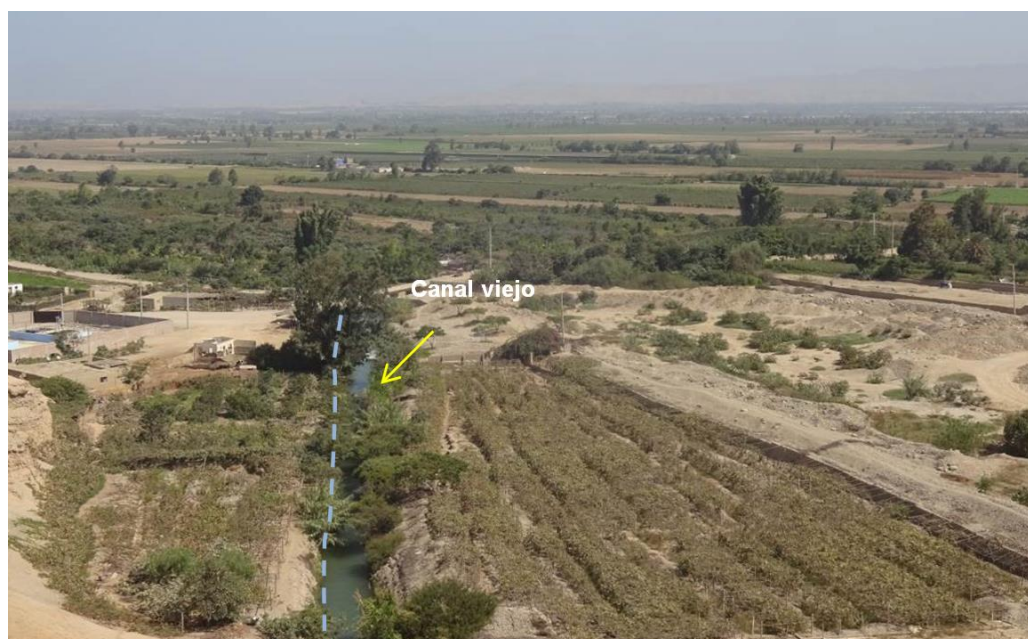


Figura 15: Acequia denominada “canal viejo”, sin revestimiento, genera indirectamente la infiltración del agua en el subsuelo provocando una saturación en los mismos (zona potencial a licuación de suelos) y ante un eventual aumento del caudal, se desbordaría ocasionando la inundación de cultivos.

4.3. Zonas susceptibles a procesos geodinámicos externos

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: 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).

a) Zonas susceptibles ante inundaciones: En la ciudad de Nuevo Imperial las inundaciones pueden ser producidas por el desbordamiento de las acequias. Aquí se identificó que el área afectada, producto de estas, ocuparía un radio de 100 metros (Figura 16), lugar donde se asientan viviendas e incluso se vería afectado un tramo de la carretera Cañete-Yauyos.



Figura 16: Área de inundación (delimitación con circunferencia de color celeste) por desborde de acequia.

5. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

Los suelos son materiales inconsolidados conformados por minerales, materia orgánica, agua y aire entre sus poros, que se generan a partir de la alteración de la roca madre por agentes atmosféricos, erosionándola y formando una cobertura de variado espesor de sedimentos, que posteriormente han sido transportados y redepositados en las partes bajas de las cuencas hidrográficas, sobre los cuales se asientan las áreas urbanas. En geotecnia para clasificar los tipos de suelos se hace uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) para determinar las características granulométricas, mientras que, la capacidad de carga admisible de los materiales (arcillas, limos, arenas, gravas y clastos) se encuentra condicionada a las características litológicas de las rocas pre-existentes y la dinámica con que fueron depositados. En el diagrama líneas abajo se indica el origen de los suelos (Figura 17).

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.

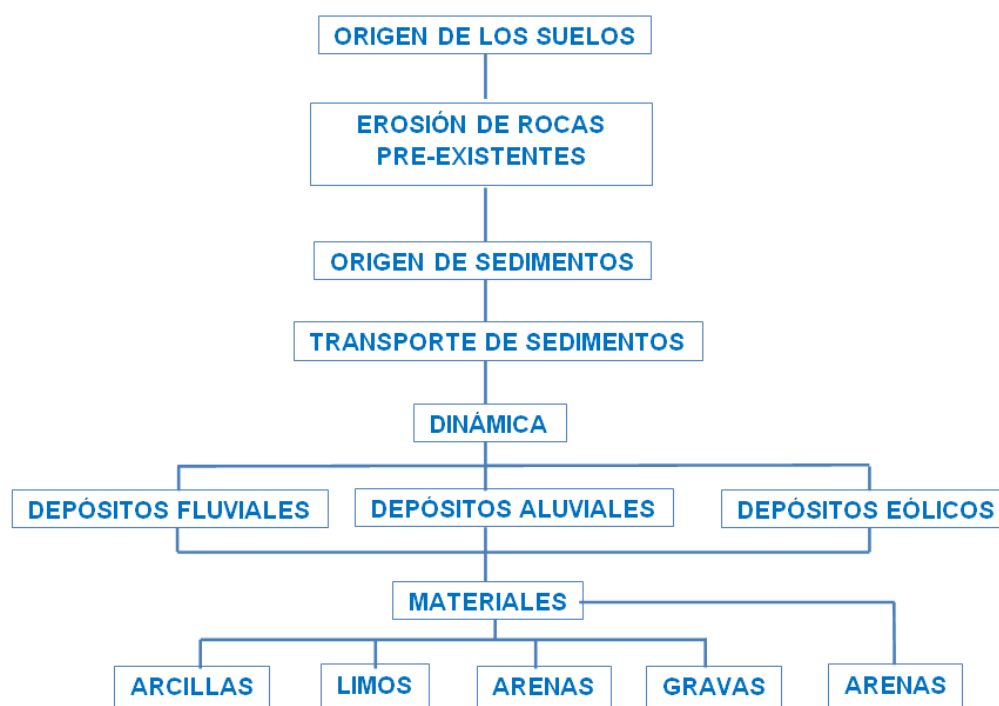


Figura 17: Diagrama del origen de los suelos.

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 Nuevo Imperial, se realizó un estudio geotécnico que consistió en la elaboración de calicatas, densidad de campo, posteos y ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) (Figura 17).

Para las calicatas se extrajeron ocho (8) muestras de suelo a fin de realizar ensayos de mecánica de suelos como: granulometría, plasticidad, corte directo y cálculo de la capacidad de carga admisible.

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

Es un método de exploración directo que consiste en realizar una excavación en el terreno para la observación del suelo. Estas exploraciones se realizaron hasta aproximadamente 3.00 m. de profundidad para describir los estratos que lo conforman, así como, extraer muestras para la realización de ensayos y análisis. Las calicatas son realizadas con maquinaria (retroexcavadora) o de forma manual.

Reconocimiento de la zona de estudio: Se realizó el análisis visual de las características del terreno, accesibilidad y lugares apropiados las exploraciones se realizaron en puntos distribuidos de manera uniforme en la ciudad de Nuevo Imperial.

Excavaciones: Se realizaron con las siguientes dimensiones: 1.5 x 1.5 m. y una profundidad aproximadamente de 3.00 m., en promedio.

Muestreo: Considera el proceso de extracción de dos muestras alteradas de suelo para la identificación y para determinar las propiedades de resistencia del suelo.

Descripción de calicatas: Una vez terminada la excavación de la calicata, se procede a describir el perfil estratigráfico del subsuelo elaborado fichas que se adjuntan en los Anexos. Las excavaciones fueron realizadas en puntos cuyas coordenadas UTM se detallan en la Figura 18 y Tabla 5.

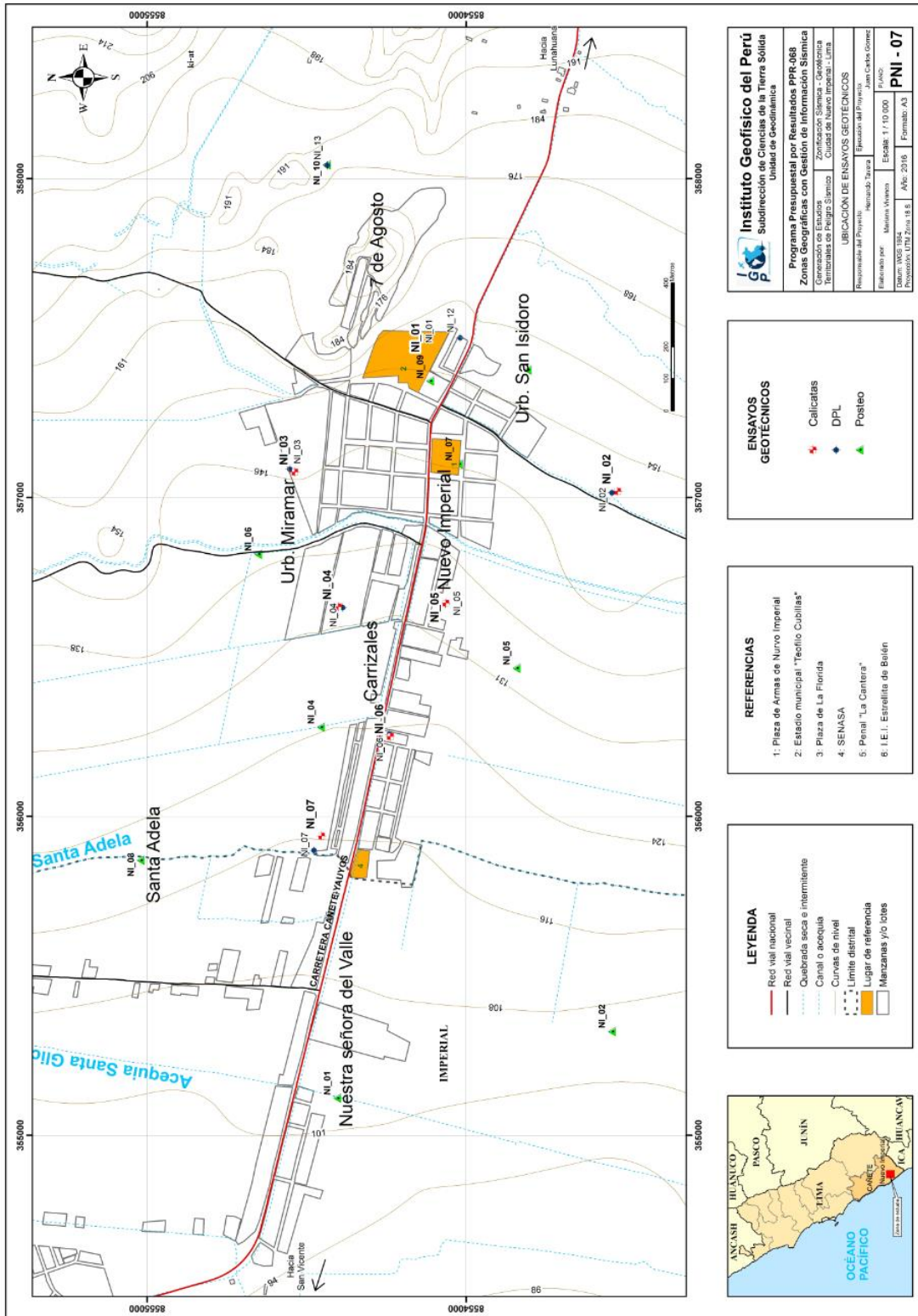


Figura 18: Mapa de distribución de calicatas, posteos y DPL en la ciudad de Nuevo Imperial y alrededores

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)
NI_01	357433	8554124	178	2.80	N.P
NI_02	357020	8553525	170	2.70	N.P
NI_03	357080	8554537	166	3.00	N.P
NI_04	356658	8554401	152	3.40	N.P
NI_05	356669	8554064	156	3.10	N.P
NI_06	356251	8554238	137	4.00	N.P
NI_07	355939	8554453	136	3.00	N.P
NI_08	355534	8555743	128	3.20	N.P

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

Este método permite conocer la densidad 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. El objetivo es obtener la relación entre la masa y el volumen que ocupa la arena del cono (arena calibrada).

En cada estrato muestreado se debe llevar a cabo un ensayo de densidad de campo, haciendo uso del método del cono de arena a fin de obtener el grado de compactación o consistencia y el contenido de humedad del suelo en condiciones naturales; y en otros casos para obtener el grado de compactación. Esta información es necesaria para desarrollar los ensayos de corte directo, sin embargo, este ensayo no es aplicable en suelos que contengan cantidad excesiva de roca o materiales gruesos de diámetro mayor a 1 ½ pulgada (38 mm), así como en suelos saturados; sino más bien, en suelos que presentan cierta cohesión, tales como: arenas limosas y arenas arcillosas con contenido de gravas inferiores a 38 mm de diámetro.

El procedimiento de campo incluyó las siguientes actividades:

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

Extracción de muestras: El suelos extraídos del agujero elaborado anteriormente y su pesado.

Posicionamiento del cono de arena: Una vez pesado sobre la placa, se espera hasta que este 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 presentan los resultados obtenidos para las seis calicatas, debido a que, los dos restantes presentan gravas y materiales en los que no se puede conocer la densidad a través del método del cono de arena. Las fichas se adjuntan en los Anexos.

Tabla 6: Resultado de densidades in – situ

CALICATA	MUESTRA	PROFUNDIDA D (m)	DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³)	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)
NI-01	DC-NI-01	2.80	2.08	2.02
NI-02	DC-NI-02	2.70	–	–
NI-03	DC-NI-03	3.00	1.98	1.94
NI-04	DC-NI-04	3.40	1.84	1.82
NI-05	DC-NI-05	3.10	–	–
NI-06	DC-NI-06	4.00	1.66	1.62
NI-07	DC-NI-07	3.00	1.67	1.63
NI-08	DC-NI-08	3.20	1.69	1.60

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

En base a los valores definidos en la Tabla 7, se conoce que, los suelos en la ciudad de Nuevo Imperial, presentan rangos de densidad entre 1.66 – 2.08 gr/cm³; es decir, medio denso a denso, debido a que sus suelos están conformados por arenas y gravas; a excepción de los suelos de la calicata (NI-02 y NI-05) que están conformadas por suelos tipo gravas.

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

Se define posteadora como un barredor manual en forma de “T” que permite obtener muestras de suelos mediante sondeos exploratorios (perforaciones) en suelos blandos (arcillas y arenas) hasta una profundidad de 5 a 6 m. Las muestras extraídas se obtienen trituradas y completamente alteradas; sin embargo, sirven para 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 (La cuchara saca muestras, se entranpan con este tipo de suelos) por corresponder a suelos densos a muy densos.

Procedimiento: La posteadora penetra al subsuelo, desde la superficie, de tal manera que se gira manualmente el equipo ejerciendo presión sobre el suelo y 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 Nuevo Imperial. En la Tabla 8, se muestran los resultados obtenidos y para detalle, en los Anexos se presentan las fichas.

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

POSTEO	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE SUELOS (SUCS)	NIVEL FREÁTICO (m)
NI_01	355115	8554404	115	0.70	SP	N.P
NI_02	355324	8553543	123	0.90	SP	N.P
NI_03	355861	8555020	130	0.60	SP	N.P
NI_04	356278	8554455	142	0.40	SP	N.P
NI_05	356463	8553842	153	0.70	SM	N.P
NI_06	356820	8554652	160	0.40	SP	N.P
NI_07	357103	8554023	167	0.30	SP	N.P
NI_08	357398	8553807	182	0.60	SP	N.P
NI_09	357363	8554113	175	0.50	SM	N.P
NI_10	358041	8554437	191	1.50	SP	N.P

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.

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.

