



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Instituto  
Geofísico del Perú

Subdirección de  
Ciencias de la Tierra  
Sólida - SCTS



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

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



### ZONIFICACIÓN SÍSMICA – GEOTÉCNICA DEL ÁREA URBANA DE LA CIUDAD DE SAN VICENTE DE CAÑETE

(Comportamiento Dinámico del Suelo)

Responsable: Hernando Tavera

Lima - Perú

2016

# ZONIFICACIÓN SÍSMICA - GEOTÉCNICA DEL ÁREA URBANA DE LA CIUDAD DE SAN VICENTE DE CAÑETE

Provincia de Cañete - Departamento de Lima  
(Comportamiento Dinámico del Suelo)

Responsable del Proyecto: Hernando Tavera

## Desarrollo del Proyecto

### Unidad de Ingeniería

MsC. Isabel Bernal

### Unidad de Geodinámica

MsC. Juan Carlos Gómez

## Personal Participante

Wilfredo Sulla

Julio Lara

Kelly Pari

Segundo Ortiz

Liliana Torres

Roberth Carillo

Fabiola Rosado

Mariana Vivanco

Lizbeth Velarde

Christian Chiroque

Luz Arredondo

Héctor Lavado

Javier Oyola

Pilar Vivanco

Henry Salas

John Chahua

Orlando Hanco

Jesús Huarachi

## Apoyo Técnico

Estela Torres  
Estherfilia Campos  
Augusto Cárdenas  
Roberth Yupanqui

## **RESUMEN EJECUTIVO**

*En el marco del Programa Presupuestal por Resultados N°068: Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres se ejecutó el proyecto “Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica”, el mismo que tuvo como una de sus actividades la “Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico” obteniéndose como resultado final, la Zonificación Sísmica - Geotécnica de la ciudad de San Vicente de Cañete, capital de la provincia de Cañete, departamento de Lima. El estudio permite conocer el Comportamiento Dinámico del Suelo a partir de la recolección de información y aplicación de métodos sísmicos, geofísicos, geológicos, geomorfológicos y geotécnicos.*

*Los resultados obtenidos para la ciudad de San Vicente de Cañete han permitido identificar la existencia de suelos codificados como Tipo S1 y de acuerdo a la Norma de Construcción Sismorresistente (Norma E.030), corresponden a la ZONA I.*

*El Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica para la ciudad de San Vicente de Cañete se constituye como información primaria a 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. Asimismo, como herramienta de gestión de riesgo a ser utilizado por las autoridades locales y regionales.*

## ÍNDICE

### **RESÚMEN EJECUTIVO**

ÍNDICE

ANEXOS

1.- INTRODUCCIÓN

2.- OBJETIVOS

3.- DISTRITO Y CIUDAD DE SAN VICENTE DE CAÑETE

3.1.- Aspectos Climáticos

4.- ANTECEDENTES

4.1.- Estudios previos

5.- CONDICIONES LOCALES DE SITIO

6.- NORMA E.030, DISEÑO SISMORRESISTENTE

7.- METODOLOGÍA

7.1.- Estudios de sismicidad

7.2.- Estudios de peligro sísmico

7.3.- Estudios geológicos y geotécnicos

7.4.- Estudios sísmicos y geofísicos

8.- ASPECTOS SISMOLÓGICOS

8.1.- Sismicidad

8.2.- Peligro sísmico

9.- GEOMORFOLOGÍA, GEOLOGÍA y GEODINÁMICA

9.1.- Geomorfología

9.1.1.- Unidades geomorfológicas

9.1.1.1.- Origen depositacional

9.1.1.2.- Origen denudacional

9.2.- Geología

9.2.1.- Geología regional

9.2.2.- Geología local

### 9.3.- Geodinámica

#### 9.3.1.- Origen antrópico

##### 9.3.1.1.- Inundaciones por desbordes de acequias

#### 9.3.2.- Origen natural

##### 9.3.2.1.- Inundaciones por desbordes en la Quebrada Pócoto

## 10.- GEOTÉCNIA

### 10.1.- Clasificación de suelos SUCS

### 10.2.- Potencial de licuación de suelos

### 10.3.- Ensayo de corte directo

### 10.4.- Capacidad de carga admisible

## 11.- SÍSMICA Y GEOFÍSICA

### 11.1.- Estudio sísmico con la técnica H/V

### 11.2.- Estudios sísmicos con la técnica de arreglos sísmicos

### 11.3.- Periodos dominantes

### 11.4.- Estudios de tomografía eléctrica

## 12.- ZONIFICACIÓN SÍSMICA – GEOTÉCNICA

### 12.1.- Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## BIBLIOGRAFÍA

## MAPAS

## ANEXOS - CD

ANEXO 1: Fichas de Calicatas

ANEXO 2: Fichas de Ensayo de Densidades

ANEXO 3: Fichas de Ensayo de Penetración Dinámica Ligera

ANEXO 4: Fichas de Granulometría

ANEXO 5: Fichas de Posteos

ANEXO 6: Mapas formato A3

**NOTA:** La base de datos de campo, la información procesada y material fotográfico puede ser solicitado a la Dirección de Sismología del Instituto Geofísico del Perú. Contacto, Dr. H. Tavera (hernando.tavera@igp.gob.pe)

## 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 2015 el Proyecto “**Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica**” y como parte del mismo, las Unidades de Ingeniería Sísmica y Geodinámica Superficial de la Sub-Dirección de Ciencias de la Tierra Sólida desarrollan la Actividad “**Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico**” a fin de obtener el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para las áreas urbanas de las siguientes ciudades:

- **Asia**, distrito de Asia, provincia de Cañete, departamento de Lima.
- **San Vicente de Cañete**, capital de la provincia de Cañete, departamento de Lima.
- **Casma**, capital de la provincia de Casma, departamento de Ancash.
- **Cerro Azul**, distrito de Cerro Azul, provincia de Cañete, departamento de Lima.
- **Chancay**, distrito de Chancay, provincia de Huaral, departamento de Lima.
- **Huaral**, capital de la provincia de Huaral, departamento de Lima.
- **Lunahuana**, distrito de Lunahuana, provincia de Cañete, departamento de Lima.
- **Mala**, distrito de Mala, provincia de Cañete, departamento de Lima.

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

Los estudios de Zonificación Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) permitirán tener mayor conocimiento sobre las características dinámicas del suelo sobre el cual se levantan las ciudades y/o futuras áreas de expansión. Para ello se realiza la aplicación de diferentes metodologías que consideran información sísmica, tsunamis, geofísica, geológica, geodinámica, geomorfológica y geotécnica. Los resultados que se obtienen permiten comprender que no hay suelo malo y que solamente se debe considerar el diseño y la construcción de viviendas y estructuras adecuadas para cada tipo de suelo. Dentro de este contexto, la población de las ciudades y/o áreas urbanas antes indicadas deben comprender que existen tres (3) reglas para construir una casa sismorresistente ([www.acerosarequipa.com](http://www.acerosarequipa.com)):

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

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

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

Finalmente, remarcar que el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica permite conocer las características dinámicas del suelo y se constituye como información primaria a ser utilizada por los ingenieros civiles y arquitectos en el diseño y construcción de las estructuras apropiadas para cada uno de los tipos de suelos identificados en este estudio. Asimismo, debe considerarse como herramienta de gestión de riesgo a ser utilizado por las autoridades locales y regionales.

## **2.- OBJETIVOS**

El principal objetivo a cumplir en este estudio es obtener el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para la ciudad de San Vicente de Cañete, capital de la provincia de Cañete, departamento de Lima (Figura 1). Asimismo, es de interés que las autoridades locales y regionales dispongan de un documento técnico que les ayude en el desarrollo y ejecución de proyectos orientados a la gestión del riesgo ante sismos, lo cual conlleva a mejorar la calidad de vida de sus pobladores, así como proyectar hacia el futuro una adecuada expansión urbana.



*Figura 1: Vista Panorámica de la Ciudad de San Vicente de Cañete*

### 3.- DISTRITO Y CIUDAD DE SAN VICENTE DE CAÑETE

El distrito de San Vicente de Cañete es uno de los dieciséis distritos que conforman la provincia de Cañete, y en donde se encuentra la capital de la provincia, ubicada en el sur del Departamento de Lima, bajo la administración del Gobierno Regional de Lima-Provincias, Perú (Figura 2). Como provincia sus límites son: al Norte, con el distrito de San Luis; al Sur, con la provincia de Chincha; al Este, con el distrito de Lunahuaná y el distrito de Imperial; al Oeste, con el Océano Pacífico. La ciudad de San Vicente de Cañete se encuentra ubicada a orillas del río Cañete, a 144 kilómetros al sur de Lima. Su lema es "Cañete valle bendito y productivo", también es conocida como "Cuna y Capital del Arte Negro Nacional".

En la antigüedad, la ciudad de Cañete era conocida como Guarco y estaba jefaturado por Chuqui Manco, que evitó durante más de cuatro años ser invadido por las tropas incas. Posteriormente, el 30 de agosto de 1556 el virrey español Andrés Hurtado de Mendoza, fundó sobre la aldea de Guarco, la villa de Cañete por orden del rey de España, Carlos V. Durante la colonia, las numerosas haciendas trajeron esclavos africanos para trabajar en las plantaciones y al abolirse la esclavitud en 1854, fueron reemplazados por los chinos. Los esclavos africanos aportaron sus costumbres al folclore de la zona.

Cañete cuenta con números sitios de interés turístico, además de los vestigios de las culturas china y japonesa, se tiene el Santuario Madre del Amor Hermoso. En los alrededores, se tiene antiguas casas haciendas como Unanue, Arona, Montalván, Chilcal, Hualcará, por mencionar a las más conocidas. Cañete también es conocida por su buena producción de productos vitivinícolas, como el pisco, vino y la cachina; además de sus camarones en el pueblo de Boca del Río. En ese punto desemboca el río Cañete, uno de los cinco más caudalosos de la costa peruana.

La última semana de agosto se celebra la Semana Turística y convierte a Cañete en la principal atracción del Sur chico, teniendo como evento estelar, el Festival de Arte Negro. Cañete ha dado al Perú, famosos personajes en el mundo del deporte, el arte y la ciencia. Instrumentos musicales, bailes, dichos, comidas y costumbres que se han entrelazado en la trama del alma nacional.