Se hace mención que, este tipo de ensayo es aplicable en terrenos arenosos, areno-arcillosos y limo arenoso, no recomendable a utilizarlo en gravas, fragmentos gruesos, conglomerados y terrenos rocosos. 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 Nuevo Imperial. Los datos obtenidos en cada ensayo (número de golpes y ángulo de fricción), se

realizó para 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 luego conocer la capacidad portante. La ficha del ensayo se adjunta en los Anexos.

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

DPL	ESTE (m)	NORTE (m)	ELEVACIÓN (m)	PROFUNDIDAD (m)	NUMERO DE GOLPES (0.90 -1.20)	ϕ
NI_02	357015	8553543	166	1.30	36-35	37.3
NI_03	357089	8554552	164	2.40	26-27	35.2
NI_04	356655	8554387	150	1.30	23-44	39.5
NI_05	356667	8554065	159	1.50	28-37	37.7
NI_06	356258	8554241	154	1.60	28-34	37.0
NI_07	355894	8554477	137	1.50	23-29	35.7
NI_08	355543	8555746	125	2.60	15-18	32.7
NI_09	358042	8554436	191	2.10	oct-45	39.7

En los ensayos se ha logrado alcanzar una profundidad máxima de 2.60 m y mínima de 1.30 (NI_08 y NI_04) debido a la presencia de suelos granulares, conformados por gravas y arenas de grano grueso con alta resistencia a la penetración.

5.4.1. 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 hincia y el 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: 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.

5.4.2. 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 y Osaki (1959); Muromachi (1974); Peck (1974); Das (1995) y Katanaka - Uchida (1996). Para el caso de la ciudad de Nuevo Imperial, se empleó la relación experimental propuesta por Osaki (1959), debido a que es la más usada internacionalmente (Tabla 10).

Tabla 10: Cálculo del ángulo de fricción interna, usando valores del SPT

ENSAYO	N _{SPT} CORREGIDO	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA (ϕ'_{NSPT})	N _{SPT} CORREGIDO	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA (ϕ'_{NSPT})
DPL 02	22.74	36.3	-	-
DPL -03	26.13	37.9	19.11	34.6
DPL -04	29.03	39.10	-	-
DPL -05	25.64	37.6	25.4	37.5
DPL -06	25.16	37.4	24.19	37.0
DPL -07	18.87	34.4	18.14	34.0
DPL -08	12.82	31.0	14.03	31.8
PROFUNDIDAD DEL ENSAYO	1.00 – 1.20 m		1.30 - 1.50 m	

Tabla 11: Compacidad relativa de los suelos y ángulo de fricción interna en base al N_{SPT} (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 Nuevo Imperial son arenas con contenido de gravas, el ángulo de fricción está en el rango de 31.0° a 39.10° para 1.00 m. y 1.20 m., de profundidad; por tanto, los suelos presentan compacidad relativa media a compacta; mientras que, para una profundidad de 1.30 m -1.50 m., el ángulo de fricción varía de 31.8° a 37.5°, y compacidad relativa media.

Finalmente, en los anexos se adjunta las fichas resumen de cada uno de los ensayos realizados en campo y sus respectivos valores de ángulo de fricción interna (Figura 19).

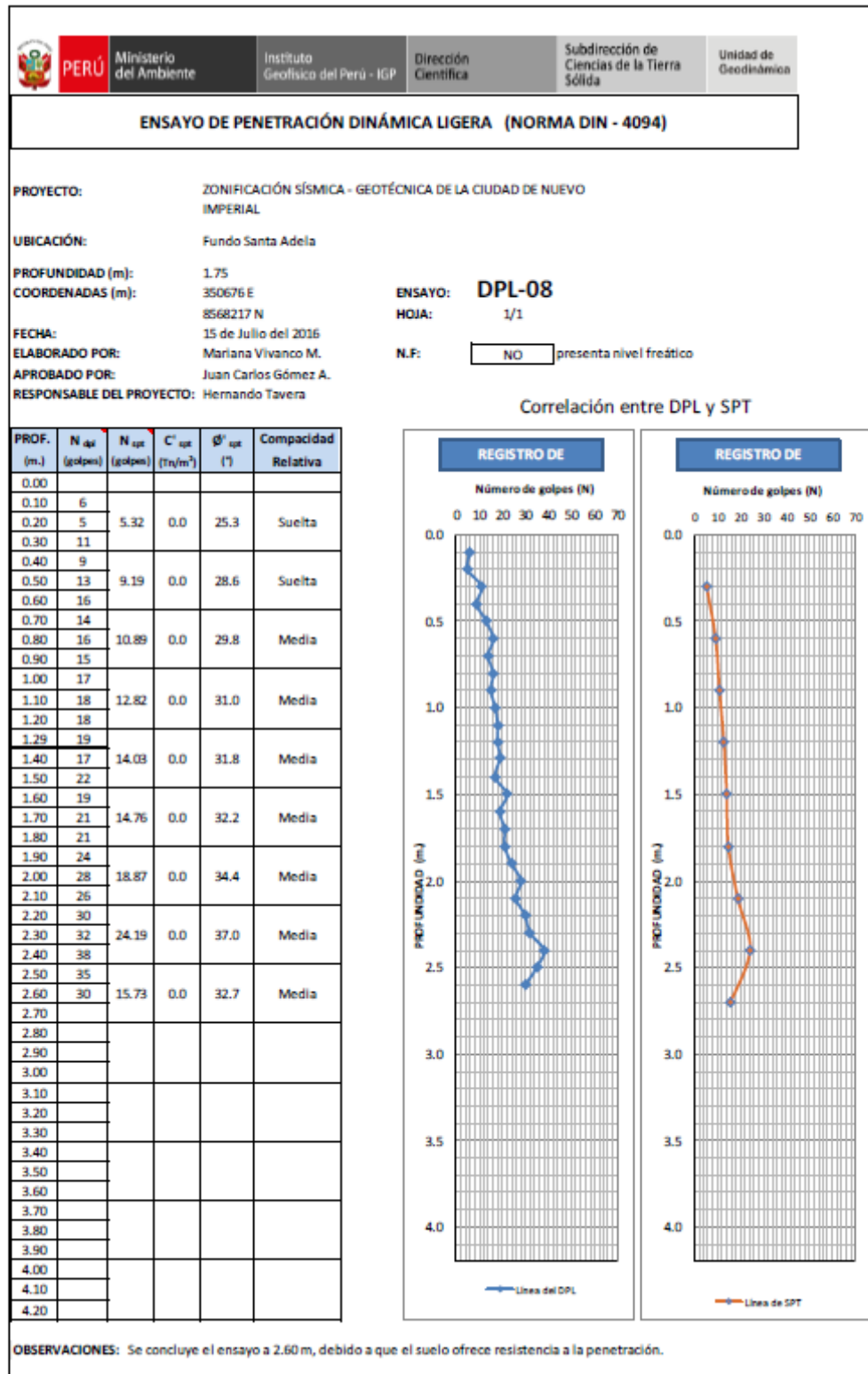


Figura 19: Diagrama de correlación entre el número de golpes del DPL y el número de golpes del SPT y el cálculo de ángulo de fricción interna.

5.5. Clasificación SUCS para Suelos

En base a la información geotécnica de calicatas, posteos y DPL, realizados en la ciudad de Nuevo Imperial; así como los resultados obtenidos de los ensayos granulométricos, plasticidad han permitido identificar de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), la existencia de 3 tipos de suelos detallados en la Tabla 12 y Figura 20.

-Suelo tipo GP: Están conformados por gravas mal graduadas y contenido de humedad de 1.63% a 3.82%. Corresponde a suelos con grado de compactación bajo y no presentan plasticidad debido a la presencia de materiales finos. Este suelo representa el 30% del área de estudio y se ha identificado en la Urbanización San Agustín y camino hacia Cerro Libre (sureste de Nuevo Imperial).

-Suelo tipo SP: Están conformados por arenas mal graduadas y contenido de humedad de 2.36% a 3.68%. Corresponde a suelos con grado de compactación bajo e índice de plasticidad bajo de 3.45% a 1.67%. Estos suelos representan el 50 % del área de estudios y se han identificado en las calicatas NI-01, NI-03, NI-05, NI-07 y NI-08: Estadio Municipal Teófilo Cubillas, urbanizaciones Augusto B. Leguía, Virgen de la Puerta, Los Eucaliptos y Fundo Santa Adela.

-Suelo tipo SC: Están conformadas por arena arcillosa con grava y contenido de humedad de 15.49%. Corresponde a suelos con grado de compactación media e índice de plasticidad de 13.9%. Estos suelos ocupan el 20% del área de estudio y se han identificado en la calicata NI-06, esta se ubica en el casco urbano de la ciudad de Nuevo Imperial

5.6. 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).

Tabla 12: Clasificación SUCS de los suelos en la ciudad de Nuevo Imperial.

CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO (m)	GRAVAS % (>4.76 mm)	ARENAS %(>0.0074m m, <4.76mm)	FINOS % (>0.074%)	LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO (%)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	CLASIFICACIÓN SUCS	DENOMINACIÓN
NI-01	2.8	NP	29.20	63.60	7.19	-	-	-	2.36	SP	Arena pobremente graduada
NI-02	2.7	NP	49.00	43.00	8.06	-	-	-	3.82	GP	Grava pobremente graduada
NI-03	3	NP	40.7	48.7	10.64	-	-	-	2.8	SP	Arena pobremente graduada
NI-04	3.4	NP	66.3	29.3	4.42	-	-	-	1.63	GP	Grava pobremente graduada
NI-05	3.1	NP	17.07	66.03	14.9	25.45	22.00	3.45	3.68	SP	Arena pobremente graduada
NI-06	4	NP	32.5	35.4	32.1	44.3	30.5	13.9	15.49	SC	Arena arcillosa con contenido de grava
NI-07	3	NP	22.1	70.10	7.88	-	-	-	2.62	SP	Arena pobremente graduada
NI-08	3.2	NP	41.8	47	11.22	18.32	16.65	1.67	3.2	SP	Arena pobremente graduada

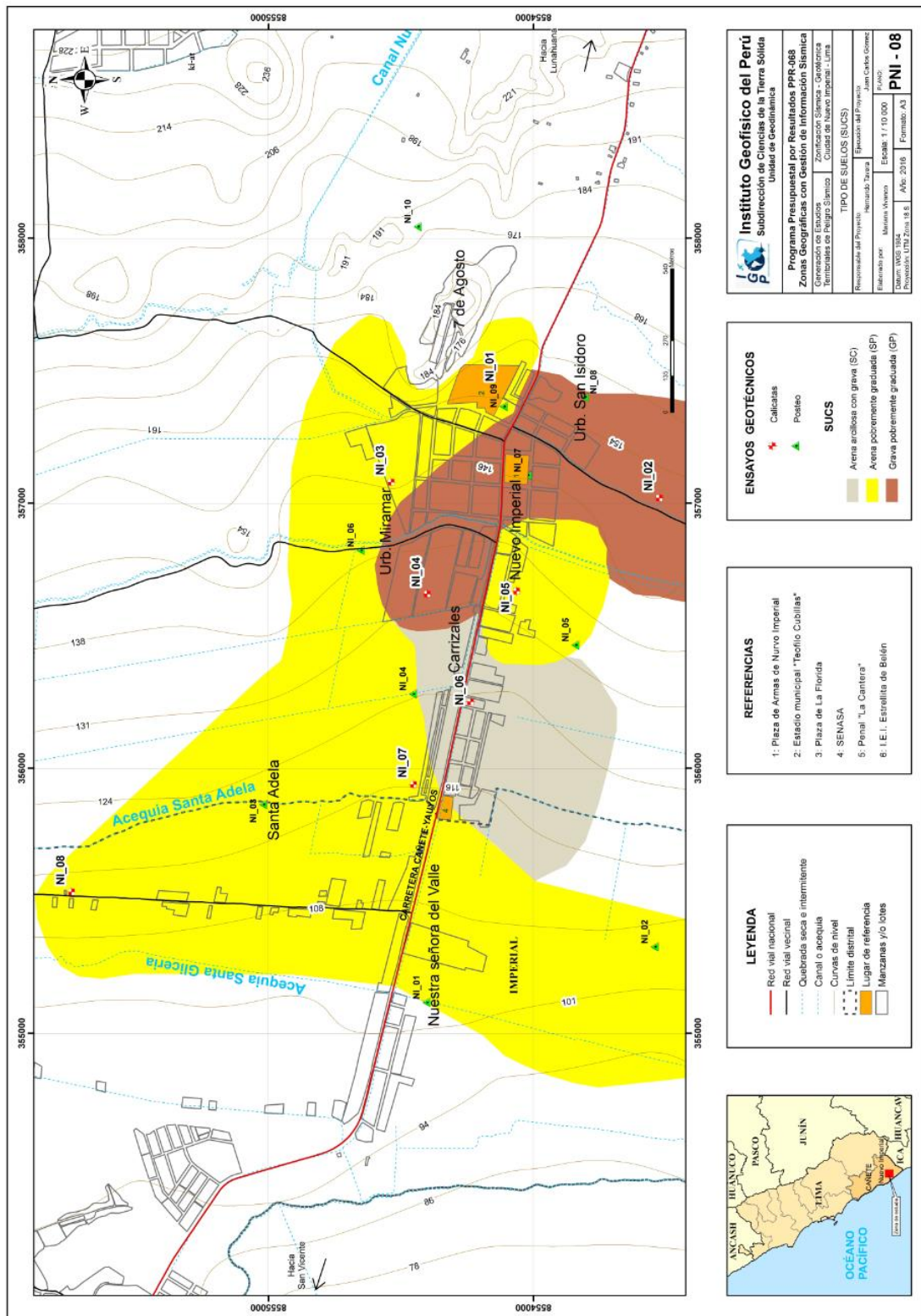


Figura 20: Mapa de clasificación SUCS para los suelos de la ciudad de Nuevo Imperial y alrededores.

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 (P_v) y luego una carga horizontal (P_h) creciente que origina el desplazamiento de la mitad móvil de la caja originando el corte de la muestra.

Los resultados obtenidos con los ensayos de corte directo se detallan en la Tabla 13.

Tabla 13: Valores obtenidos del ensayo de corte directo.

MUESTRA	Ángulo de fricción interna del suelo (ϕ)	Cohesión aparente del suelo (Tn/m^2)	Densidad natural (Tn/m^3)
NI-01	29	0.36	2.51
NI-02	–	–	–
NI-03	28.54	0.32	2.43
NI-04	–	–	–
NI-05	28.64	0.31	2.35
NI-06	26.63	0.04	1.56
NI-07	28.67	0.38	2.65
NI-08	28.51	0.37	2.57

De los resultados obtenidos anteriormente se evidencia que, la cohesión de los suelos en la ciudad de Nuevo Imperial es de 0.04 a 0.38 y los valores del ángulo de fricción interna son menores a 29° , característicos de suelos mixtos compuestos por arenas con limos arcillosos y gravas.

5.7. 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 que se encuentran establecidos por la relación entre la carga última y un factor de seguridad cuyo valor es de 3. (Norma Técnica Peruana para el Diseño de Cimentaciones E.050).

9.7.1 Carga última

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 N_{SPT} (ángulo de fricción y la cohesión), datos que se usaran con la fórmula general de Terzaghi (1943), a través de la siguiente expresión:

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

Donde:

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 (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 (qu) se calculó de 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 3 tipos de suelos identificados para la ciudad de Nuevo Imperial se presentan en la Figura 21 y las Tablas 15 y 16.

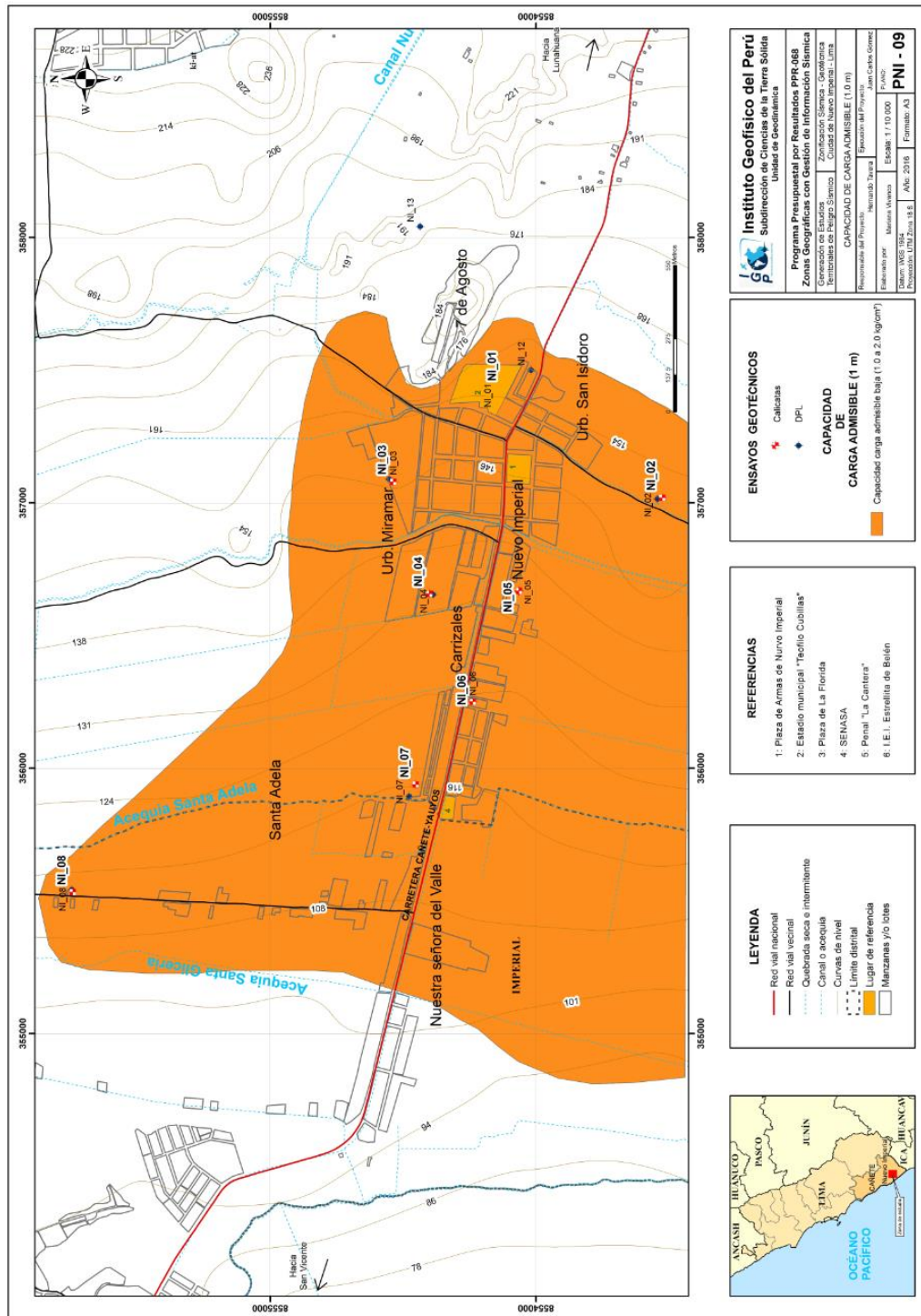


Figura 21: Mapa de capacidad de carga admisible para la ciudad de Nuevo Imperial y alrededores.

Tabla 15: Capacidad de carga admisible para suelos extraídos en la ciudad de Nuevo 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)
NI-01	3.10	1.10	4.05	1.15
NI -02	4.90	1.85	5.10	1.92
NI -03	3.25	1.12	4.10	1.15
NI -04	4.75	1.65	5.05	1.70
NI -05	3.01	1.05	3.90	1.15
NI -06	4.75	1.58	6.01	2.00
NI -07	3.12	1.52	4.03	1.62
NI -08	3.50	1.04	4.01	1.20
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad:1.00 m y ancho: 1.00		Profundidad:1.50 m y ancho: 1.00	

Tabla 16: Capacidad de carga admisible en base a los ensayos de DPL en la ciudad de Nuevo Imperial.

ENSAYO	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)
DPL- NI -01	-	-	-	-
DPL- NI -02	3.42	1.14	-	-
DPL- NI -03	3.63	1.21	4.89	1.63
DPL- NI -04	3.15	1.05	-	-
DPL- NI -05	3.06	1.02	4.16	1.39
DPL- NI -06	2.93	0.98	4.06	1.35
DPL- NI -07	2.94	0.98	4.09	1.36
DPL- NI -08	3.01	1.00	4.26	1.42
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad:1.00 m y ancho: 1.00		Profundidad:1.50 m y ancho: 1.00	

De los resultados obtenidos y considerando los valores de la Tabla 17, se ha determinado que la zona urbana de la ciudad de Nuevo Imperial presenta suelos con la siguiente capacidad de carga admisible:

Tabla 17: Rango 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

5.7.2. Capacidad de carga admisible baja

Comprende rangos de capacidad de carga admisible entre 1.00 - 2.00 kg/cm². Correspondiente a suelos arenosos (SP), areno arcillosos (SC), gravas mal graduada (GP), con grado de compactación bajo. Estos suelos se distribuyen en toda la ciudad de Nuevo Imperial.

5.8. Problemas Geotécnicos

Uno de los problemas de suelos que se presentan con frecuencia en la ciudad de Nuevo Imperial, es la licuación de suelos debido a la ocurrencia de eventos sísmicos. A continuación, se detalla su dinámica y el procedimiento para su determinación:

5.8.1. Licuación de suelos

Se define como la pérdida rápida de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos saturados debido al incremento súbito en las presiones de poros, bajo condiciones no drenadas y cargas cíclicas principalmente. (Pachon et al. 2000).

a) Análisis del potencial de licuación de suelos: Para determinar el potencial de licuación de suelos se debe definir la relación entre la resistencia cíclica (CRR) y el esfuerzo cíclico (CSR), el primero se define como la oposición que presenta un suelo ante la licuación y el segundo como la excitación o demanda sísmica de un determinado estrato de suelo.

Para el cálculo del esfuerzo cíclico se aplica la fórmula de Seed e Idris (1971):

$$CSR = \left(\frac{\tau_{sv}}{\sigma_{vo}} \right) = 0.65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right) r_d$$

Dónde:

a_{max} = Aceleración máxima para un sismo de diseño

g = Aceleración de la gravedad

σ_{vo} = Esfuerzo normal vertical respecto al suelo

σ'_{vo} = Esfuerzo normal vertical efectivo respecto al suelo

r_d = Coeficiente de reducción de esfuerzo, tomando en cuenta la deformabilidad del perfil del suelo

De acuerdo a Idriss 1991, r_d está dado por:

$$r_d = e^{[\alpha(z)+\beta(z)*M_w]}$$

Dónde:

$$\alpha(z) = -1.01 - 1.06 \cdot \sin \left[\left(\frac{z}{11.73} \right) + 5.133 \right]$$

$$\beta(z) = 0.106 + 0.118 \cdot \sin \left[\left(\frac{z}{11.28} \right) + 5.142 \right]$$

Mientras que, la resistencia del suelo se determinó en base a número de golpes del SPT (N_{SPT}) que fue correlacionado en el presente informe con los datos de campo tomados a partir del ensayo DPL que hayan pasado 1.00 m de profundidad. Datos que, se aplicaran en la siguiente formula:

$$CRR = \frac{1}{34 - N} + \frac{N}{13.5} + \frac{50}{[10N + 45]^2} - \frac{1}{200}$$

Dónde:

N = N corregido (N_1)₆₀

Finalmente, la relación entre la Resistencia del suelo (CRR) y el esfuerzo cíclico (CSR) brinda un factor de seguridad (FS), si este es menor a 1 ocurrirá licuación, en caso contrario no se presentará, según la siguiente relación:

$$FS = CRR/CSR$$

En conclusión, en la ciudad de Nuevo Imperial no se evidencio la presencia de niveles freáticos; por lo tanto, los procesos de licuación de suelos no es muy frecuente.

CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DE LA CIUDAD DE NUEVO 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. ADQUISICIÓN DE DATOS

- 2.1. Razones Espectrales (H/V)
- 2.2. Arreglos Lineales (MASW)
- 2.3. Tomografía Eléctrica (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 GEOFÍSICA – GEOTÉCNICA

- 4.1. Mapa de Zonificación Geofísica - Geotécnica

CONCLUSIONES

1. METODOLOGÍA

El estudio de Zonificación Geofísica - Geotécnica para el área urbana de la ciudad de Nuevo 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 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.

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

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

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

En la Figura 1, se muestra un ejemplo de registro de vibración ambiental (NI-046). Que recopila 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.

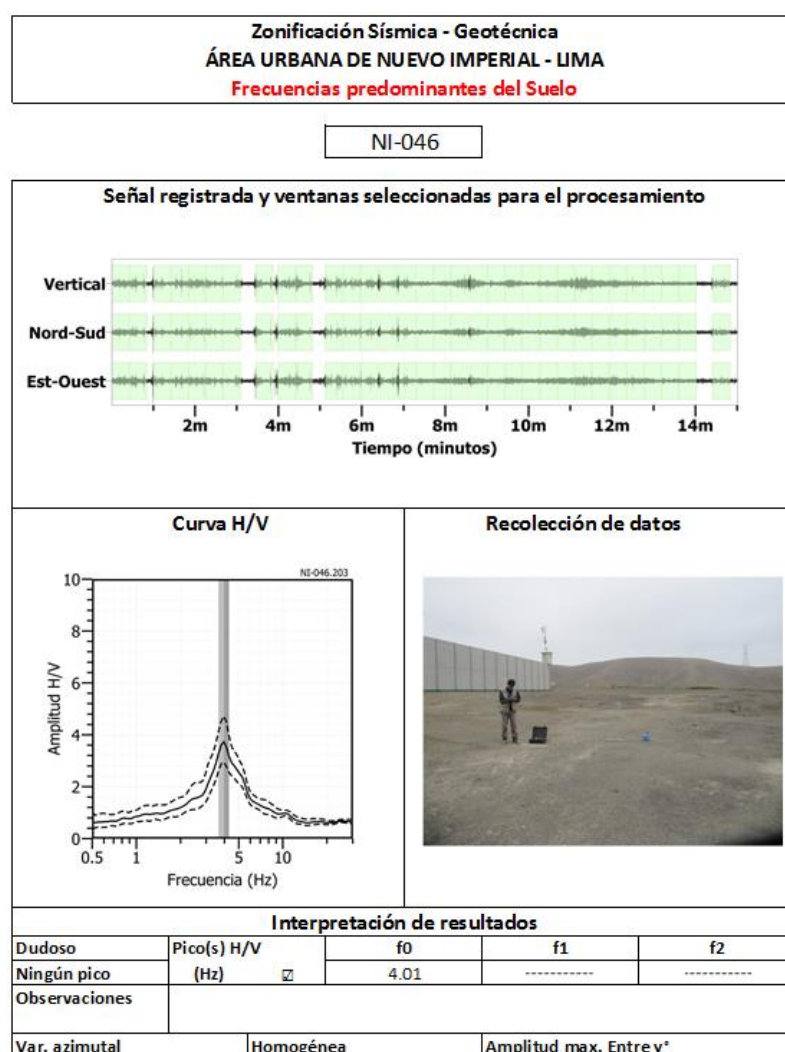


Figura 1: Ejemplo de la ficha H/V para el punto NI-046 en la cual se recopila la información registrada y analizada. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en línea discontinua y Abajo; resultados.

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)

La técnica de 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 Vs en el subsuelo, a partir del análisis de la dispersión de ondas superficiales (ondas Rayleigh), generados por una fuente de energía impulsiva y registrada por arreglos lineales de sensores sísmicos, tal como se muestra en la Figura 2.

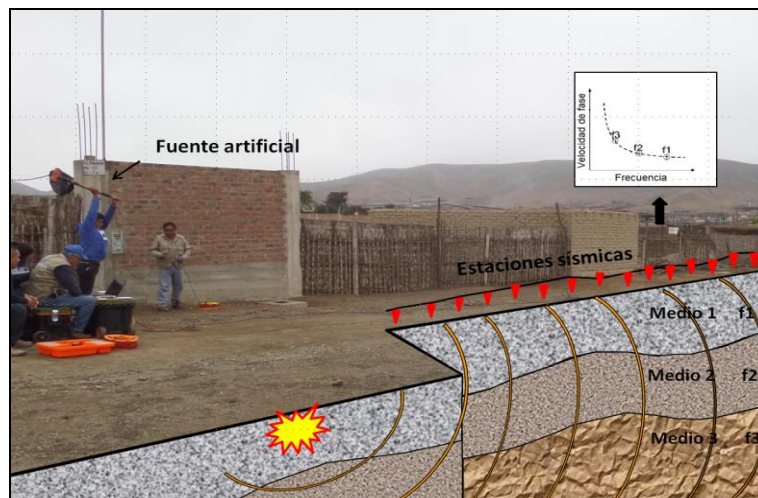


Figura 2: Generación de ondas Rayleigh con fuente artificial y su respectiva curva de dispersión.

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) en 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 a partir del arreglo MASW, La imagen de la izquierda muestra la curva de dispersión obtenida y de la derecha, muestra el perfil de velocidad de ondas de corte V_s (línea verde) que considera el promedio final de los perfiles obtenidos post inversión, los círculos de color verde 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.

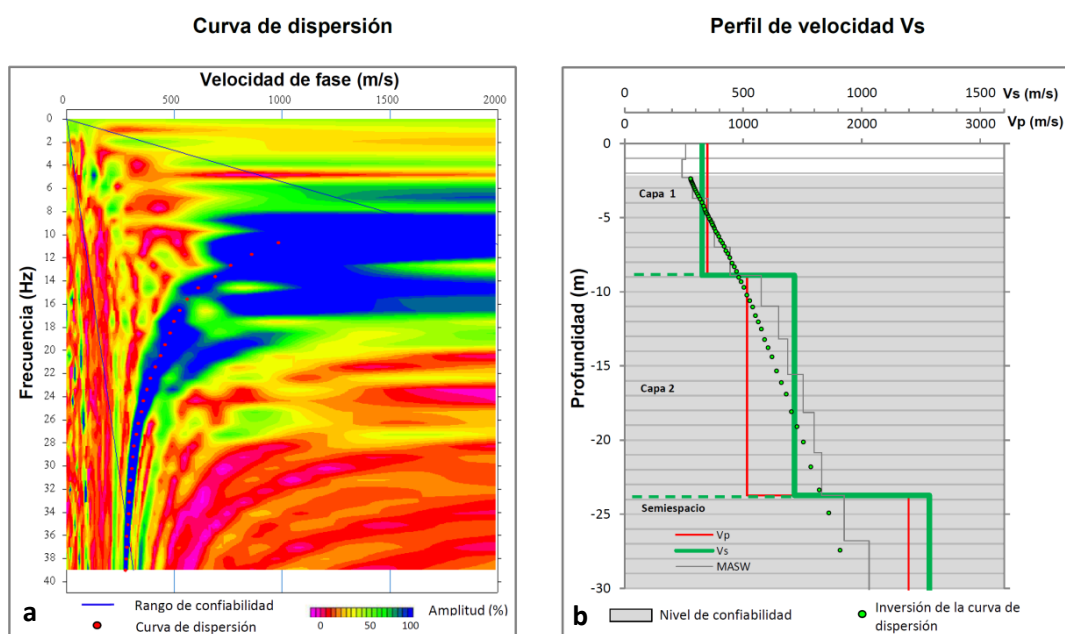


Figura 3: a) Curva de dispersión y b) perfil de velocidad obtenido a partir del ensayo realizado en la Plaza de la Florida.