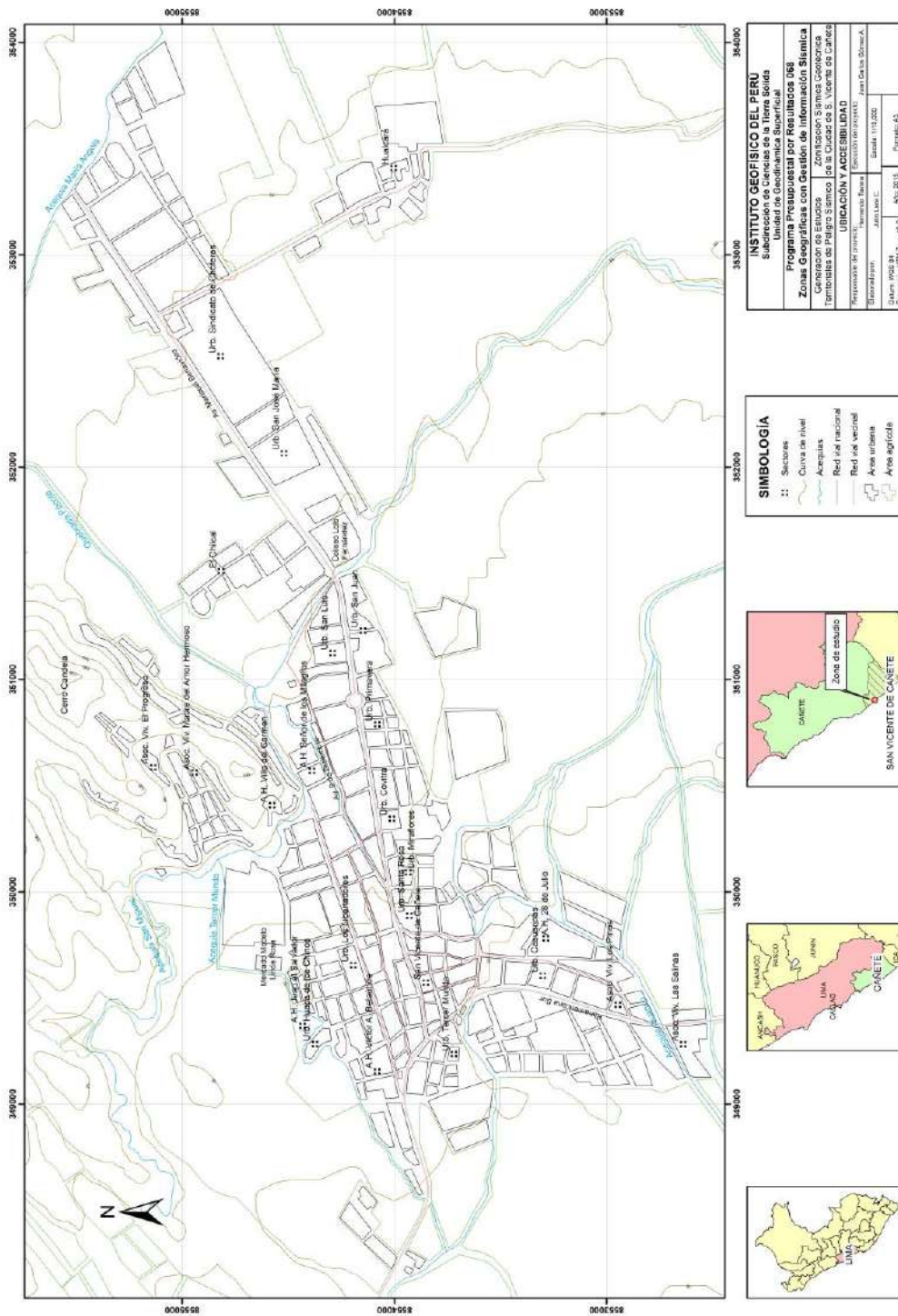
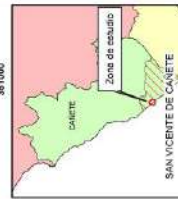


Figura 2: Ubicación geográfica de la ciudad de San Vicente de Cañete

<b>INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERU</b>	
Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida	
Unidad de Geodinámica Superficial	
Programa Presupuestal por Resultados 068	
Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica	Zonificación Sísmica Cuantitativa
Generador de Estudios	Zonificación Sísmica Cuantitativa
Temática de Impacto Sísmico	Por la Ciudad de San Vicente de Cañete
<b>UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD</b>	
Elaboración del estudio	Geodinámica Superficial
Elaborador	Juan Carlos Chávez A.
Fecha	11/11/2022
Clave PQR 20	440-2025
Proyecto	PT-045

<b>SIMBOLOGIA</b>
--- Sectores
--- Curvas de nivel
--- Acercías
--- Red vial nacional
--- Red vial vecinal
--- Áreas urbanas
--- Áreas agrícolas



### **3.1.- Aspectos climáticos**

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

#### 4.- ANTECEDENTES

La historia sísmica del Perú ha mostrado que su borde occidental presenta un alto índice de ocurrencia de eventos sísmicos y que 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).

El alto riesgo en la zona costera de Perú, se ha incrementado desde los años 80 debido a que muchas de las ciudades y/o localidades han soportado procesos continuos de migración de población proveniente del interior del país y ante la falta de una adecuada planificación urbana y de acertadas políticas de planeamiento, los inmigrantes han ocupado zonas de riesgo ante la ocurrencia de peligros como los sismos, tsunamis y otros efectos secundarios. A estos escenarios, se suma el hecho de que las viviendas fueron construidas de manera inadecuada, sin seguir criterios de ordenamiento territorial y mucho menos, respetando la Norma E.030 de Diseño Sismorresistente. Es común ver en algunas ciudades, como las viviendas se asientan en laderas de cerros, ríos, cauces de quebradas secas y zonas de terrazas inundables sin medir su vulnerabilidad, pero si, incrementando el riesgo en dichas zonas.

Considerando que el causante directo de los daños que producen los sismos en las ciudades, es la calidad de los suelos sobre el cual se encuentran las viviendas y otras obras de ingeniería, en el año 2005, la Asociación Peruana de Empresas de Seguros (APESEG) y el Centro de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) realizaron un importante aporte para la mejora en la Gestión de Riesgos de Lima Metropolitana con el estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico en 42 Distritos de Lima y Callao (Microzonificación Sísmica), el mismo que se constituyó como información primaria y de base para cualquier otra investigación orientada a la gestión de riesgos en el Perú (Figura 3). Como parte de este esfuerzo, el Instituto Geofísico del Perú, realiza estudios similares en los Distritos de Pucusana, Santa María, San Bartolo, Punta Negra, Punta Hermosa, Santa Rosa y El Agustino, permitiendo completar la información para el total de los distritos que conforman el área de la ciudad de Lima Metropolitana.

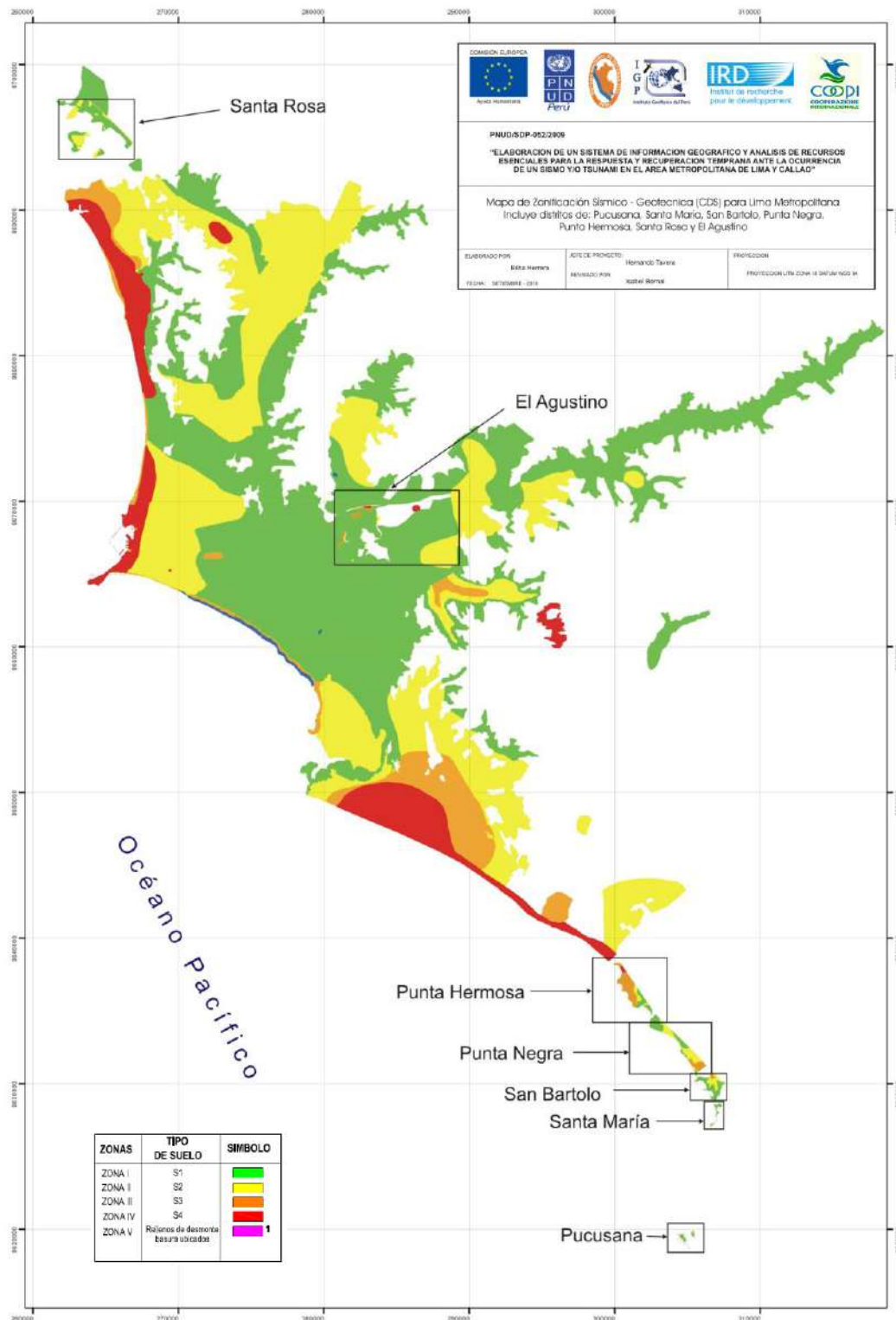


Figura 3: Mapa de Zonificación de suelos para Lima Metropolitana elaborado por el CISMID (APESEG, 2005) y complementado por el IGP (distritos en recuadro) dentro del proyecto PNUD (PNUD, 2010)

A partir del año 2012 y dentro del Programa Presupuestal por Resultados N°068 “Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres”, el Instituto Geofísico del Perú (IGP) continúa con la realización de los estudios de Zonificación Sísmica-Geotécnica en las áreas urbanas de Chosica, Chaclacayo, Huaycán y Carapongo, todos ubicados en el departamento de Lima. En el año 2013, los estudios son realizados en las ciudades de Chimbote y Huarmey del departamento de Ancash; además de Barranca y Huacho del departamento de Lima. En el año 2014, estudios similares son realizados en las ciudades de Acarí, Bella Unión, Yauca, Chala, Camaná, Arequipa, Punta de Bombón y Cocahacra, todas ubicadas en el departamento de Arequipa.