Para el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en este estudio se considera la clasificación de suelos según la Norma E.030; es decir, la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte para los 30 metros superiores (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 con colores, lo cual facilitara su interpretación (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	Suelo blando
2	180 m/s a 350 m/s	Suelo 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 y niveles freáticos para la zona de estudio; 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 basa 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.

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.

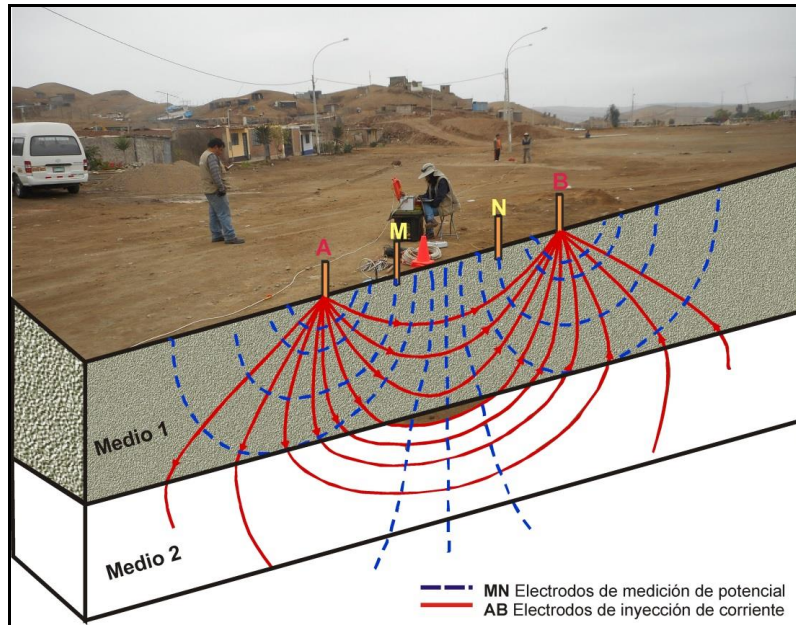


Figura 4: Principio del método de resistividad (LE04-NI), modificado de Orellana, E. (1982).

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.

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 mostrados en la Tabla 2.

Dado la estrecha relación que existe entre la resistividad eléctrica y el grado de saturación del terreno, es posible definir la 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.

Tabla 2: Rango de Resistividades

Rango de resistividades	ohm.m	Tipo de suelo	
Material muy alto resistivo	> 1500	Más competente	
Material alto resistivo	500 a 1500		
Material resistivo o resistividad moderada	100 a 500		
Material bajo resistivo	20 a 100		
Material muy bajo resistivo	< 20	Blandos / saturados	

2. ADQUISICIÓN 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; para el MASW los arreglos sísmicos lineales y para los métodos eléctricos (ERT), el registro de valores de resistividad del suelo. A continuación, se describe brevemente los procedimientos seguido por la toma de datos.

2.1. Razones Espectrales (H/V)

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 la ciudad de Nuevo Imperial: sensor Lennartz (2N) y registradores CityShark II.

En el área urbana de la ciudad de Nuevo Imperial, se obtienen registros de vibración ambiental de manera puntual en 70 puntos distribuidos según la Figura 6. La distribución de puntos se realizó sobre el mapa catastral de la ciudad Nuevo Imperial y 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 NI-67 presenta bajos niveles de ruido; mientras que, la señal en NI-20, 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.

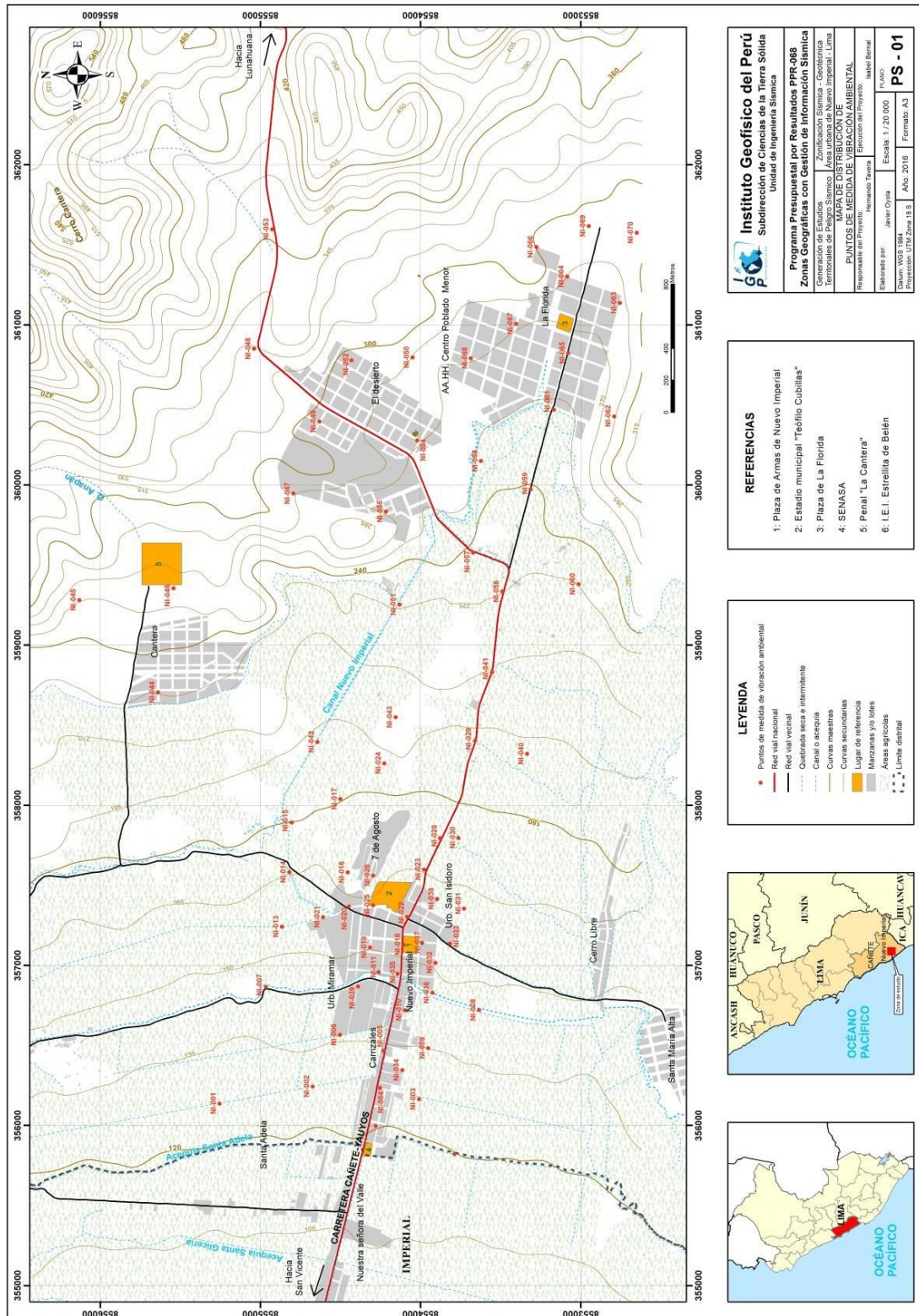


Figura 6: Mapa catastral de la ciudad Nuevo Imperial y la distribución de puntos donde se tomaron los registros de vibración ambiental HV.

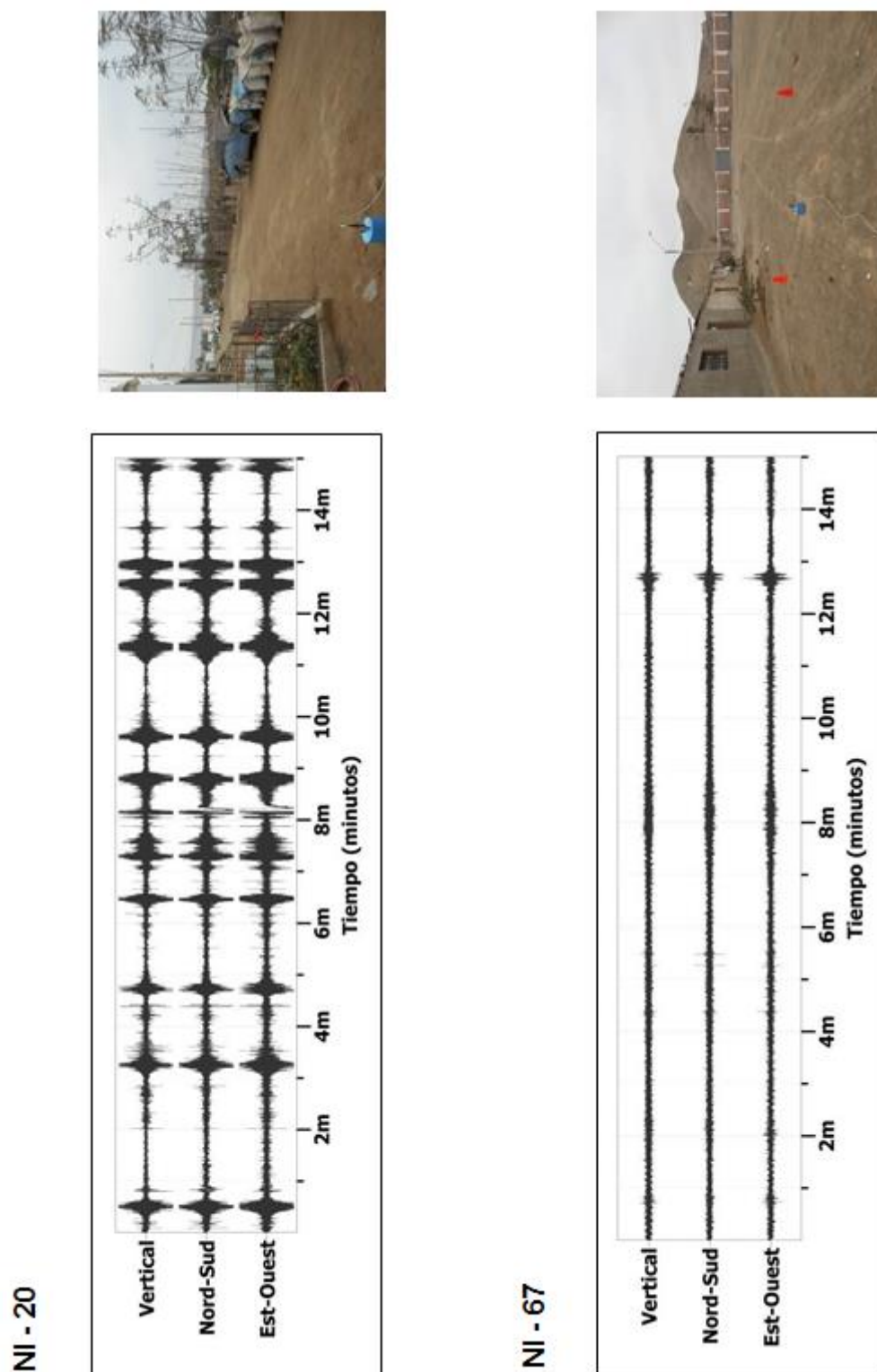


Figura 7: Ejemplos de la disposición del equipo sísmico para el registro de vibraciones ambientales. Ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos sobre una zona con ruido transitorio (NI-20) y otro con ruido de fondo constante (NI-67). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.

2.2. Arreglos Lineales (MASW)

Para la realización de arreglos lineales (MASW) 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 8). 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 8: Equipos utilizados en la toma de datos de MASW realizado en la zona el Desierto.

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 9, 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), considerando los registros obtenidos con cuatro a cinco golpes en cada punto “shot” y el procesamiento preliminar de los datos.

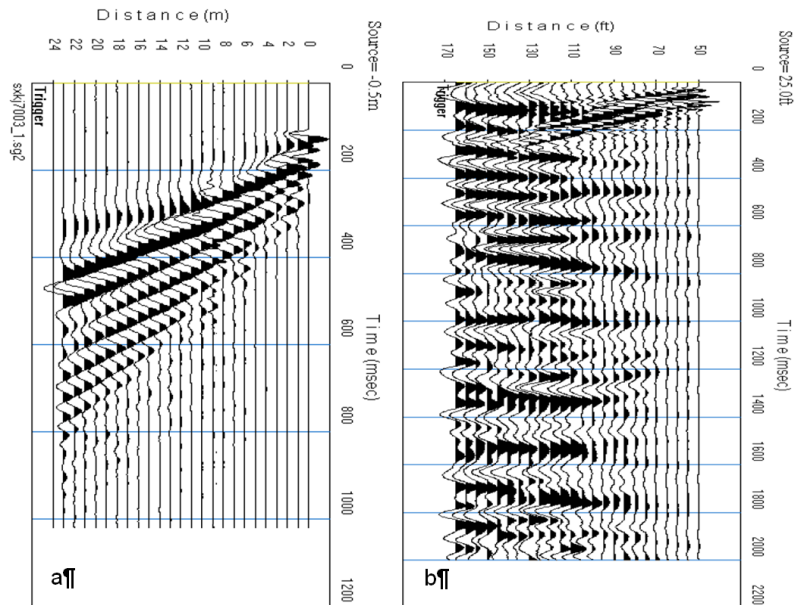


Figura 9: a) Registro sísmico con bajo contenido de ruido ambiental, es decir, alta calidad. b) Registro sísmico con alto contenido de ruido ambiental.

En la Figura 10, se muestra como ejemplo la disposición del equipo y el registro sísmico obtenido para la línea sísmica LS02-NI, realizado en la Asoc. Miramar. El sismograma contiene las señales sísmicas con presencia de bajo ruido ambiental, registrados por sensores ubicados a lo largo de la línea y cuyo punto de disparo se encuentra a una distancia de 12 metros al final de la línea sísmica.

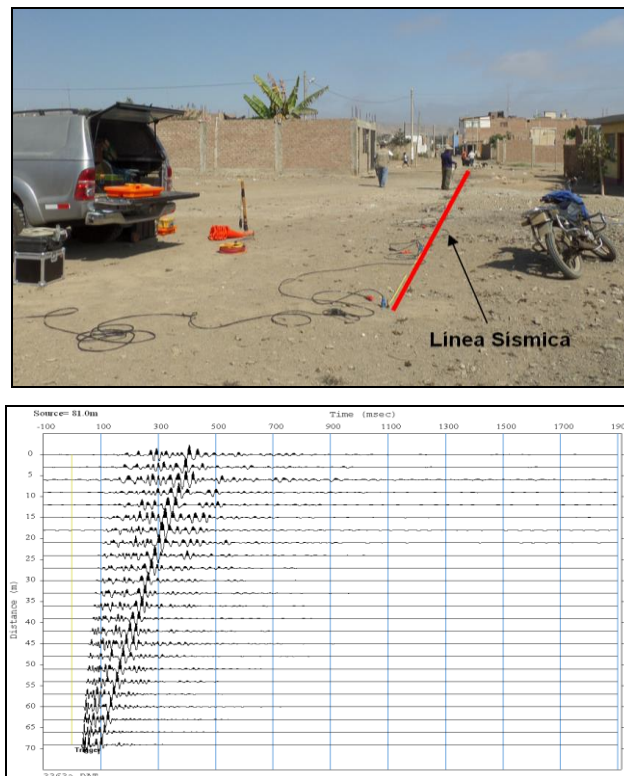


Figura 10: Disposición del equipo de adquisición por el método de MASW y el registro sísmico obtenido.

En el área urbana de la ciudad de Nuevo Imperial se realizaron 6 arreglos lineales MASW, codificadas como: LS01-NI,... LS06-NI (Figura11) y las coordenadas (UTM -WGS84) se muestra en la Tabla 3.

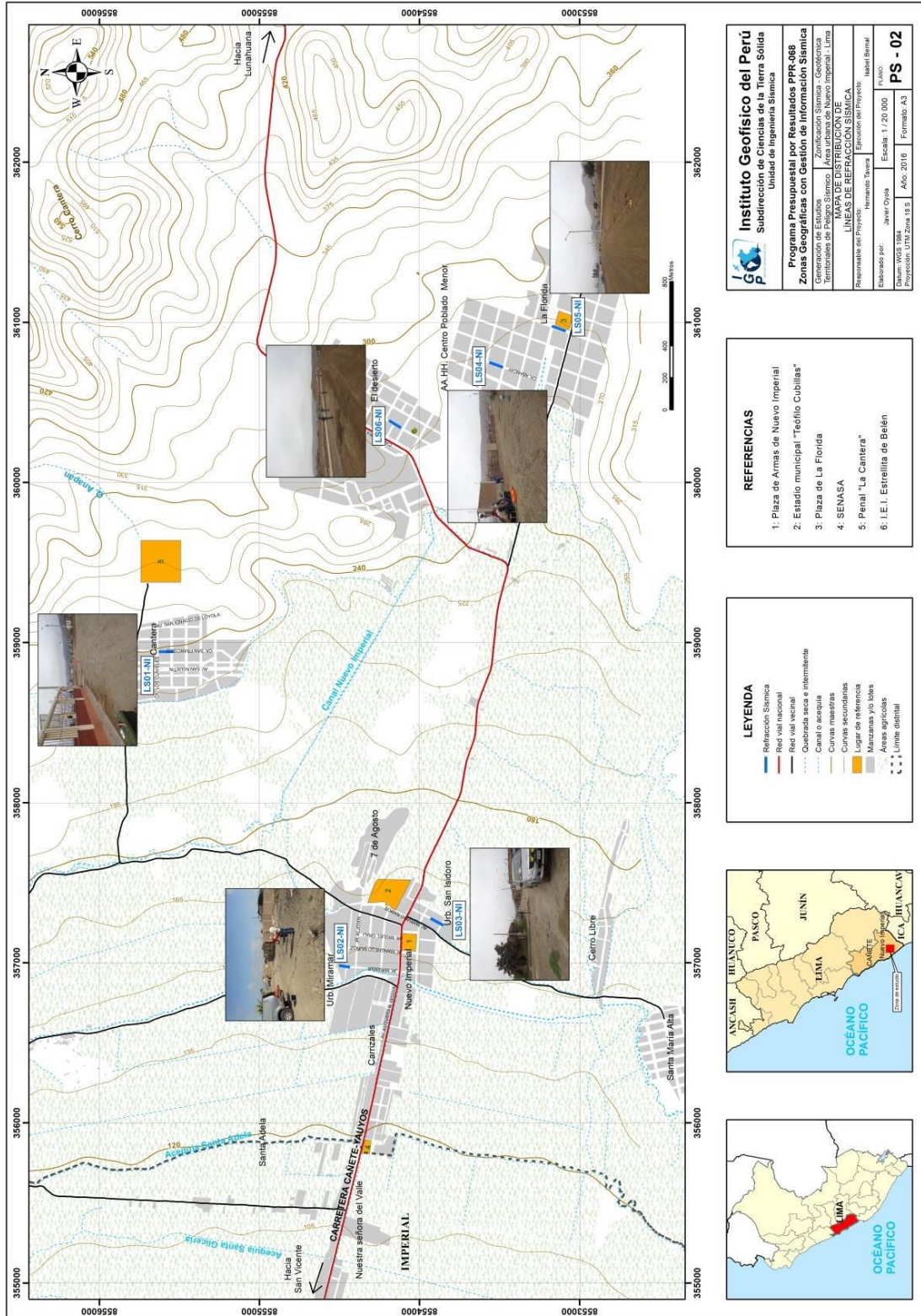


Figura 11: Mapa del área urbana de la ciudad de Nuevo Imperial y distribución espacial de los arreglos lineales MASW codificadas como: LS01-NI,..., LS6-NI.

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

Línea Sísmica	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)	Espaciamiento entre geófonos (m)	Longitud total (m)
LS01-NI	358943	8555536	253	4	92
	358943	8555629	254		
LS02-NI	356973	8554436	168	3	69
	356984	8554504	168		
LS03-NI	357279	8553932	176	4	92
	357233	8553851	176		
LS04-NI	360719	8553479	277	4	92
	360751	8553565	280		
LS05-NI	360944	8553086	278	4	92
	360977	8553173	277		
LS06-NI	360340	8554115	295	4	92
	360388	8554192	299		

2.3. Tomografía Eléctrica (ERT)

En la zona urbana de la ciudad de Nuevo Imperial se ha realizado 5 líneas de tomografía eléctrica (Figura 12) con el dispositivo polo-dipolo 30 electrodos. Para las líneas se consideró un espaciamiento para los electrodos que variaba, en algunos perfiles de 10 y 4 metros, sobre tendidos con longitudes que variaban entre 110 y 290 metros, lo cual permitió tener alcances en profundidad del orden de los 15 y 39 metros.

En la Tabla 4, se muestra las coordenadas UTM (WGS84) de cada línea eléctrica distribuidos en la (Figura 12).

La calidad de la señal eléctrica de cada registro fue evaluada mediante un test de resistencia de contacto entre los electros y el terreno, garantizando la obtención de este modo, la obtención de datos confiables para el procesamiento. Se busca mejorar las imágenes con el uso de filtros que disminuyen 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 de los datos mediante la comparativa de dos valores de resistividad, siendo los más fiables aquellos con menores diferencias. Para este estudio se consideran los los siguientes criterios:

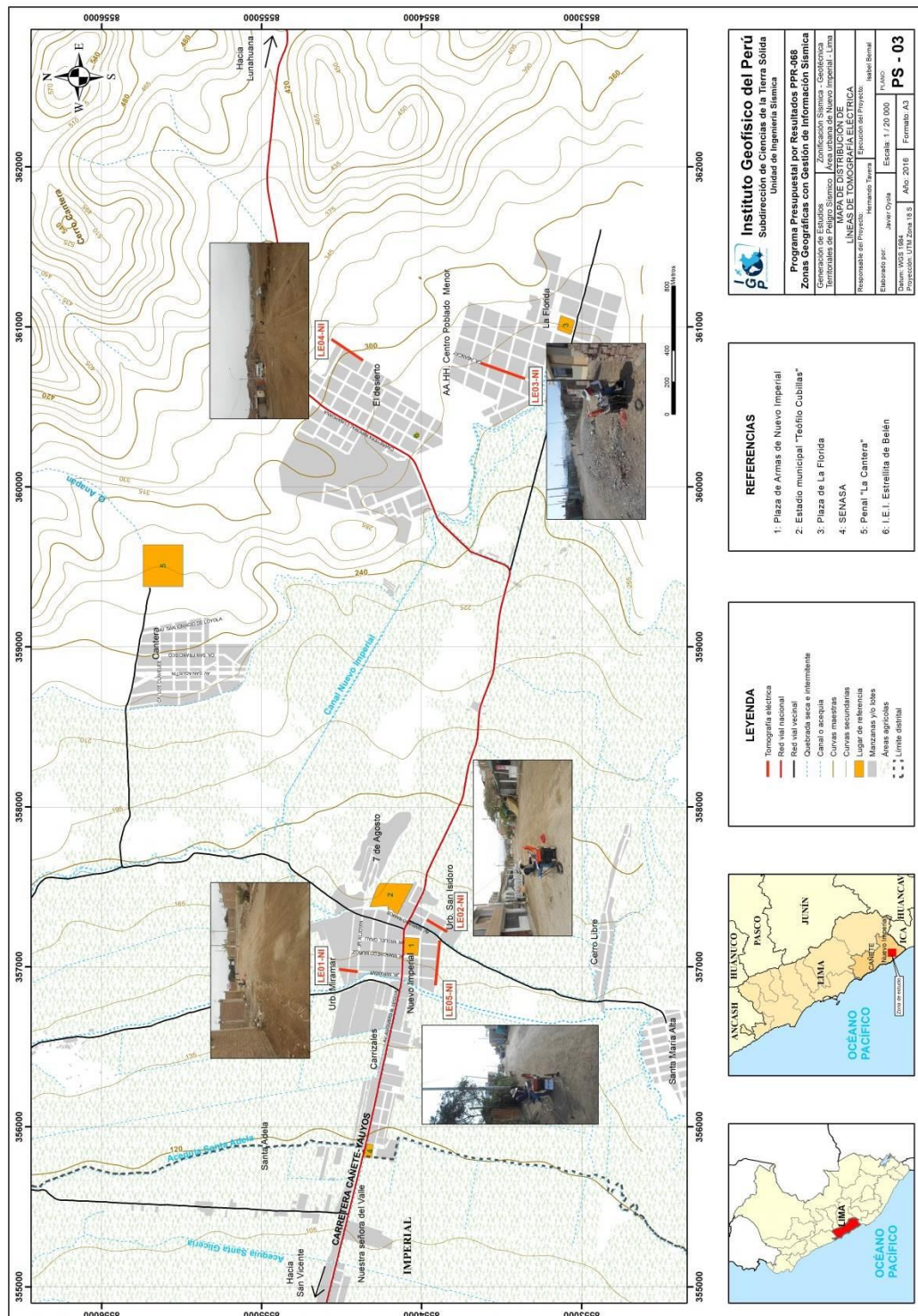


Figura 12: Mapa del área urbana de la ciudad de Nuevo Imperial y distribución espacial de las líneas de tomografía eléctrica codificadas como: LE01-NI, ... LE05-NI.

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-NI	356984	8554516	169	5	110
	356969	8554400	163		
LE02-NI	357295	8553969	172	5	145
	357219	8553841	171		
LE03-NI	360774	8553630	287	10	290
	360675	8553354	277		
LE04-NI	360923	8554564	321	10	240
	360790	8554366	309		
LE05-NI	357166	8553887	169	10	290
	356884	8553914	163		

- ✓ 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 Ω m.

Para el procesamiento de la información recolectada se ha hecho uso de los algoritmos de inversión DCIP2D y OASIS MONTAJ. En la Figura 13, se muestra la disposición del equipo eléctrico en campo, así como un ejemplo del análisis preliminar realizado al registro obtenido.

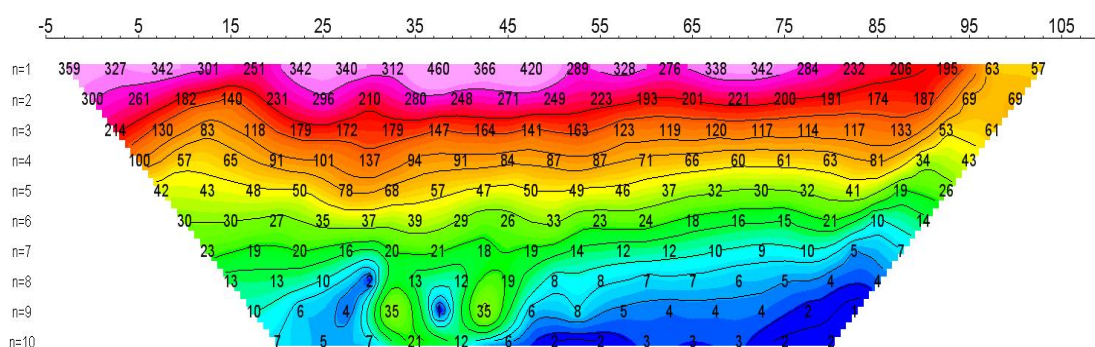


Figura 13: Disposición del equipo de adquisición por la técnica de ERT (LE01-NI) y el registro eléctrico obtenido en campo.

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 Nuevo 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 70 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 elabora mapas con la distribución espacial de los valores de frecuencias predominantes. A continuación, se describe y analiza la distribución espacial de las frecuencias predominantes identificadas en la ciudad de Nuevo Imperial.

- **Frecuencia predominante F_0 :** En la Figura 14 se muestra el mapa con la distribución espacial de los valores de frecuencias, donde predominan valores entre 2.0 y 15.0 Hz, estando los valores mayores distribuidas en el extremo Este del área de estudio y conforme se tiende hacia el su extremo Oeste, estos valores disminuyen. En general, se alcanzan amplificaciones máximas relativas de hasta 4 veces en la Urb. Villamar y Carrizales.

En la Figura 15, se muestra ejemplos de razones espectrales para los puntos NI-18(D), NI -23(E) y NI-39(F) ubicados en la zona céntrica de la ciudad de Nuevo Imperial, sobre la Plaza de Armas, próximo al estadio Teófilo Cubillas y en la Urb. Miramar, donde predominan frecuencias a 4.0, 4.6 y 3.3 Hz con amplificaciones de hasta 3.5 veces. Para el extremo Oeste del área de estudio, se considera las razones

(H/V) obtenidas para los puntos NI-01(A), NI-03(B) y NI-04(C) ubicados próximos al límite con Imperial, donde predominan frecuencias de 2.31, 2.00 y 2.22 Hz con amplificaciones de hasta 2.5 veces. Las bajas frecuencias, sugieren que conforme se tiende hacia el extremo Oeste del área de estudio, la capa sedimentaria presenta mayor espesor respecto a lo observado en la zona céntrica de la ciudad de Nuevo imperial.

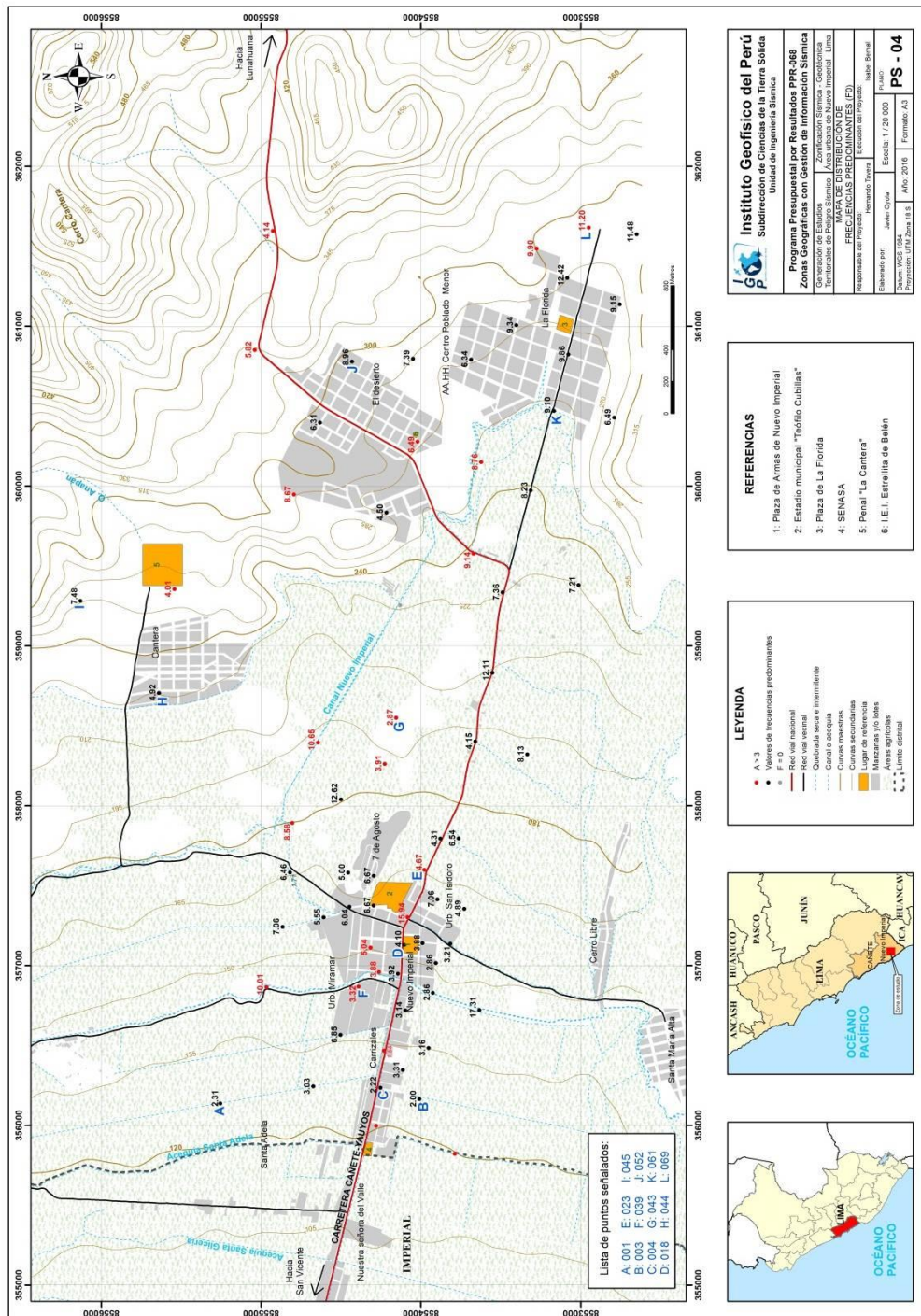
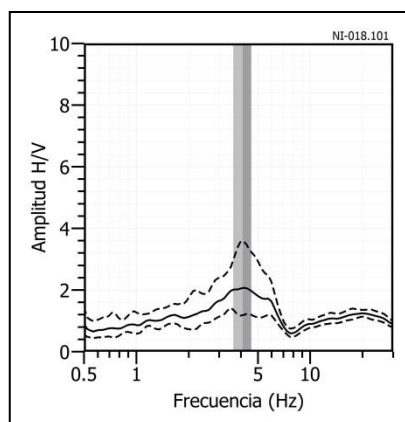
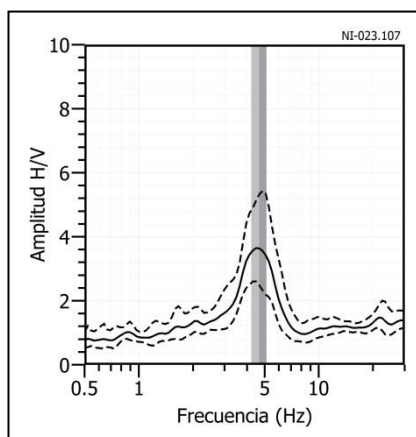