Durante el año 2015, el IGP realiza los estudios de Zonificación Sísmica-Geotécnica en las ciudades de Asia, San Vicente de Cañete, Cerro Azul, Chancay, Huaral, Lunahuana y Mala en el departamento de Lima; además, de la ciudad de Casma en el departamento de Ancash. **Los resultados obtenidos para la Ciudad de San Vicente de Cañete son presentados en este informe bajo el siguiente título: “Zonificación Sísmica – Geotécnica del área urbana de la Ciudad de San Vicente de Cañete”.**

#### 4.1.- Estudios previos

Para la ciudad de San Vicente de Cañete, se ha recopilado información sobre estudios previos de geología, geotécnica, sísmica y geofísica realizados por diversos investigadores e instituciones, en razón que ella fue considerada de base para proyectar los objetivos del presente estudio, además de complementar los resultados a obtenerse. Entre los principales documentos técnicos consultados, se tiene a los siguientes:

*INDECI-PNUD-PER/02/051 Ciudades Sostenibles (2008): Mapa de peligros, plan de usos de suelo ante desastres y medidas de mitigación en San Vicente de Cañete, Imperial y Nuevo Imperial. En el estudio se identifica a los peligros geológicos más relevantes que afectan a la ciudad de San Vicente de Cañete: sismos e inundaciones por desbordes de las acequias San Miguel, Tercer Mundo, Huanca y la quebrada Pócoto. En el estudio de elaboran los mapas de microzonificación sísmica y de capacidad portante de suelos, llegándose a*

identificar la presencia de tres tipos de suelos según la norma de construcción sismorresistente vigente en el Perú.

*INDECI (2002): Mapa de peligros, plan de usos del suelo y propuesta de las medidas de mitigación de los efectos producidos por los desastres naturales en las ciudades de la provincia de Cañete. En el informe se describe a los peligros naturales presentes en la zona, así como sobre la elaboración de calicatas en San Vicente de Cañete, Cerro Azul, San Luis, Imperial, Nuevo Imperial y Lunahuaná, todas analizadas bajo normas estándares ASTM (American Society of Testing Materials). Se realizó la clasificación de suelos especificando su capacidad portante, lo cual permitió identificar los sectores críticos en cada distrito en estudio.*

*INRENA (2001). Estudio hidrogeológico del valle Cañete. El estudio considero la evaluación del estado actual de los recursos hídricos subterráneos a fin de conocer las características de las principales fuentes de agua, la explotación actual y, la reserva de agua almacenada en el acuífero así como también; las posibilidades futuras de explotación de las aguas subterráneas en el valle.*

*INGEMMET (1985): Estudio Geodinámico de la cuenca del río Cañete. Analiza y evalúa a los principales procesos de geodinámica externa relacionados a los factores hidrológicos y masas rocosas de la cuenca del río Cañete. Indica que los principales fenómenos geodinámicos son los huaycos, inundaciones, erosiones e inestabilidad de taludes que afectan a terrenos de cultivo, poblaciones y vías de comunicación. Complementa el estudio con la evaluación geodinámica y seguridad física de los centros poblados y lagunas más importantes de la cuenca del río Cañete.*

*Salazar y Landa (1993): Geología de los cuadrángulos de Mala, Lunahuaná, Tupe, Conayca, Chinca, Tantará y Castrovirreyna. Los autores describen la litología de las distintas unidades geológicas del cuadrángulo de Chincha y en donde se encuentra la ciudad de San Vicente de Cañete. Las unidades litológicas identificadas son: rocas sedimentarias de las formaciones Cañete y Paracas, así como la presencia de depósitos cuaternarios.*

*Alva, J. (1983): Breve historia de la licuación de suelos en el Perú. El autor elabora el mapa de distribución espacial de procesos de licuación de suelos ocurridos en Perú, sobresaliendo en el caso de la ciudad de San Vicente de Cañete, los ocurridos durante los sismos de 1943 y 1974.*

## 5.- CONDICIONES LOCALES DE SITIO

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

Las condiciones locales de sitio son evaluadas en los estudios de Zonificación Sísmica-Geotécnica y el resultado es considerado como una de las herramientas disponibles más importantes para minimizar los daños producidos por los sismos. La finalidad es evaluar el *comportamiento dinámico de los suelos* (CDS) teniendo en cuenta que la intensidad de las sacudidas sísmicas varía considerablemente a distancias cortas y áreas pequeñas. Diversos estudios muestran, que los suelos ante la incidencia de ondas sísmicas asociadas a movimientos débiles y/o fuertes, responden de acuerdo a sus condiciones locales, pudiendo estos modificar el contenido frecuencial de las ondas y/o generar amplificaciones de las ondas sísmicas (Hartzell, 1992; Beresnev et al., 1995; Bard 1995; Lermo y Chávez-García, 1993, 1994 a,b; Bard y Sesame, 2001; Bernal, 2002).

Las metodologías a seguir para lograr el mayor conocimiento sobre el comportamiento dinámico del suelo o efectos de sitio en regiones de moderada a alta sismicidad, consideran los estudios geológicos, geomorfológicos, geotécnicos, sísmicos y geofísicos (Figura 4a). Cada uno de estos campos de investigación proveen de información básica sobre las observaciones de campo y la toma de datos in situ, para lo cual es necesario disponer de mapas catastrales actualizados de las zonas en estudio, así como los correspondientes a las zonas de futura expansión urbana.

En conclusión, los efectos que produce cada tipo de suelo sobre la propagación y amplitud de las ondas sísmicas, permiten tipificar los suelos y estimar su comportamiento dinámico. El resultado final es el Mapa de Zonificación Sísmica-

Geotécnica que debe constituirse como el documento más importante en las tareas y programas de gestión del riesgo ante la ocurrencia de sismos.

Estudios complementarios que deben realizarse son aquellos que considera la evaluación de elementos expuestos; es decir, conocer el tipo, la calidad y edad de las construcciones; además, de capacidad de respuesta de los tomadores de decisiones, así como de la misma población. Para estos últimos actores, es importante su participación y compromiso con los simulacros que a nivel nacional realiza INDECI, ellos deben ser replicados en las familias, colegios, universidades y empresas, cualquiera sea su razón social (Figura 4b).

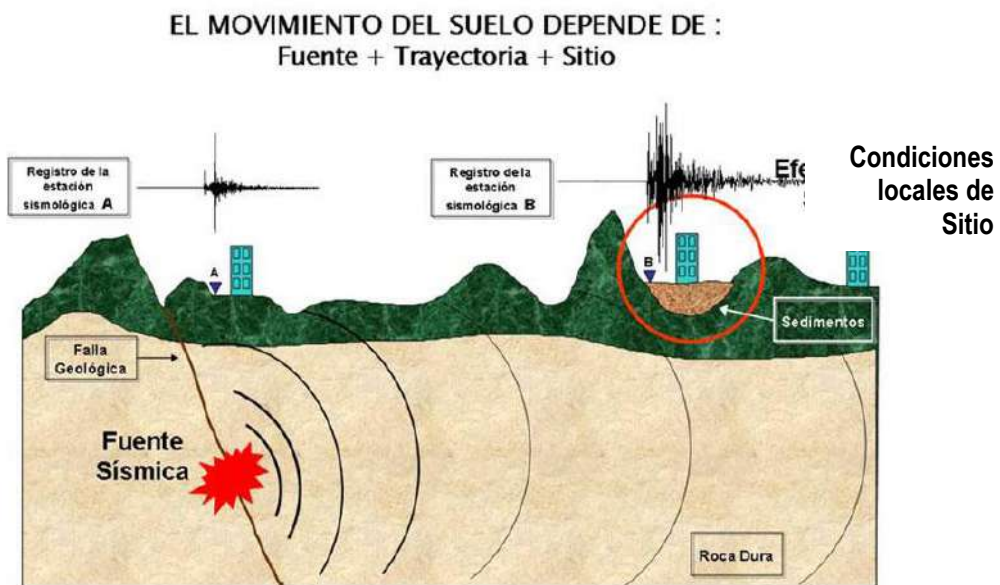


Figura 4a: Las condiciones locales de sitio controlan la amplificación del sacudimiento del suelo, puesto en evidencia con la amplitud del registro sísmico obtenido sobre roca y sedimentos.



Figura 4b: Simulacro de sismo en La Unidad de Gestión Educativa Local N° 08 Cañete.

## 6.- NORMA E.030, DISEÑO SISMORRESISTENTE

En Perú, la construcción de obras civiles de cualquier envergadura debe considerar las indicaciones contenidas en el Reglamento Nacional de Construcción o “Norma E-030, Diseño Sismorresistente (2016)”. Básicamente, esta norma considera la clasificación de los suelos en función de sus propiedades mecánicas, espesor de estrato, período fundamental de vibración y velocidad de propagación de las ondas de corte ( $V_s$ ). La Norma E-030, establece que los suelos pueden ser clasificados en cuatro tipos:

*.- **Suelos duros (Tipo S1).** Corresponden a suelos en los cuales la velocidad de propagación de la onda de corte varía entre 750 y 1500 m/s.*

*.- **Suelos intermedios (Tipo S2).** Suelos con características intermedias entre las indicadas para los suelos  $S_1$  y  $S_3$ .*

*.- **Suelos flexibles o con estratos de gran espesor (Tipo S3).** Corresponden a suelos que presentan velocidades de ondas de corte menor e igual a 180 m/s.*

*.- **Condiciones excepcionales (Tipo S4).** A este tipo corresponden los suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables.*

En general, para cualquier estudio se deberá considerar el tipo de suelo que mejor describa las condiciones locales de cada zona de interés. Para este estudio, la Zonificación Sísmica – Geotécnica se realiza en función de las características mecánicas y dinámicas de los suelos que conforman el terreno de cimentación del área de estudio y de las consideraciones dadas por la Norma 3-030 Diseño Sismorresistente). En tal sentido 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. Corresponden a suelos Tipo S1 de la norma sismorresistente peruana. En la zona la velocidad de las ondas de corte ( $V_s$ ) varía entre 500 y 1500 m/s.

**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, correspondiendo a suelos Tipo S2 de la norma sismorresistente peruana. En la zona la velocidad de las ondas de corte ( $V_s$ ) varía entre 180 y 500 m/s.

**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 0.8 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 ( $V_s$ ) son menores a 180 m/s.

**ZONA IV:** Zona conformada por depósitos de arena eólicas de gran espesor, depósitos fluviales, depósitos marinos y suelos pantanosos. Los periodos predominantes para estos suelos son mayores que 0.7 s; por lo que, su comportamiento dinámico ha sido tipificado como suelo Tipo S4 de la norma sismorresistente peruana (Según la Norma E03, 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.

El periodo fundamental de las estructuras puede ser deducido de la fórmula propuesta por Rodríguez y Aristizabal (1998), donde  $T = N/\lambda$  (T, Periodo de la estructura; N=Número de niveles en la edificación y  $\lambda$ = Parámetro que depende de la rigidez del sistema estructural). Por ejemplo, según la Norma E-030 (2003), en el Perú el valor de  $\lambda$  es igual a 10 y el periodo dominante para una determinada estructura puede ser estimada con solo conocer el número de pisos de cada vivienda. Conocida la tipificación de suelos, son los ingenieros quienes deben proceder a estimar los valores indicados a fin de reducir la vulnerabilidad de las estructuras.

## **7.- METODOLOGÍA**

El estudio de Zonificación Sísmica – Geotécnica de la ciudad de San Vicente de Cañete se ha realizado con información recolectada en campo y con la aplicación de las metodologías que se detallan a continuación.

### **7.1.- Estudios de sismicidad**

Se hace uso del catálogo y Mapa Sísmico del Perú para describir las características sísmicas de la región en donde se encuentra la ciudad de San Vicente de Cañete (Tavera, 2014). Se describe las características de la sismicidad y de los sismos de mayor magnitud e intensidad ocurridos en la región a fin de comprender el porqué de los daños producidos por estos eventos durante el periodo histórico e instrumental. Para la sismicidad histórica se analiza la información contenida en Silgado (1978) y Dorbath et al, (1990), y la instrumental, a partir de la proporcionada en los reportes técnicos elaborados por la Unidad de Sismología de la Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida del Instituto Geofísico del Perú (IGP).

### **7.2 Estudios de peligro sísmico**

Este tipo de estudios considera, en términos de probabilidad, conocer la severidad sísmica o aceleración con la cual podría ser sacudida el área de estudio en un determinado periodo de tiempo, por ejemplo en 500 años de exposición. Para tal objetivo, se hace uso del catálogo sísmico y fuentes sismogénicas definidas por el Instituto Geofísico del Perú (Tavera et al, 2012), las ecuaciones de atenuación propuestas por Young et al (1997) y Sadigh et al (1997), y el algoritmo CRISIS-2007 (Ordaz et al, 2007). Los resultados permiten obtener mapas de iso-aceleraciones probabilísticas, siendo de importancia para proyectar el diseño de cualquier obra de ingeniería que pueda estar, en el futuro, expuesta a una demanda sísmica.

### **7.3.- Estudios geológicos y geotécnicos**

Estos estudios consideran la recolección, en campo, de información geológica, geomorfológica, geodinámica y de zonas susceptibles a deslizamientos y/o flujos. El

objetivo es identificar y conocer las características geológicas de los suelos en las áreas de interés y alrededores.

.- **Levantamiento geológico y geomorfológico.** Considera el desarrollo de trabajos de campo orientados a recopilar información sobre las características geológicas y geomorfológicas de carácter local, considerando bases de datos topográficos, de pendientes, drenajes, litología, uso de suelos y de áreas susceptibles a deslizamientos y/o flujos.

.- **Análisis geodinámico:** Considera la evaluación de los diversos procesos de intemperismo y meteorización que conducen a movimientos en masa, así como el inventario de los mismos teniendo en cuenta parámetros intrínsecos como la litología, pendientes, geomorfología, cobertura vegetal y drenaje. Asimismo, se realiza el análisis de los niveles de inundación por situaciones de crecida de ríos en épocas de lluvias intensas.

.- **Análisis geotécnico:** La geotecnia se encarga del estudio de las propiedades físicas y del comportamiento de los suelos y rocas, y para ello se aplican técnicas de exploración como la elaboración de calicatas, perforaciones, ensayos de mecánica de rocas, etc. Estos estudios se realizan con la finalidad de conocer los parámetros geotécnicos que ayudan al diseño de cimentaciones para estructuras tales como viviendas, edificios, puentes, carreteras, taludes, presas, etc. También permite identificar y solucionar problemas de asentamientos de suelos, licuación, expansividad y agresividad, entre otros.

En este estudio, la recolección de datos para los estudios geotécnicos se realiza mediante calicatas, ensayos de densidad de campo, muestreos con posteadora y ensayos de penetración ligera (DPL). Las características de estos métodos son:

.- **Exploraciones a cielo abierto (Norma ASTM D420):** Conocidas como calicatas y consiste en realizar excavaciones de profundidad superficial (hasta 3 metros) con ayuda de una retroexcavadora. En general las dimensiones son de 1.5 m x 1.5 m de lado x 3.0 m. El objetivo es extraer muestras de suelo para realizar análisis dos tipos de análisis, el primero considera se realiza los análisis granulométricos, límites de elasticidad y contenido de humedad para conocer la clasificación de los suelos de acuerdo al Código SUCS. La segunda muestra se

utiliza para el análisis de corte directo; es decir, realizar la aplicación de cargas diferenciadas hasta que la muestra falle, lo cual permite determinar la capacidad portante del suelo (capacidad admisible última). Si la muestra de suelo es grava sin contenido de arena y no es posible aplicar el ensayo de corte directo, se aplica el de densidad máxima y en ambos casos, se estima el valor de capacidad portante (Figura 5).

.- **Densidad de suelo in situ** (Norma ASTM D1556): Consiste en evaluar la relación entre la masa de los suelos (sólidos y líquidos) y el volumen total de un suelo. Para tal objetivo se realiza el ensayo de densidad de campo con el uso del método del cono, el cual permite conocer la densidad y el contenido de humedad del suelo en condiciones naturales. Su aplicación permite conocer la compactación de las partículas que conforman el suelo, más compactos indica mayor resistencia a la deformación (Figura 5).



Figura 5: Calicata elaborada en San Vicente de Cañete y ensayo de densidad de suelo mediante el método del Cono de Arena.

.- **Exploraciones con posteadora manual** (Norma ASTM D1452): Se define como posteadora a un barrenador manual en forma de “T” que permite realizar sondeos exploratorios (perforaciones) en suelos blandos (arcillas y arenas) hasta una profundidad de 6 metros, procedimiento que permite obtener muestras de suelo. Aunque estas muestras son trituradas, sirven para conocer el tipo de

suelo y el contenido de humedad. La técnica no es útil en suelos compuestos por gravas y gravillas (Figura 6).



Figura 6: Posteadora y muestras obtenidas en suelos de San Vicente de Cañete

.- **Ensayo de Penetración Dinámica Ligera – DPL (Norma DIN4094):** Consiste en un equipo de campo y registro continuo sobre el número de golpes necesarios para hacer penetrar un tramo de varillaje a lo largo de todo el ensayo. Permite estimar la resistencia del material (suelo) al hincado del cono dinámico. En este caso, la exploración solo es aplicable en terrenos arenosos, arcillosos y limo – arcillosos (Figura 7).



Figura 7: Equipos, accesorios y técnica de DPL

**.- Ensayo de Corte Directo** (Norma ASTM D3080): Permite determinar la resistencia al esfuerzo de corte de una muestra de suelo, sometida a fatigas y/o deformaciones que se simula a la que existiría en el terreno al aplicarse una carga. Esta resistencia se debe a la cohesión (comportamiento plástico de las partículas de una muestra) y el ángulo de fricción interna o rozamiento entre las partículas granulares.

En base a la información geotécnica recopilada en las calicatas se realiza la clasificación SUCS de los suelos. Esta clasificación fue propuesta por Arturo Casagrande y sus modificaciones fueron realizadas en el año 1942, siendo actualmente la más utilizada a nivel mundial para la clasificación de suelos desde un punto de vista geotécnico. La SUCS clasifica a los suelos en:

- Suelos de grano grueso
- Suelos de grano fino
- Suelos orgánicos

Los suelos de grano grueso y fino se distinguen mediante el tamizado del material por el tamiz No. 200. Los suelos de granos gruesos corresponden a los retenidos en dicho tamiz y si representan más del 50%, los suelos son clasificados como tal, caso contrario son considerados como suelos de grano fino. Cada tipo de suelo se designa por símbolos de grupo acompañados de un prefijo y un sufijo. Los prefijos son las iniciales de los nombres en inglés de los seis principales tipos de suelos (grava, arena, limo, arcilla, suelos orgánicos de grano fino y turbas); mientras que, los sufijos indican subdivisiones en dichos grupos:

<i>G = Grava</i>	<i>C = Arcilla</i>	<i>L = Baja plasticidad</i>
<i>S = Arena</i>	<i>O = Limo o arcillas Orgánicas</i>	<i>W = Bien graduado</i>
<i>M = Limo</i>	<i>H = Alta plasticidad</i>	<i>P = Mal graduado</i>

La segunda muestra debe ser utilizada para el análisis de corte directo; es decir, realizar la aplicación de cargas diferenciadas hasta que la muestra falle, lo cual permite determinar la capacidad portante del suelo (capacidad admisible última). Si la muestra de suelo es grava sin contenido de arena y no es posible aplicar el ensayo de corte directo, se aplica el de densidad máxima y en ambos casos, se estima el valor de capacidad portante.

## 7.4.- Estudios sísmicos y geofísicos

Estos estudios consideran la recolección, en campo de información sísmica y geofísica, además de la aplicación de técnicas y metodologías orientadas a conocer el comportamiento dinámico del suelo y/o sus propiedades físicas.