Figura 14: Mapa del área de estudio con la distribución espacial de las frecuencias predominantes. Las letras indican la ubicación de los gráficos que se están considerando en la Figura 15 como característicos de la zona.

NI - 18



NI - 23



NI - 39

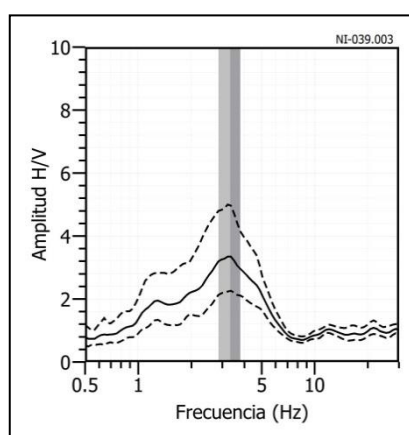
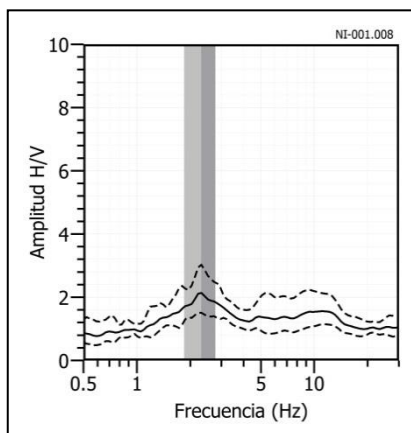
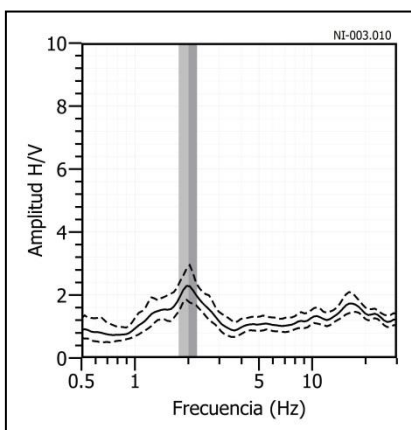


Figura 15: Ejemplos de razones espectrales (H/V): Puntos NI-18(D), NI -23(E) y NI-39(F), ubicados en la zona céntrica de la ciudad de Nuevo Imperial: en la plaza de Armas, próximo al estadio Teófilo Cubillas y en la Urb. Miramar. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

NI - 01



NI - 03



NI - 04

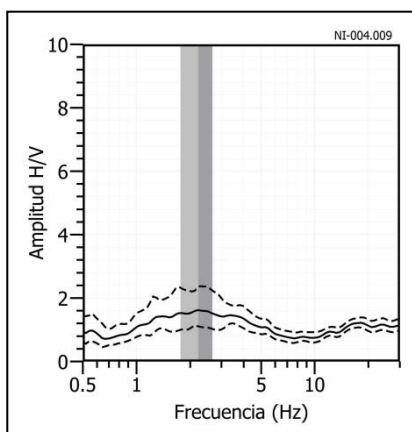
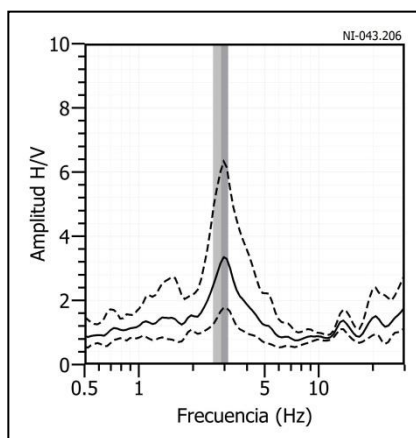
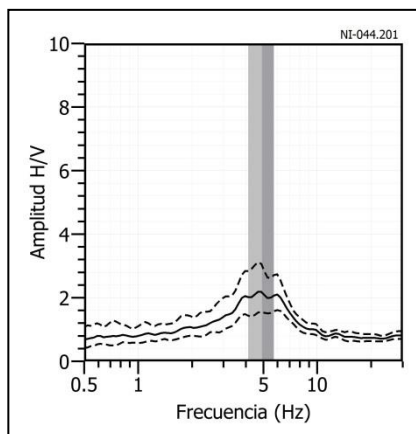


Figura 15: ... Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): Puntos NI-01(A), NI-03(B) y NI-04(C), ubicados en el extremo Oeste del área de estudio y límite con Imperial. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

NI - 43



NI - 44



NI - 45

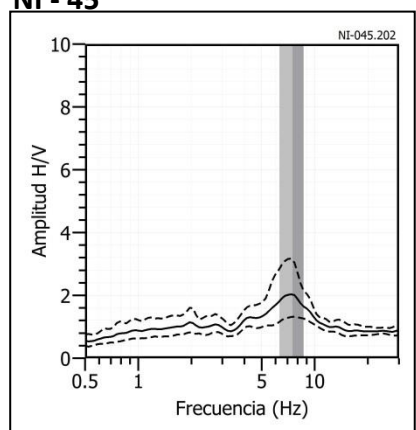
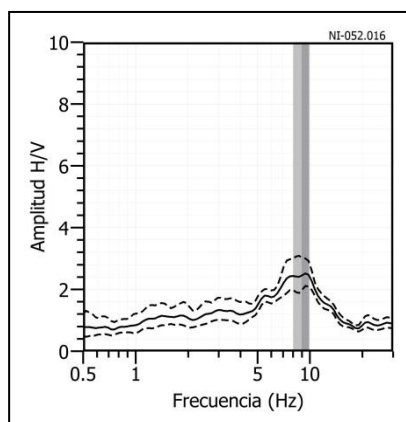
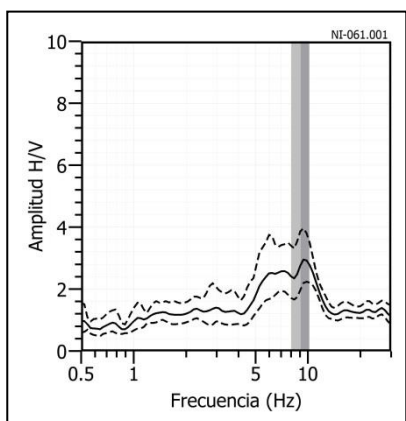


Figura 15:... Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): Puntos NI-43(G), NI-44(H) y NI-45(I), ubicados en el extremo NE del área de estudio, el primero por el canal de la ciudad de Nuevo Imperial y los dos siguientes, en la urbanización la Cantera. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

NI - 52



NI - 61



NI - 69

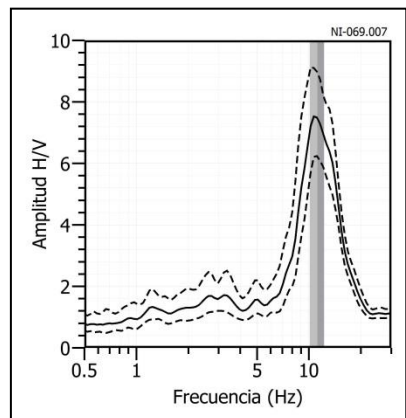


Figura 15: ... Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): Puntos NI-52(J), NI-61(K) y NI-69(L), ubicados en el extremo SE del área de estudio, sobre la urbanización El Desierto y los dos siguientes, en la urbanización La Florida. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

Las razones (H/V) obtenidas para los puntos NI-43(G), NI-44(H) y NI-45(I), ubicados en el extremo NE del área de estudio, presentan frecuencias predominantes a 3.0, 5.0 y 7.5 Hz con amplificaciones máximas relativas de hasta 3 veces. Asimismo, hacia el extremo SE, se considera las razones obtenidas para los puntos NI-52(J), NI-61(K) y NI-69(L), ubicado el primero en la urbanización El Desierto y los dos siguientes en la urbanización La Florida. En ellas se identifican frecuencias predominantes a 8.9, 9.0 y 11.0 Hz con amplificaciones de 2 veces, excepto en el último, que de manera puntual alcanza amplificaciones de hasta 7 veces. Estos resultados son coherentes con la topografía, al considerar que los valores mayores de frecuencias tienden hacia las zonas más altas, donde el espesor de la capa sedimentaria tiende a disminuir.

Interpretación

Los suelos en la ciudad de Nuevo Imperial presentan un pico bien definido de frecuencias con moderada amplificación que sugiere la presencia de suelos compactos. Asimismo, conforme se tiende en el área de estudio, de Oeste a Este, los valores de frecuencias se incrementan, lo cual es coherente con los mayores niveles topográficos observados en campo, lo cual sugiere que la capa sedimentaria, conforme tiende hacia las zonas más elevadas disminuye en espesor.

3.2. Estudio Sísmico con la Técnica MASW

Los modelos de velocidad de propagación (V_s) proporcionan información muy útil para el reconocimiento de la estructura y naturaleza del subsuelo. El procesamiento de datos realizados en campo permitió llegar hasta profundidades de 30 metros (Figura 11): línea LS01 al norte, LS02 y LS03 en la zona céntrica (área urbana), LS04 y LS05 al este y LS06 al noreste del área de estudio. A continuación, se describe los resultados obtenidos para cada línea agrupada según su similitud de valores de velocidad V_s en el perfil sísmico y ubicación geográfica.

Líneas sísmicas LS01-NI y LS02-NI: Realizadas en el sector la Cantera (LS01) y en la Urb. Miramar (LS02), Indican la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera de 4 metros de espesor y velocidades V_s entre 262 a 270 m/s que sugieren la presencia de suelos medianamente rígidos; la segunda capa de 7 a 12 metros de espesor y velocidades V_s de 365 a 389 m/s; indican la presencia de suelos rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio,

presenta velocidades $V_s > 546$ m/s que sugiere la existencia de suelos muy rígidos.

Línea sísmica LS03-NI: Realizada en la Urb. San Isidoro se indica la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera, de 4 metros de espesor y velocidad V_s de 242 m/s y la segunda con 12 metros de espesor y velocidad V_s de 338 m/s; ambas capas presentarían suelos medianamente rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades $V_s > 562$ m/s que sugiere la presencia de suelo muy rígido.

Líneas sísmicas LS04-NI, LS05-NI y LS06-NI: Realizadas en el sector la Florida (LS04 y LS05) y en el sector el Desierto (LS06), indican la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera de 7 a 9 metros de espesor y velocidades V_s entre 290 a 327 m/s que sugieren la presencia de suelos medianamente rígidos. La segunda capa con 15 a 17 metros de espesor y velocidades V_s entre 702 a 716 m/s; que indican la existencia de suelos muy rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades $V_s > 1201$ m/s, lo cual sugiere la existencia de suelos medianamente rígidos.

En la Tabla 5, se resume los valores de velocidad de ondas de corte V_s obtenidos para los distintos tipos de perfiles de suelo (Tabla 1) y en la Figura 16 se muestra los resultados obtenidos para el arreglo sísmico LS01. Para el resto de líneas ver Anexos.

Interpretación

Los resultados obtenidos con el método MASW, definen la presencia de 2 capas sísmicas y un semiespacio (Tabla 5). y su correlación con la geología local se describe a continuación:

En la zona céntrica de la ciudad de Nuevo Imperial (Figura 11), existen suelos medianamente rígidos para la primera capa de 4 metros de espesor y velocidades de V_s entre 242 a 270 m/s, que suprayace a suelos rígidos a muy rígidos (V_s 389 a 546 m/s), presentes en el sector norte (Urb. Miramar); mientras que, en el sector sur (Urb. San Isidoro) los suelos son medianamente rígidos a muy rígidos (V_s 338 a 562 m/s) en profundidad. Según la geología, el área urbana se encuentra asentada sobre depósitos

aluviales que suprayacen a materiales arenosos de consolidación alta y que posiblemente corresponden a la formación Pisco.

Tabla 5: Valores de espesores y Vs de las líneas sísmicas realizados en la ciudad de Nuevo Imperial mediante el método de MASW.

		Superficie → Profundidad					
Línea Sísmica	N° DE CAPA						
	1		2		Semiespacio		VS30 (m/s)
	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	
LS01-NI	262	4	365	7	578	-	437
LS02-NI	270	4	389	12	546	-	426
LS03-NI	242	4	338	12	562	-	367
LS04-NI	293	7	702	17	1316	-	553
LS05-NI	327	9	716	15	1285	-	549
LS06-NI	320	9	712	15	1201	-	534

	Suelo blando (Vs < 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)

La zona denominada la Cantera, presenta también suelos medianamente rígidos (Vs 262 m/s) para la primera capa de 4 metros de espesor y los suelos que subyacen, son rígidos a muy rígidos (Vs 365 a 578 m/s) hasta profundidades mayores a los 30 metros. Estos suelos corresponden a aluviales más compactos que se encuentran emplazados sobre la formación Pisco.

Finalmente, en la zona la Florida y el Desierto, existen suelos medianamente rígidos para la primera capa (Vs 293 a 327 m/s) con espesores de 7 metros (A.H. Centro Poblado Menor – la Florida) y de 9 metros (plaza la Florida y el Desierto). Esta capa suprayace a suelos muy rígidos a medianamente rígidos en profundidad (Vs 702 a 1316 m/s). La capa superficial corresponde a material aluvial depositado posiblemente sobre materiales volcánicos de baja consolidación de la formación Quilmaná y este a la vez, sobre las rocas de areniscas de la formación Atocongo.