.- **Método de H/V:** considera como hipótesis de base que las vibraciones ambientales o microtemores generadas por la actividad humana se deben principalmente a la excitación de las capas superficiales al paso de ondas superficiales del tipo Rayleigh. El registro de esta información y su interpretación, permite conocer el periodo natural de vibración del suelo y el factor de amplificación, parámetros que definen su comportamiento dinámico ante la ocurrencia de eventos sísmicos. Estos resultados son correlacionados y complementados con los obtenidos de los estudios geofísicos, geológicos, geomorfológicos, geodinámicos y geotécnicos. Para los registros de vibración ambiental se utiliza el equipo sísmico compuesto por un registrador tipo CitySharp y sensores de tres componentes de registro tipo Lennartz (Figura 8).



Figura 8: Equipo sísmico utilizado para el registro de vibraciones ambientales en San Vicente de Cañete: sensores Lennartz (2N) y registrador CityShark

En la Figura 9, 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 CN-278 presenta bajos niveles de ruido; mientras que, la señal en CN-30, presenta diversidad de pulsos de variada amplitud (ruido), que al momento de su análisis, pueden ser filtrados, para no afectar a la información a utilizarse en el estudio.

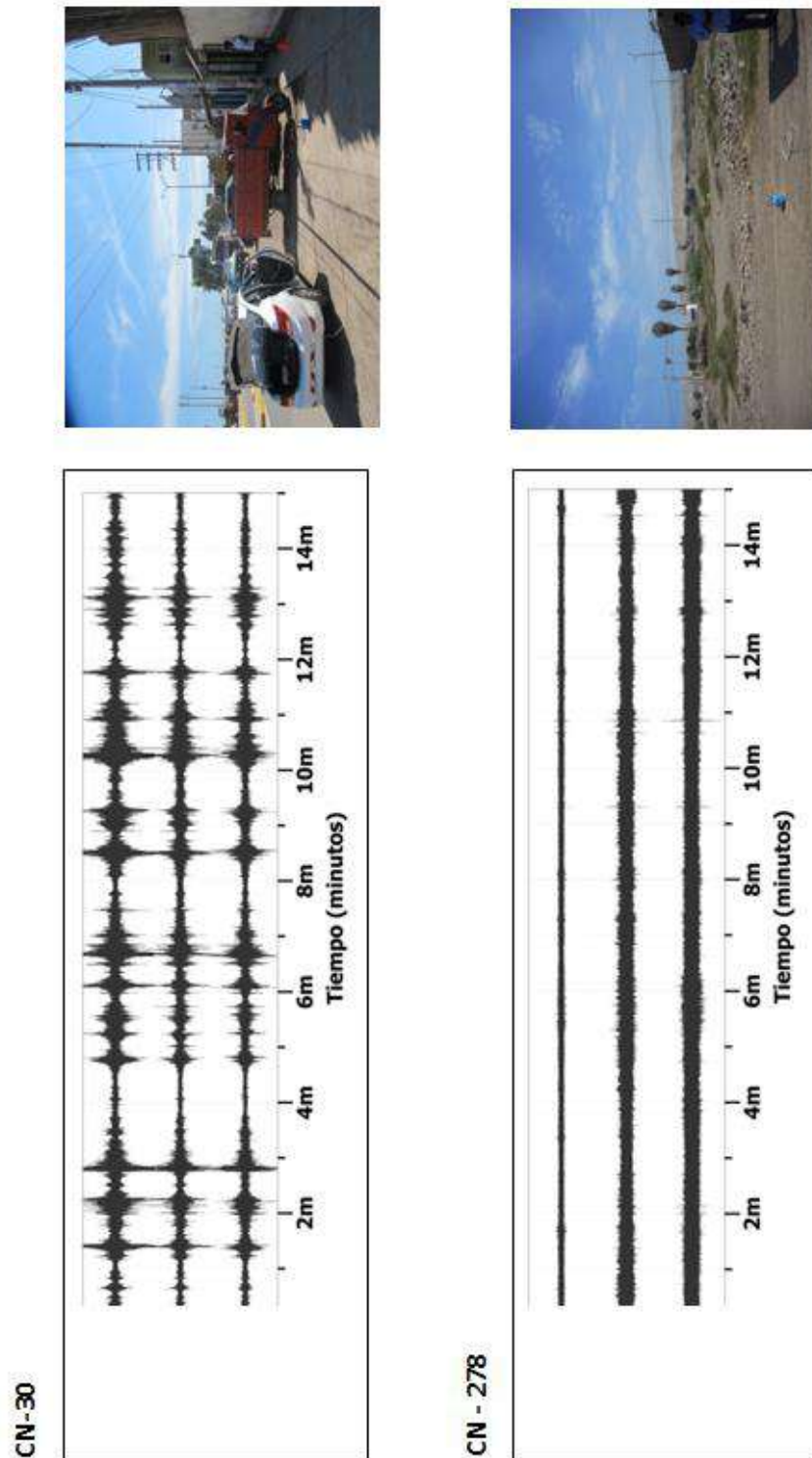
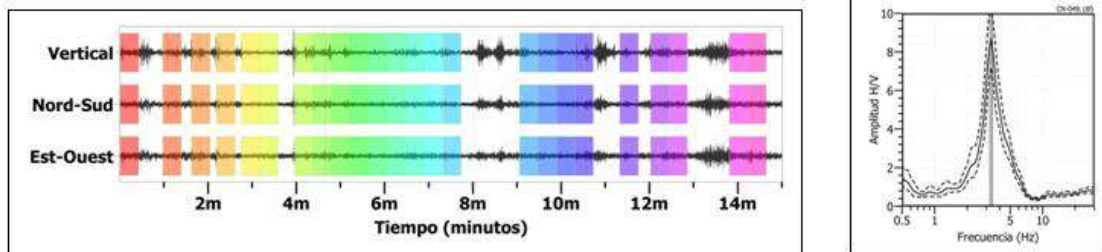


Figura 9: Ejemplos de la disposición del equipo sísmico para el registro de vibraciones ambientales. Ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos sobre un punto de registro sin presencia de ruido de fondo (CN-278) y otro con ruido transitorio (CN-30). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.

Con la información disponible, se procede a construir las razones espectrales H/V (registros de las componentes horizontales / registros en la componente vertical) a fin de identificar las frecuencias predominantes y amplificaciones relativas que caracterizan al tipo de suelo presente en el área de estudio (ver Figura 10), las mismas que están definidas por las condiciones geológicas y geomorfológicas de las primeras decenas de metros por debajo de la superficie. Debe entenderse que la variación de las propiedades físicas de cada capa estratigráfica superficial de diferente espesor, geometría y composición litológica, causaran o no, la amplificación de las ondas sísmicas incidentes, propiedad que es utilizada para conocer las características físicas del suelo.

CN -49



CN-102

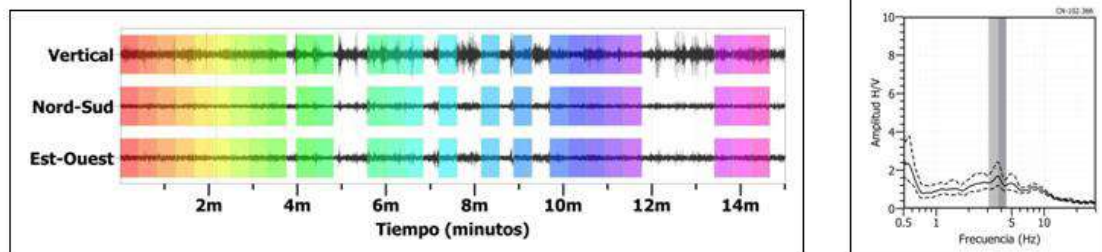


Figura 10: Ejemplo de selección de ventanas de registro de vibración ambiental (rectángulos de colores) y gráficos de H/V. CN-49: Registros y razón H/V donde se identifica la presencia de un pulso predominante de gran amplitud. CN-102: Registros y razón H/V en el cual no se observa picos predominantes. La líneas gruesas en los gráficos H/V indican el promedio de las curvas de razones espectrales y las líneas discontinuas su desviación estándar.

Para aplicar la técnica H/V, se considera la siguiente secuencia:

- Los registros de vibración ambiental son tratados por ventanas 20 segundos de señal no perturbada por el ruido de fondo. Para tal efecto, se selecciona de manera 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 divide entre el espectro vertical para obtener la relación H/V y luego se promedia los valores para cada punto de observación, considerando su respectiva desviación estándar. Luego se procede a identificar la frecuencia predominante considerando, como condición, presentar una amplificación relativa mayor a 2 veces.

Para definir la frecuencia predominante se consideraron tres criterios (Lermo y Chávez-García -1994 a,b; Lachet y Bard, 1994): primero, debe estar presente en un rango de interés que fluctúa entre 1 a 20 Hz; segundo, debe presentar amplificaciones relativas de al menos 2 veces (se considera la amplitud de “1” como punto de referencia) y por último, se considera el pico/rango de frecuencias más representativos para cada punto de medida.

Finalmente, para la presentación de los resultados, las frecuencias son expresadas en periodos dominantes.

.- **Método de Arreglos Lineales:** Se hace uso de tendidos lineales de 24 sensores sísmicos a fin de registrar ondas de volumen y superficiales generadas por fuentes artificiales. Con este procedimiento se pretende conocer la velocidad de las ondas de corte (ondas S) utilizando el método MASW; es decir, conocer los cambios de velocidades a lo largo de los diversos estratos existentes en el subsuelo (Figura 11).

La aplicación de esta técnica permite determinar las características físicas del subsuelo de manera indirecta, basándose en el comportamiento de las ondas sísmicas al pasar por distintos medios, permitiendo de este modo, definir el perfil de velocidades de las ondas de corte ( $V_s$ ) que caracteriza a dicha línea. La interpretación de la información recolectada proporciona una curva de dispersión (velocidad de fase de las ondas superficiales versus la frecuencia) para las ondas superficiales, ya que estas conservan hasta el 90% del valor de la velocidad de las ondas de corte ( $V_s$ ). Luego mediante un procedimiento de cálculo iterativo inverso se obtiene el perfil de velocidad de las ondas de corte ( $V_s$ ) para el punto medio de cada línea de estudio. La aplicación de un nuevo cálculo iterativo inverso, permite conocer el periodo predominante teórico

correspondiente al perfil de velocidades, el cual es correlacionado con el obtenido con la técnica H/V a fin de validar ambos resultados.

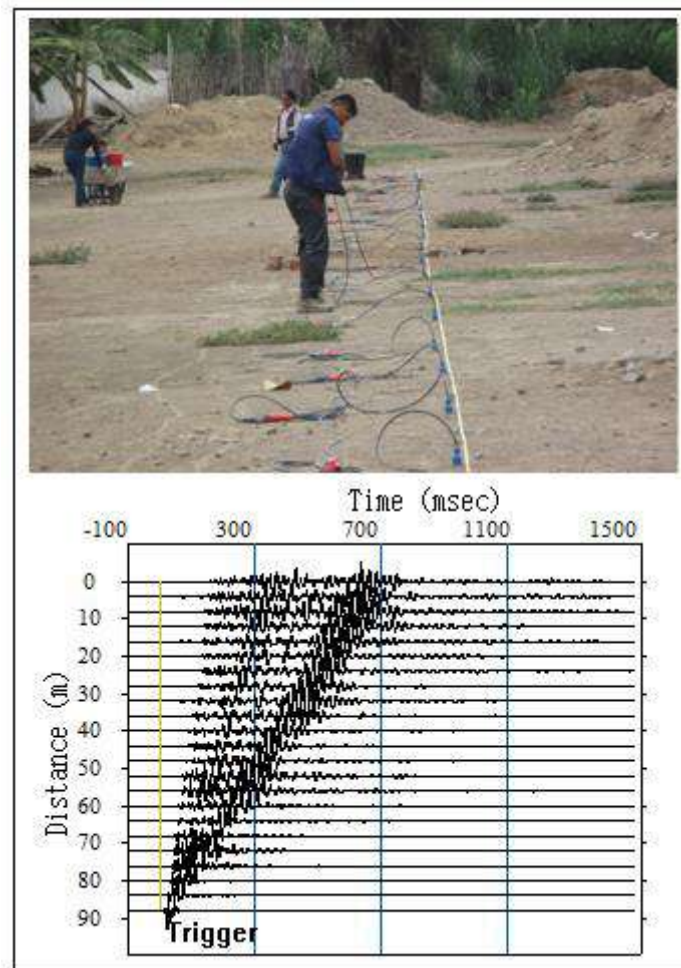


Figura 11: Disposición del equipo de refracción sísmica y trazas obtenidas en la ciudad de Cañete

.- **Método de Prospección Eléctrica:** Tiene por objetivo determinar la distribución real del parámetro resistividad del subsuelo hasta un cierto rango de profundidad a lo largo de un perfil de medida. Para ello se considera los valores de resistividad aparente obtenidos mediante medidas realizadas por métodos convencionales de corriente continua. En este estudio se considera solo los perfiles realizados en la superficie del terreno (Figura 12).

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. La profundidad de investigación depende del dispositivo empleado de acuerdo al interés del estudio.



Figura 12: Disposición del equipo de prospección eléctrica en la ciudad de Cañete

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 los valores de resistividad.

En este estudio se considera 5 rangos de resistividad (Muy alto resistivo, Alto resistivo, 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. Debe considerarse que estos materiales estarán bajo condiciones de ausencia de agua, pero 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.*

*.- Resistivo o Resistividad Moderada (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. Así mismo, 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 están referidos a suelos con presencia de agua, material orgánico y/o 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.*

El resultado final para este tipo de estudio, es una imagen distancia-profundidad con la distribución de la resistividad real del subsuelo, fácilmente comprensible en términos geológicos y geotécnicos.

## 8.- ASPECTOS SISMOLÓGICOS

El distrito y la ciudad de San Vicente de Cañete se encuentran ubicados en el borde occidental de la región central del Perú; por lo tanto, ha sido, es y será afectada en el tiempo por sismos de variada magnitud que pueden o no causar daños en superficie. Desde este punto de vista, es importante conocer las características de la actividad sísmica en la región, ya que puede presentarse el escenario de que sismos de gran magnitud generen tsunamis. Del mismo modo, se debe estimar de manera probabilística los posibles valores de aceleración a presentarse en el futuro ante la ocurrencia de sismos de gran magnitud a fin de que sean considerados en los nuevos proyectos asociados al desarrollo urbanístico de la ciudad.

### 8.1.- Sismicidad

El borde occidental del Perú, se constituye como la principal fuente generadora de sismos y tsunamis, siendo los de mayor magnitud los que han causado grandes niveles de daños y pérdidas de vidas humanas. Dentro de este contexto, el borde occidental de la región central presenta actividad sísmica de tipo superficial (profundidad menor a 60 km) e intermedia (profundidad entre 61 y 350 km), siendo los primeros de mayor peligro debido a que frecuentemente alcanzan magnitudes elevadas y al tener sus focos cerca de la superficie, producen daños y efectos importantes en las ciudades costeras, y una de estas ciudades es Cañete (Figura 13).

Según información histórica, los sismos que probablemente causaron daño y destrucción en el área urbana de Cañete fueron los siguientes (Silgado, 1978):

- .- Los Terremotos de Lima y Callao de 1687, ocurrieron el 20 de octubre de 1687, asolando toda la costa central del Perú, entre Chancay y Pisco. Fueron dos sismos de gran intensidad, el primero se produjo a las 4:15 de la mañana y el segundo a las 5:30 aproximadamente, al que siguió un tsunami que arrasó el puerto del Callao y otras localidades costeras. En Lima murieron unas 100 personas, aparte de otras en varias localidades costeras ubicadas entre Chancay y Pisco. Estas mismas localidades habrían sido también inundadas por el mar, a punto tal que muchos de sus habitantes tuvieron que trasladarse y refundarse a una legua del mar.*

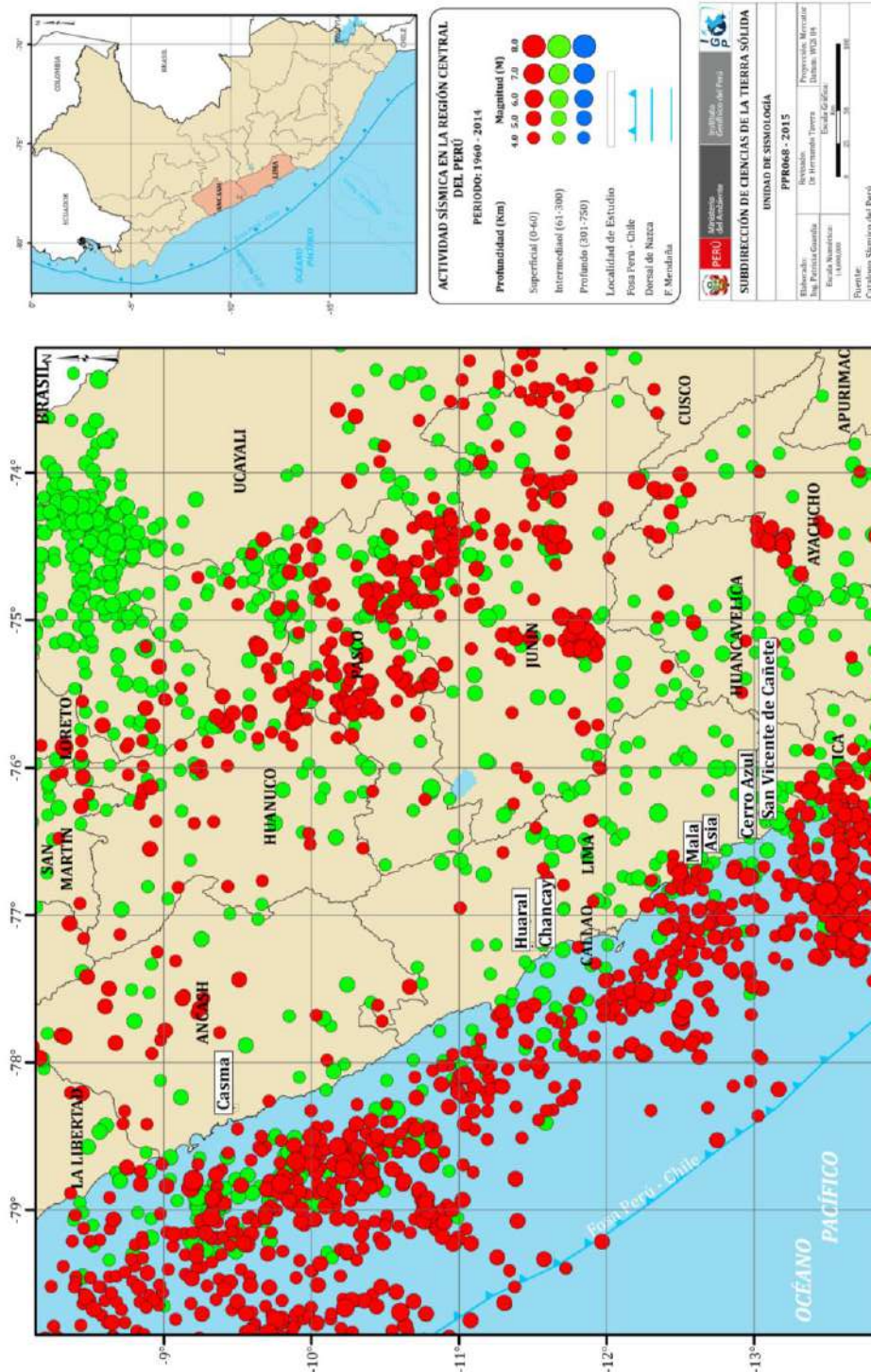


Figura 13: Mapa de sismicidad regional para el borde occidental de la región central del Perú. Los círculos en rojo corresponden a sismos de foco superficial y los verdes, a sismos de foco intermedio.

- En 1966, otro terremoto con epicentro frente a la zona costera de Chancay causó graves daños al llamado Norte Chico, y en el área de Lima-Callao. El terremoto se sintió fuerte en la zona sur de Lima hasta la ciudad de Cañete. En la catedral

*del Callao, mientras se celebraba una ceremonia 24 personas murieron al caer parte de paredes, también se produjo un moderado tsunami que causó graves daños en el Callao y en Pucusana. En total el sismo cobró 200 vidas, de las cuales 100 murieron en Lima-Callao.*

- .- Recientemente, en el año 2007 el departamento de Ica y la provincia de Cañete fue afectada por un sismo de gran magnitud que ocasionó la destrucción de muchas viviendas en Cerro Azul, además de un tsunami que produjo daños parciales a bienes de propiedad de los pescadores locales. Este sismo y tsunami deben ser considerados por las autoridades y población en general, como el preámbulo de escenarios mayores de podrían generar sismos de mayor magnitud y con epicentros cercanos a la ciudad. Es importante que la población de Cañete comprenda que los sismos y tsunamis son cíclicos en el tiempo y la única manera de sobrevivir es preparándose a fin de hacerse menos vulnerable. El sismo del año 2007 produjo en la ciudad de Cañete intensidades del orden de VII-VIII en la escala de Mercalli Modificada, produciéndose daños en viviendas construidas con material de adobe y/o muy antiguas.*

En la actualidad, del total de sismos que ocurren en Perú cada año, el 70% presentan sus epicentros en la zona costera y de ellos, cerca del 40% ocurren al sur de Lima y norte de la localidad de Paracas, afectando con diversas intensidades a la ciudad de San Vicente de Cañete. Según la historia sísmica de los departamentos de Lima e Ica, son muchos los terremotos que en el pasado afectaron a sus diversas ciudades y localidades, entre ellas la ciudad de Cañete por encontrarse cercana a la línea de costa. Sin embargo, no existen reportes que detalle estos sucesos y ello podría deberse a su escasa o dispersa población en varios núcleos urbanos desde su creación.