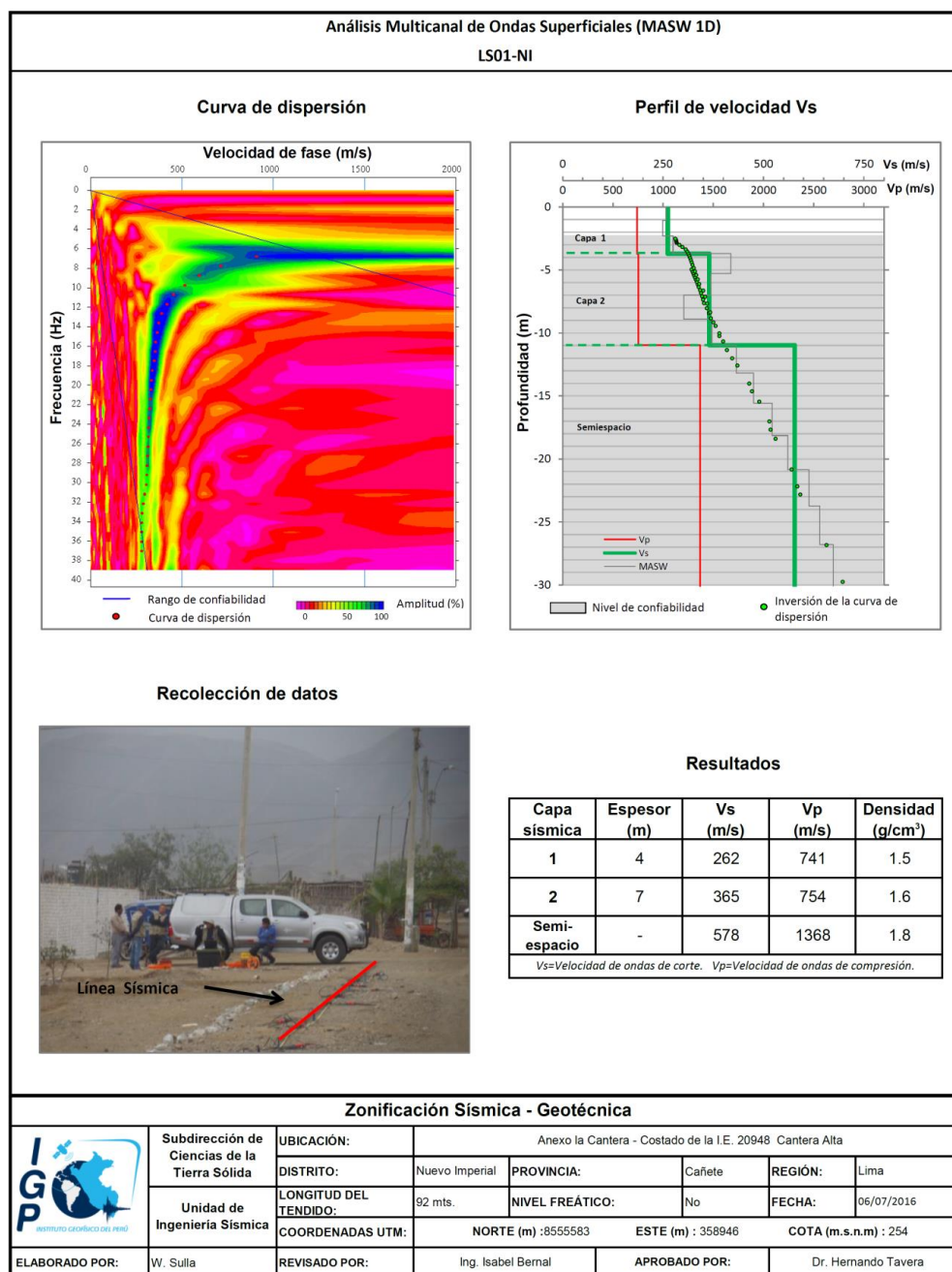


Figura 16: Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo LS01-NI.

3.3. Periodos Dominantes

Para presentar los resultados finales obtenidos con la técnica de razones espectrales, los valores de frecuencias fueron transformados a periodos dominantes y para construir el mapa de periodos, se asignó a cada punto de medición un radio de confiabilidad de 10 metros, lo cual facilita los procedimientos seguidos para la zonificación de los suelos. En la Figura 17 se muestra la distribución espacial de los valores de periodos dominantes obtenidos en el área urbana de la ciudad de Nuevo Imperial.

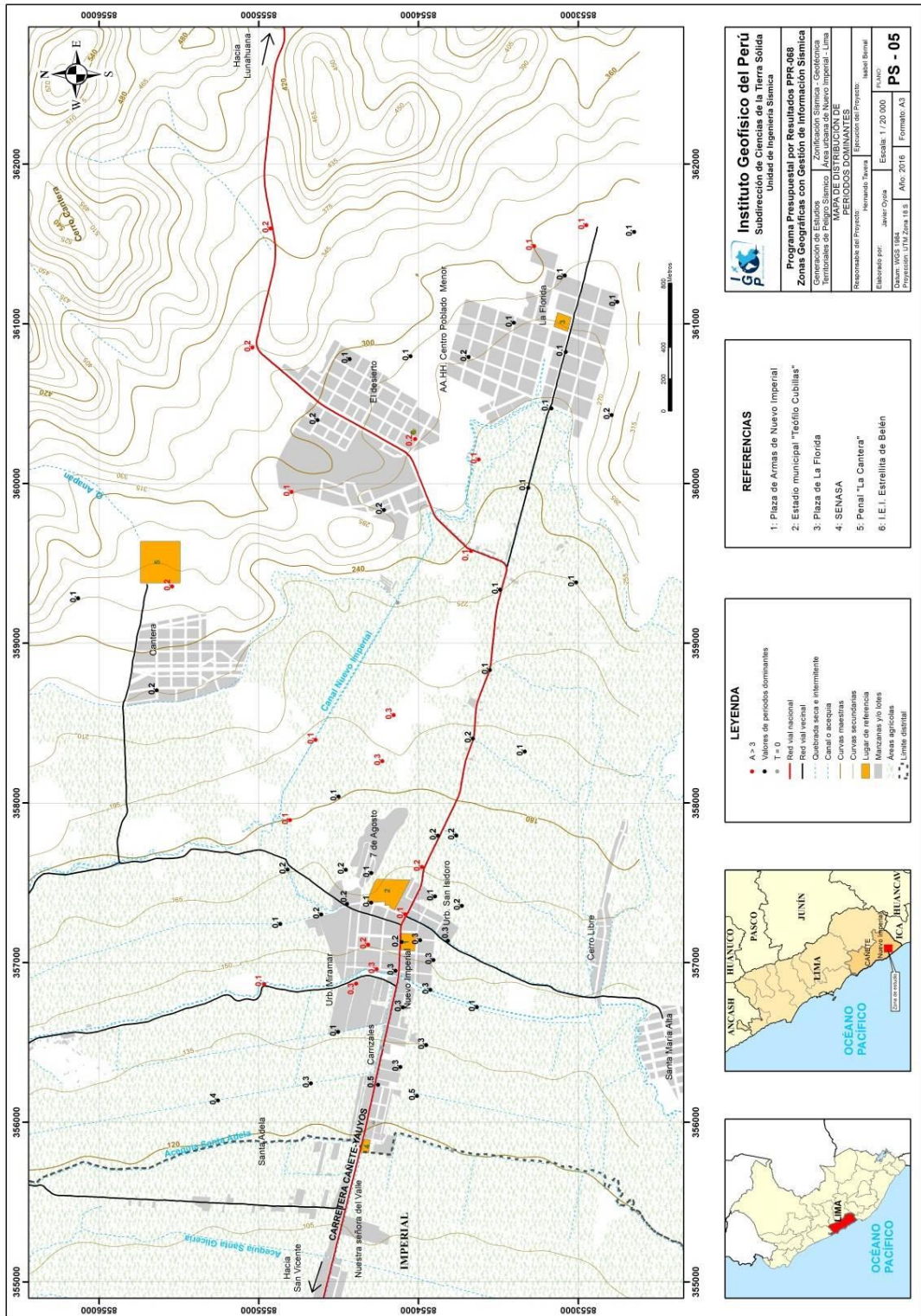


Figura 17: Mapa de la distribución espacial de los valores de periodos dominantes.

Los periodos de 0.1 a 0.2 segundos, se distribuyen principalmente hacia el extremo Este del área de estudio; mientras que, los periodos de 0.3 a 0.5 segundos hacia el extremo Oeste. Las mayores amplificaciones, se presentan en la Urb. Miramar y en cercanías del Canal de la ciudad de Nuevo Imperial. Asimismo, presenta amplificaciones del suelo (3 veces) en las Urbanizaciones La Florida y La Cantera.

Los periodos dominantes que caracterizan a los suelos del área urbana de la ciudad de Nuevo Imperial están relacionados con sus condiciones físico-dinámicas a través de la relación $T_0=4H/V_s$, donde T_0 es el periodo dominante, H el espesor del estrato y V_s es la velocidad de onda de corte. Asumiendo velocidades de 300 m/s y 700 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 entre 7 y 15 metros. Del mismo modo, al considerar periodos de 0.3 y 0.4 segundos, los espesores de las capas del suelo varían entre 30 a 50 metros. Estos valores para los espesores de las capas, son confirmados con los modelos de velocidad y espesores de capas obtenidos con los arreglos sísmicos.

En el área urbana de la ciudad de Nuevo Imperial, la distribución espacial de periodos mayores a 0.3 segundos sugiere la presencia en el subsuelo de una capa profunda de gran espesor y los periodos menores, una capa superficial de menor espesor, donde la primera influye moderadamente sobre la segunda. Por otro lado, los valores de 0.2 a 0.3 segundos con altas amplificaciones se presentan en la Urb. Miramar, estos valores sugieren que los suelos son más flexibles en comparación con el resto del área de estudio.

3.4. Estudios Eléctricos con la Técnica ERT

Los valores de resistividad del suelo permiten identificar aquellos suelos que presentan alto contenido de humedad y la profundidad a la cual se encuentra el nivel freático. A continuación, se describen los resultados obtenidos para cada línea de tomografía eléctrica realizada en la ciudad de Nuevo Imperial:

Líneas eléctricas LE01-NI, LE02-NI y LE05-NI Realizadas en el Cercado, próximos a la Plaza de Armas y al estadio Municipal. Aquí, existe un canal no revestido que cruza, de Norte a Sur, al área de estudio (Figura 18). En estas líneas se identificó la presencia de dos horizontes geoelectricos, el primero superficial con valores medianamente resistivos, lo que sugiere que

correspondería a materiales más competentes, compuestos por arenas, calizas y niveles de limolitas calcáreas. Asimismo, el material en superficie se encuentra compactado. El segundo horizonte corresponde a material conductivo, donde el nivel freático se encuentra entre 10 a 15 metros de profundidad, desde la superficie.

Líneas eléctricas LE03-NI y LE04-NI: Realizadas en el sector La Florida y El Desierto, próximos a los cerros Cantera y Pinta (Figura 19). Presentan dos horizontes geoelectricos: el primero desde la superficie, conformado por material medianamente resistivo que engloba a una zona resistiva, compuesta por lavas andesíticas presentes en el Cerro Cantera y a los conglomerados mal clasificados del Cerro Pinta. El segundo horizonte es un medio conductivo, donde el nivel freático discurre a mayor profundidad con materiales de baja a muy baja resistividad ($< 100 \Omega.m$) donde el nivel freático se encuentra entre los 18 y 20 metros de profundidad. A niveles más profundos, se observan valores medianamente resistivos, pudiendo asociarse a la presencia de substrato rocoso.



Figura 18: Vista de las líneas LE01-NI, LE02-NI y LE05-NI.



Figura 19: Vista de las líneas LE03-NI y LE04-NI compuesto por roca fracturada

Interpretación

De acuerdo a los datos analizados podemos decir que los materiales medianamente resistivos son los que predominan en la parte superficial de la ciudad de Nuevo Imperial. Una compilación de la información se presenta en la Tabla 6.

Las urbanizaciones. Miramar y San Isidoro (LE01-NI, LE02-NI y LE05-NI) al Norte y Sur de la plaza de Armas de la ciudad de Nuevo Imperial, presentan niveles freáticos a partir de los 10 metros de profundidad. Esta zona está asociada a la presencia de terrenos de cultivo y canales sin revestir. Mientras que, los sectores La Florida y El Desierto (LE03-NI, LE04-NI), presentan nivel freático a los 20 metros de profundidad.

Geológicamente, la ciudad de Nuevo Imperial está asentada sobre depósitos aluviales, siendo estas importantes en la exploración y explotación de aguas subterráneas, ya que estos depósitos están constituidos por materiales que presentan adecuadas condiciones para ser reservorios de agua.

Finalmente, el nivel freático en la ciudad de Nuevo Imperial se encuentra a partir de los 15 metros de profundidad y se asocia a la presencia de terrenos de cultivo, canales e infiltración de agua de la parte alta de la cuenca Cañete. En la Figura 20 se presenta el resultado para la línea LE01–NI, para las líneas restantes ver Anexos. Asimismo, en la Tabla 6, se muestra la profundidad de la saturación del medio y el tipo de material.

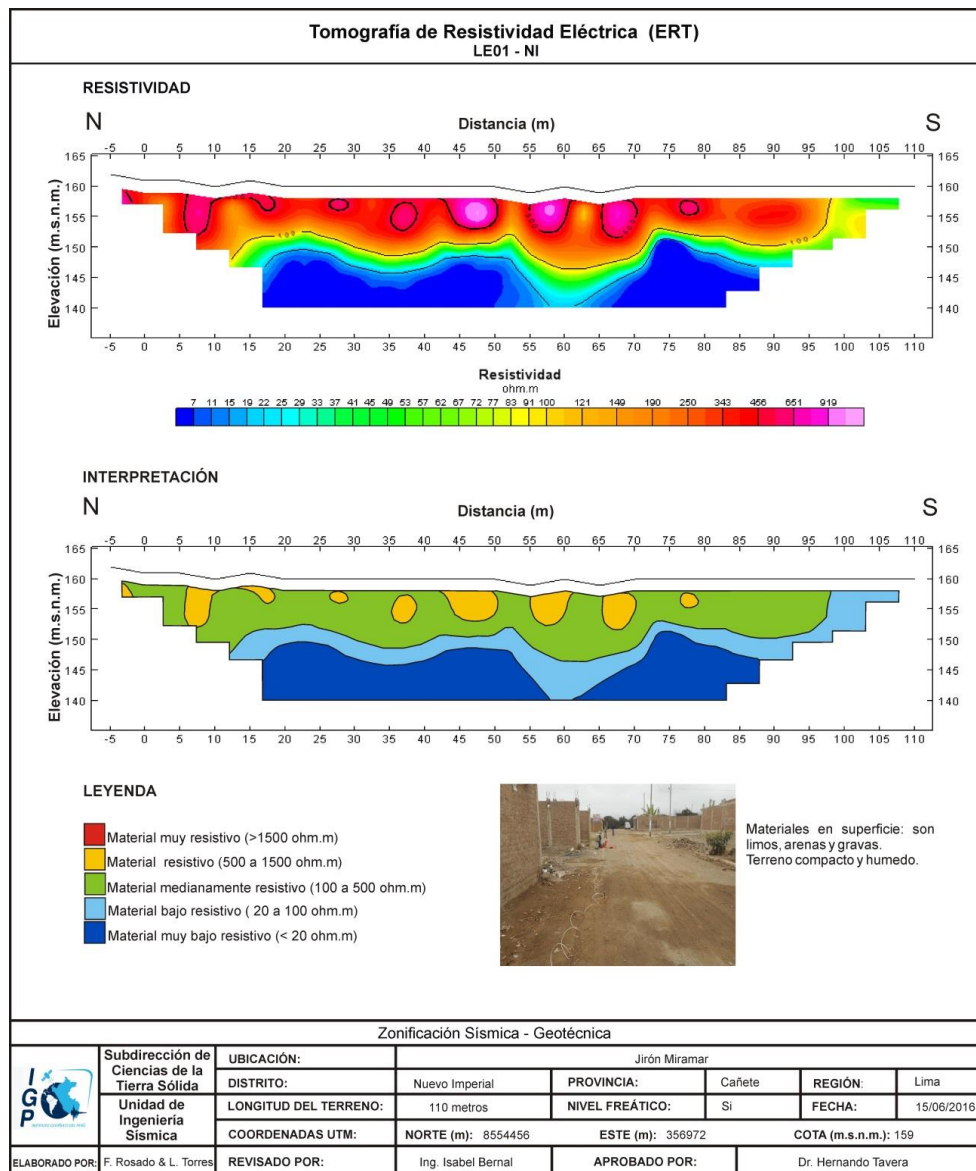


Figura 20: Análisis e interpretación geofísica de tomografía eléctrica para la línea LE01-NI.