Por otro lado, en la Figura 15 se presenta el mapa de intensidades regionales para el periodo histórico (1400 – 1900) e instrumental (1961 – 2014), observándose que la zona costera de la región central fue afectada en el pasado por sismos que produjeron intensidades del orden de X-XI (MM); por lo tanto, San Vicente de Cañete es una ciudad expuesta a alto riesgo para el caso de sismos.

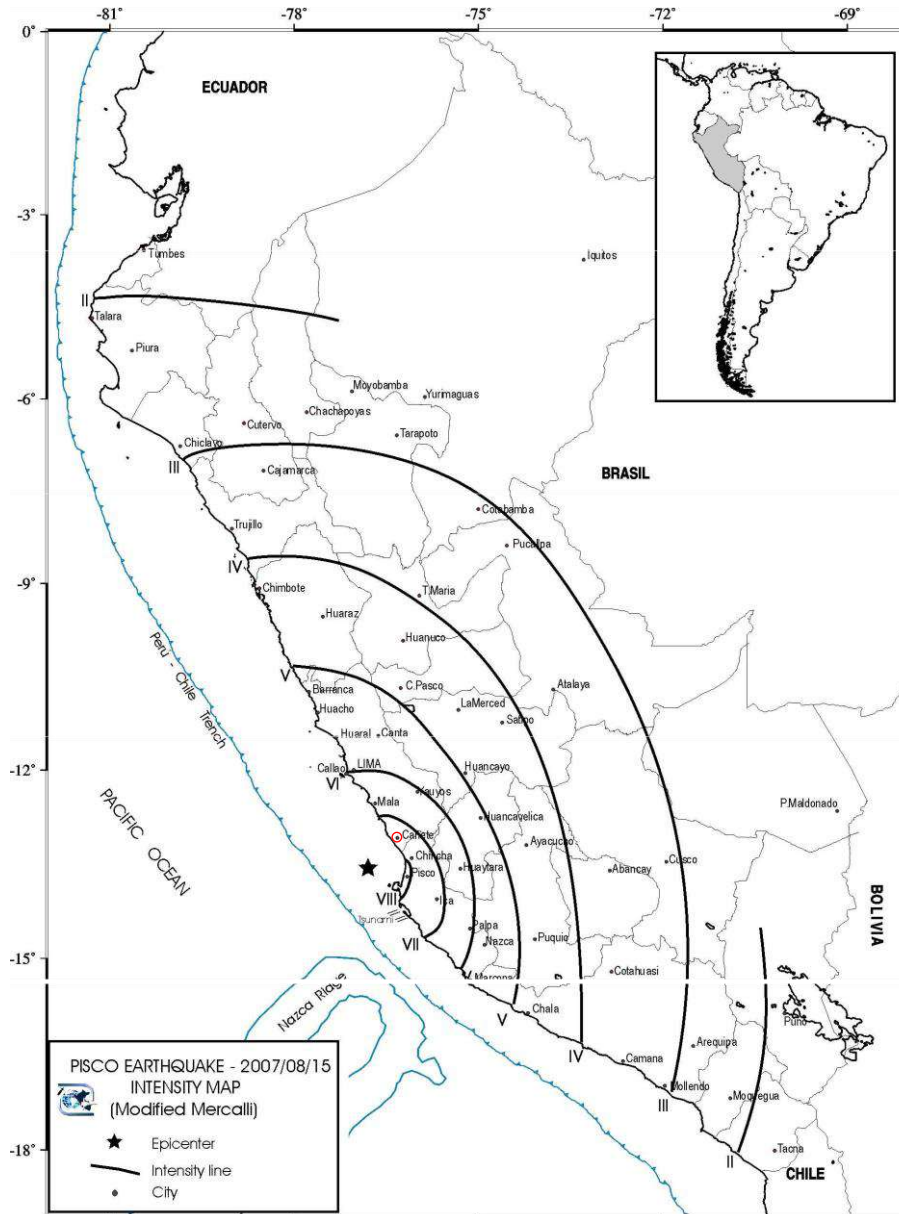


Figura 14: Mapa de isosistas para el terremoto del año 2007 que afectó a la ciudad de Cañete con intensidades del orden de VII-VIII en la escala de Mercalli Modificada

Por otro lado, en reciente informe elaborado por Tavera (2014), se indica que de acuerdo al monitoreo de la actividad sísmica y deformación cortical, se ha identificado en el borde occidental de la región central del Perú la existencia de dos importantes asperezas y/o zonas de acoplamiento sísmico que darían origen, en un futuro, a un sismo de magnitud del orden de 8.5 Mw (A-1 en la Figura 16). Esta información es corroborada por estudios realizados por Villegas-Lanza et al (2015) sobre la distribución de asperezas en el borde occidental del Perú. De acuerdo a estos estudios, el sismo sería comparable al ocurrido en el año 1746 y que afectó con intensidades mayores a VIII (MM) a todas las ciudades y/o localidades ubicadas en la

zona costera, desde Arequipa por el sur, hasta Chiclayo por el norte. En este escenario, la ciudad de Cañete podría soportar intensidades del orden de VIII (MM), pudiendo afectar a un gran número de viviendas de la ciudad. A fin de tener información más cuantitativa sobre los posibles daños a presentarse en la ciudad de Cañete, se debe complementar este estudio con evaluaciones catastrales y estructurales.

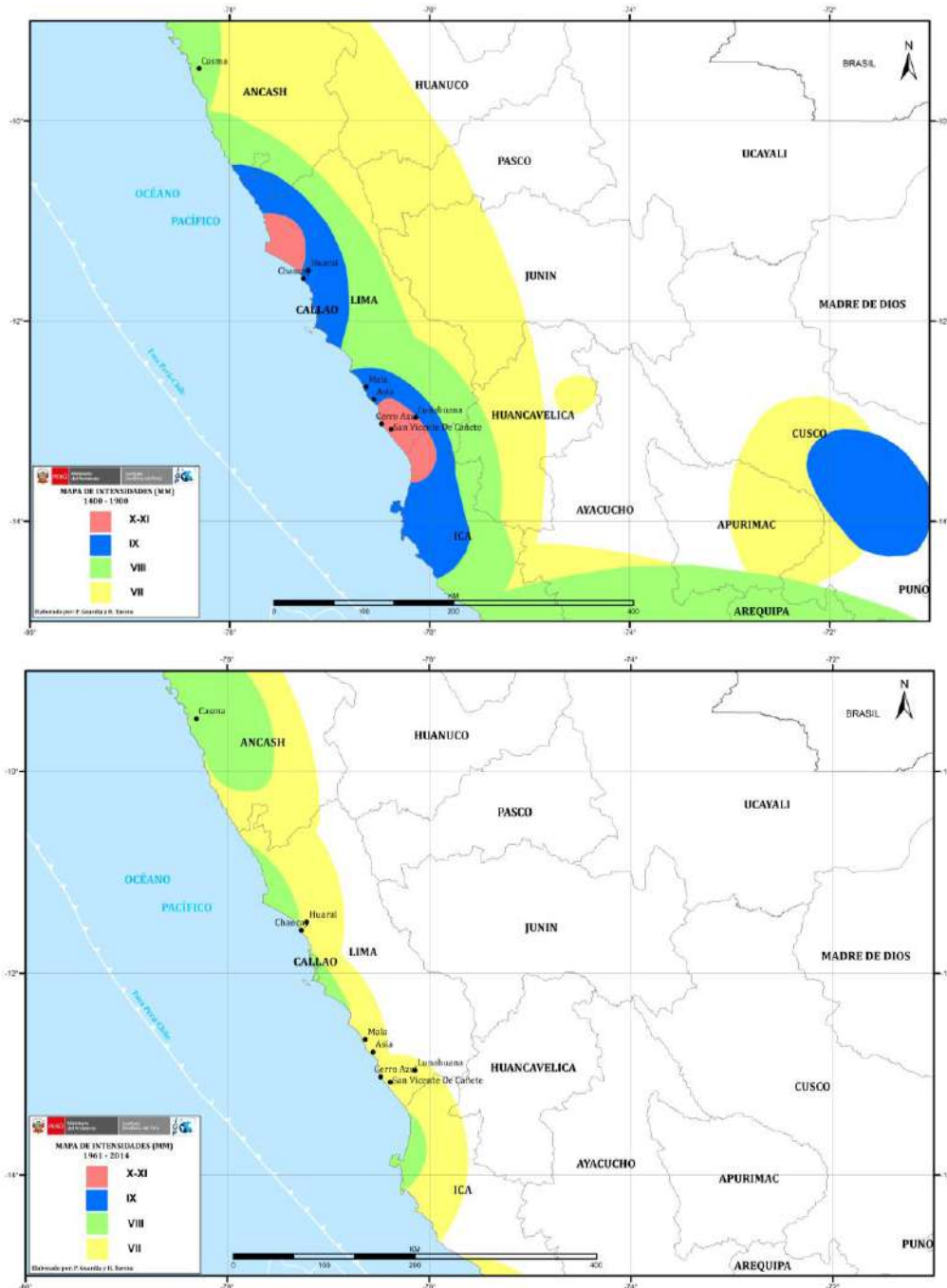


Figura 15: Mapas de isosistas (MM) correspondientes a sismos históricos (1400 – 1900) e instrumentales (1961 – 2014) ocurridos en el borde occidental de la región central del Perú