Tabla 6: Valores de resistividad obtenidos de las líneas eléctricas distrito de Nuevo Imperial

Líneas Eléctricas	Orientación	Profundidad de alcance (m)	Horizonte geoelectrico	Resistividad ($\Omega.m$)	Nivel freático (m)
LE01-NI	NS	19	1	100 - 500 500 - 1000	10 m
			2	< 100	
LE02- NI	NS	19	1	100 - 500 500 - 900	15 m
			2	< 100	
LE03- NI	NS	39	1	100 - 500	20 m
			2	< 100	
LE04- NI	NS	39	1	20 - 100	20 m
			2	< 20	
LE05- NI	EW	39	1	100 - 500	15 m
			2	< 100	

4. ZONIFICACION GEOFÍSICA – GEOTÉCNICA

El mapa de Zonificación Geofísica – geotécnica se elabora en función de los resultados obtenidos con los estudios geológicos, geotécnicos y geofísicos. Asimismo, se considera los aportes de la Norma de Construcción Sismorresistente E.030.

4.1. Mapa de Zonificación Geofísica

Para el área urbana de la ciudad de Nuevo Imperial se propone la siguiente Zonificación Geofísica – Geotécnica (Figura 21):

*.- **ZONA I:** Conformada por estratos de conglomerado, cubiertos por depósitos de material fino (arenas finas) con poco espesor. Este suelo tiene un comportamiento de medianamente rígido a rígido, con periodos de vibración natural que varían entre 0.1 y 0.2 segundos. Considerando las velocidades de ondas de corte entre 300 a 700 m/s, se identificó la presencia de suelos Tipo S1 de la norma sismorresistente peruana. La capacidad de carga admisible es de 2.0-3.0 Kg/cm².*

Esta zona considera todo el extremo Este del área de estudio. Asimismo, en esta zona se muestra con líneas en rojo, las áreas donde se presentan las máximas amplificaciones del suelo.

***ZONA II:** Conformada por estratos superficiales compuestos por suelos granulares finos a gruesos (arenosos y areno-arcillosos) con espesores que varían entre 7 y 15 m. y subyaciendo a estos estratos se tiene grava. Estos suelos tienen un comportamiento medianamente rígido a blando con periodos de vibración natural que varían entre 0.3 y 0.5 segundos. Considerando velocidades de ondas de corte de 200 y 380 m/s, estos suelos son del Tipo S2 según la norma sismorresistente peruana, los suelos presentes con capacidad de carga admisible de 1.0-2.0 Kg/cm².*

Este tipo de suelos se encuentran en el extremo Oeste del área de estudio.

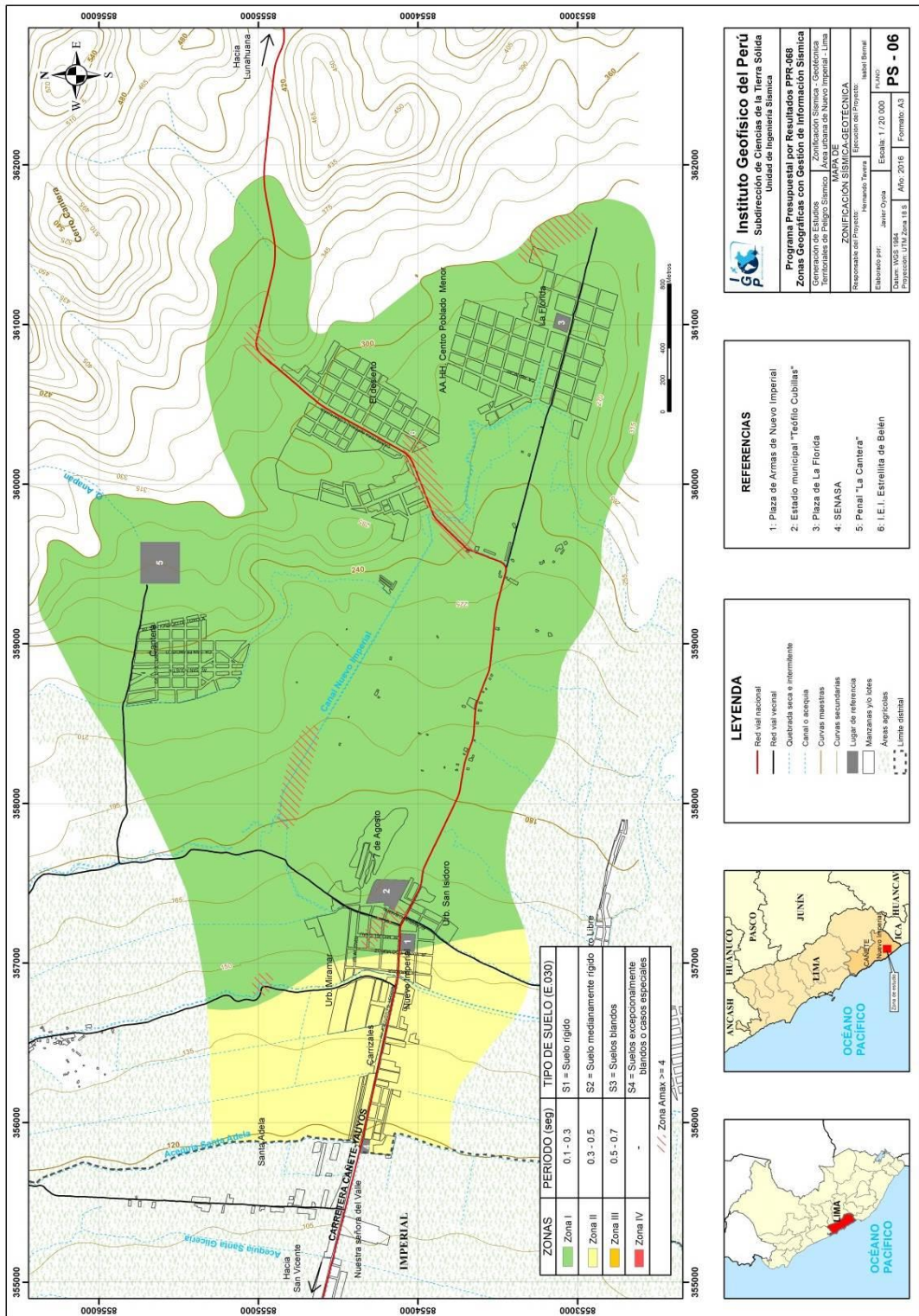


Figura 21: Mapa de Zonificación Geofísica del área urbana de Nuevo Imperial.

CONCLUSIONES

El estudio de Zonificación Geofísica - Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para la ciudad de Nuevo Imperial y alrededores, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

- Se han identificado tres tipos de suelos en la ciudad de Nuevo Imperial: Arenas pobremente graduadas (SP) identificadas en el estadio municipal, Urbanizaciones San Agustín, Virgen de la Puerta, Los Eucaliptos y Fundo Santa Adela; Arenas arcillosas (SC) identificados en terrenos aledaños al grifo (EMP.TRA N°6 S.A); Gravas pobremente graduada en el sector de San Agustín y camino hacia cerro Libre.
- Las unidades geomorfológicas en la ciudad de Nuevo Imperial están conformadas por: Lomas (20%), y llanura de aluvial (80%).
- Los suelos presentan capacidad de carga admisible baja (1.04 kg/cm² a 1.85 kg/cm²).
- En la ciudad de Nuevo Imperial, a niveles superficiales predominan materiales medianamente resistivos. En la zona céntrica y alrededores, presentan niveles freáticos a partir de los 10 metros de profundidad, asociado a la presencia de terrenos de cultivo y canales sin revestir, y hacia el extremo Este presentan nivel freático a partir de los 20 metros de profundidad.
- Los resultados obtenidos para el área urbana de la ciudad de Nuevo 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, ambos comprenden a suelos rígidos y medianamente rígidos.

BIBLIOGRAFÍA

- Alva H, J. E. - Diseño de Cimentaciones.
- Braja Das (2007) - Principles of Foundation Engineering, Seven Edition. Pág. 133-180.
- 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 Geofísica de la ciudad de Tlaxcala, Mexico. Tesis de Maestría en Ciencias, UNAM, pag. 130.
- Brusi, D., et al (2013) - Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. ISSN: 1132-9157. Pág. 181-194.
- Cahill & Isacks (1992) - Seismicity and shape of the subducted Nazca Plate. Journal Geophys. Res., 97, 17503-17529
- CERESIS (2008) - Centro Regional de Sismología para América del Sur. Informe Técnico, 2008 "El Terremoto de Pisco 15 de agosto 2007".
- CISMID (2016) – Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres
- 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.
- Cruden, D, M. (1991) - A Simple definition of a landslide: Bulletin of the International Association of Engineering Geology.
- 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 Transporte de Sedimentos.
- Gutiérrez, M. (2008) – Geomorfología. Edit. Pearson/Prentice Hall, Madrid, 898p. ISBN 97884832-23895.
- Harvey, J. C., (1987) – Geology for geotechnical engineers (Cambridge University Press), 5p y 13p.
- Hartzel, S. H. (1992). Site response estimation from earthquake data. Bull. Seism. Soc. Am. 82, 2308-2327
- Hauser, A, (1985) - Flujos de barro en la zona preandina de la Región Metropolitana: Características, causas, efectos, riesgos y medidas preventivas. Revista Geológica de Chile No. 24, p. 75-92.
- Hauser, A, (1993) - Remociones en masa en Chile. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín N° 45.
- 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.
- INDECI (2002), Mapa de Peligros, Plan de Usos del Suelo y Propuesta de medidas de Mitigación de los efectos producidos por los desastres naturales de las ciudades de la Provincia de Cañete: San Vicente, Cerro Azul, San Luis, Imperial, Nuevo Imperial.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2007). Censos Nacionales 2007 XI de Población y VI de Vivienda. <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/censos/>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2007). XI censo de Población y VI de Vivienda. Recuperado de <http://censos.inei.gob.pe/cpv2007/tabulados/>

- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2013). Mapa de pobreza provincial y distrital, 2013. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digital/es/Est/Lib1261/Libro.pdf
- Juárez, B. & Rico, A., (1973) – Mecánica de suelos. Tomo II.
- 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.
- Municipalidad Provincial de Cañete (2008). Plan de desarrollo concertado de la Provincia de Cañete 2008 – 2021. https://issuu.com/residente/docs/canete_2008_2021
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2017). Distribución del Gasto del Gobierno Local por Fuentes de Financiamiento y Grupo Genérico de Gastos. <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 Economía y Finanzas. (2010). Distribución del Gasto del Gobierno Local por Fuentes de Financiamiento y Grupo Genérico de Gastos https://www.mef.gob.pe/contenidos/presu_publ/sectr_publ/presu_2010/anexos/Anexo5.pdf
- Municipalidad Provincial de Cañete. (2008). Plan de desarrollo concertado de la Provincia de Cañete 2008 – 2021. https://issuu.com/residente/docs/canete_2008_2021
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2017). Distribución del Gasto del Gobierno Local por Fuentes de Financiamiento y Grupo Genérico de Gastos. <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 Economía y Finanzas. (2010). Distribución del Gasto del Gobierno Local por Fuentes de Financiamiento y Grupo Genérico de Gastos. https://www.mef.gob.pe/contenidos/presu_publ/sectr_publ/presu_2010/anexos/Anexo5.pdf

- 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.
- 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
- PNUD (2010). *Riesgo sísmico y medidas de reducción del riesgo en Lima*. PNUD, INDECI Proyecto N° 00058530
- Proyecto PNUD 00048999 (2008) – CIUDADES SOSTENIBLES- Mapa De Peligros, plan de usos del suelo ante desastres y medidas de mitigación de San Vicente De Cañete, Imperial y Nuevo Imperial
- Reynolds, J.M. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2nd ed., 712 pp.
- Rivera, M., H., 2005 - *Geología General*. 350 p
- Roma, V. (2010). Seismic geotechnical site characterization by means of MASW and ReMi methods. *FastTIMES*, 15(3):16-28.
- 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.
- Salazar, H & Landa, C. (1993) – *Geología de los cuadrángulos de Mala, Lunahuaná, Tupe, Conayca, Chincha, Tantará y Castrovirreyna.*, *Boletín*, 26-j, 26-k, 26-l, 26-m, 27-k, 27-l y 27-m Serie A: *Carta Geológica Nacional*, 44. 105p

- Sepúlveda, S.A., (2000) - Metodología de Evaluación del Peligro de Flujos de Detritos en Ambientes Montañosos. Revista Comunicaciones, Departamento de Geología, Universidad de Chile, No.51, p. 3-28.
- Samouëlian, A., I. Cousin, A. Tabbagh, A. Bruand y G. Richard, (2006). Electrical resistivity survey in soil science: a review. Soil Till Res 83, 173-193
- SESAME European research project WP12 – Deliverable D23.12: (2004). Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation.
- Silgado, E. (1978). Historia de los sismos más notables ocurridos en el Peru entre 1513 y 1974. Instituto Geológico Minero del Perú, Lima, Perú, 120 pag.
- Socco, L.V., Boiero, D., Comina, C., Foti, S., y Wis_en, R. (2008). Seismic characterization of an Alpine site. Near Surface Geophysics, 6(4):255-267.
- 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. 8va edición. 710 pp.
- Tejada, G. (1994) - Vocabulario de Geomorfología. Ediciones AKAL. 184 p.
- USGS. [s.f.]. Técnicas de campo en superficie. Disponible en <http://water.usgs.gov/nrp/index.php>.
- Varnes, D.J., (1958) - Landslide types and processes in Eckel E.B., ed., Landslides and Engineering Practice, Highway Research Board Special Report 29, NAS- NRC Publication 544, Washington, D.C. 20-47 p.
- Varnes, D. J., (1978) - Slope Movement: Types and Proceses. In Scuster R. L. y Krizek, R. J., ed. Landslides analysis and control: Washington, D. C. National Academy Press, Transportation
- VENEROS, L (2016) Mejoramiento de la infraestructura municipal para los servicios administrativos de la municipalidad distrital de Nuevo Imperial, Cañete, Lima - Informe técnico.
- Wyllie, D., C. & Norrish, N., I., (1996). “Stabilization of rock slopes”. Landslides investigation and mitigation. Special report 247. Transportation Research Board. National research council, pp. 474-504.

Xia, J., Miller, R.D., and Park, C.B., 1999, Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh wave: *Geophysics*, 64, 691–700.

Zinck, J. (1988) - *Physiography and soils. Lecture notes.* Enschede, The Netherlands: International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC).

Zinck, J. & Valenzuela, C. (1990) - Soil geographic database: structure and application examples. *ITC Journal*, 1990(3), 270-294.

ANEXOS

La documentación del presente Informe Técnico: “Zonificación Geofísica – Geotécnica de la ciudad de Nuevo Imperial”, se adjunta en formato digital.

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