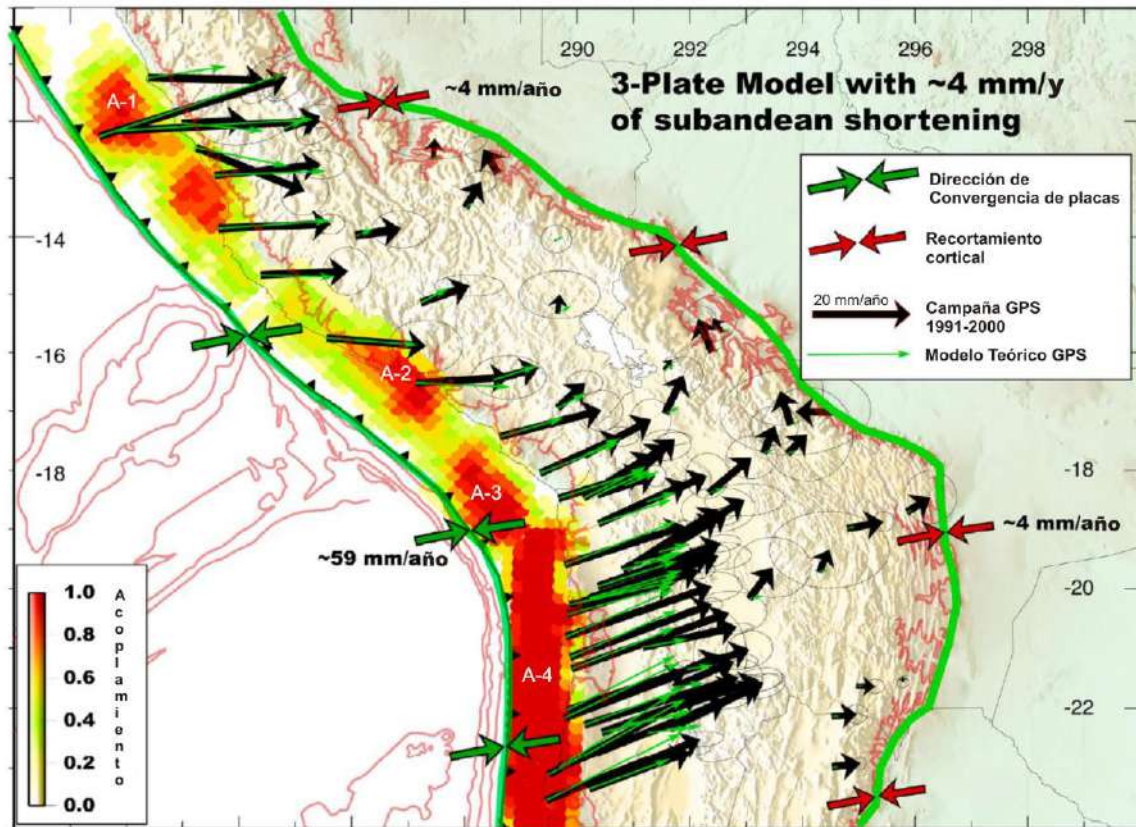


Figura 16: Mapa de asperidades y/o zonas de acoplamiento sísmico en el borde occidental de Perú-Chile obtenido a partir de datos de GPS y sísmicos. Las flechas negras corresponden a las medidas GPS in situ y las verdes a las obtenidas con el modelo teórico. La buena correlación sugiere la existencia de hasta cuatro asperidades (Chlieh et al, 2011).

## 8.2.- Peligro sísmico

Esta metodología permite conocer, en términos de probabilidad, la severidad sísmica con la cual podría ser sacudida un área en un determinado lapso de tiempo. Este parámetro es expresado en términos de aceleración y para tal efecto, se hace uso del catálogo sísmico y fuentes sismogénicas definidas por el Instituto Geofísico del Perú (Tavera et al, 2014), las ecuaciones de atenuación definidas por Young et al (1997) para fuentes de subducción y de Sadigh et al (1997) para las fuentes continentales. El algoritmo utilizado para el cálculo del peligro sísmico es el CRISIS-2007 (Ordáz et al, 2007).

Para el área que abarca la ciudad de Cañete se obtiene, para un periodo de retorno de 50 años con el 10% de excedencia, valores de aceleración entre 400 a 440 gals (Figura 17), equivalentes a intensidades del orden de VII-VIII (MM); es decir,

suficientes como para producir daños estructurales, deslizamientos y posibles escenarios de licuación de suelos.

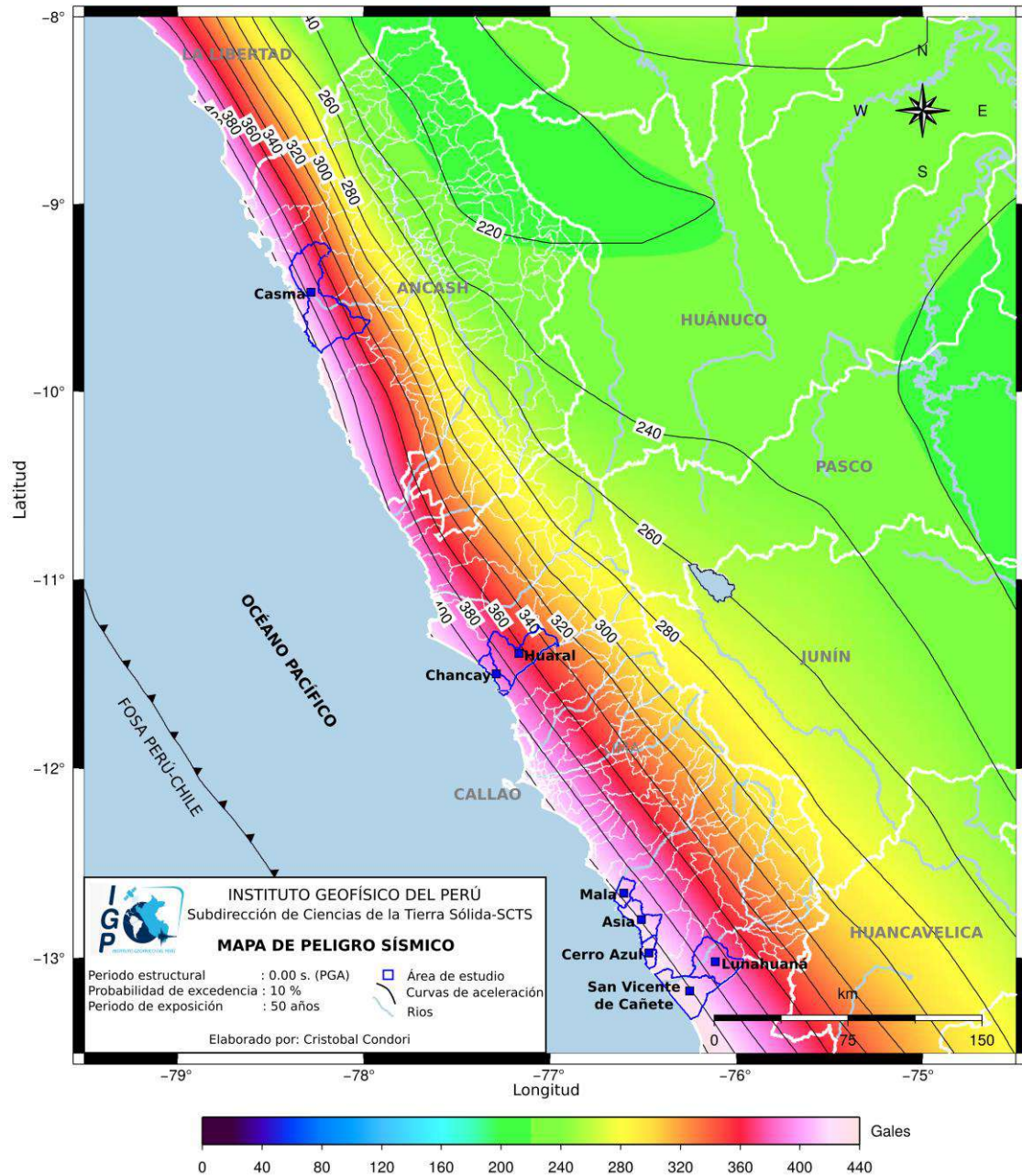


Figura 17: Peligro Sísmico para el borde occidental de la región central del Perú correspondiente a un periodo de retorno de 50 años con el 10% de excedencia.

## 9.- GEOMORFOLOGÍA, GEOLOGÍA Y GEODINÁMICA

### 9.1. Geomorfología

Los rasgos geomorfológicos presentes en la ciudad de Cañete y alrededores son el resultado de la interacción de fuerzas endógenas y exógenas. Las primeras actúan como fuerzas creadoras de las grandes elevaciones y depresiones formadas principalmente por movimientos de componente vertical y las segundas, como desencadenantes de una continua denudación que tiende a rebajar el relieve originado, estos últimos llamados procesos de geodinámica externa que se agrupan en la cadena de meteorización-erosión, transporte y sedimentación (Gutiérrez, 2008).

Para este estudio, en base a la topografía de terreno y al uso de herramientas computacionales como SIG y CAD, se ha elaborado el mapa digital de terreno y plano de pendientes a fin de delimitar las características del terreno, las mismas que fueron verificados y validados durante el trabajo de campo realizado en la ciudad de San Vicente de Cañete. El modelo digital del terreno (MDT), representa a una superficie en 3D construida para un área de 19 km<sup>2</sup>, y se concluye que la zona urbana de la ciudad de Cañete se asienta sobre una terraza aluvial con altitudes entre 25 y 70 msnm; mientras que, en los alrededores, hacia el extremo noreste de la ciudad, se observan relieves que alcanzan alturas de hasta 100 m.s.n.m. con respecto al área urbana (Figura 18).

Por otro lado, el plano de pendientes representa los diferentes grados de desnivel del terreno; es decir, identifica las geoformas del terreno en razón que influye en la formación de los suelos y condiciona el proceso erosivo, cuanto más pronunciada sea pendiente, la velocidad del agua de escorrentía será mayor, no permitiendo la infiltración del agua en el suelo (Belaústegui, 1999). El mapa de pendientes para la ciudad de San Vicente de Cañete fue desarrollado a partir del MDT y para la clasificación de los rangos de pendientes se utilizó como fuente el Boletín N° 29 Serie C publicado por INGEMMET (2006). Según esta información, la ciudad de San Vicente de Cañete se encuentra asentada sobre una terraza aluvial que presenta pendientes menores a 5°; mientras que, hacia el extremo NE, en el A.H. Villa del Carmen las lomadas presentan pendientes superiores a 20° (Figura 19).

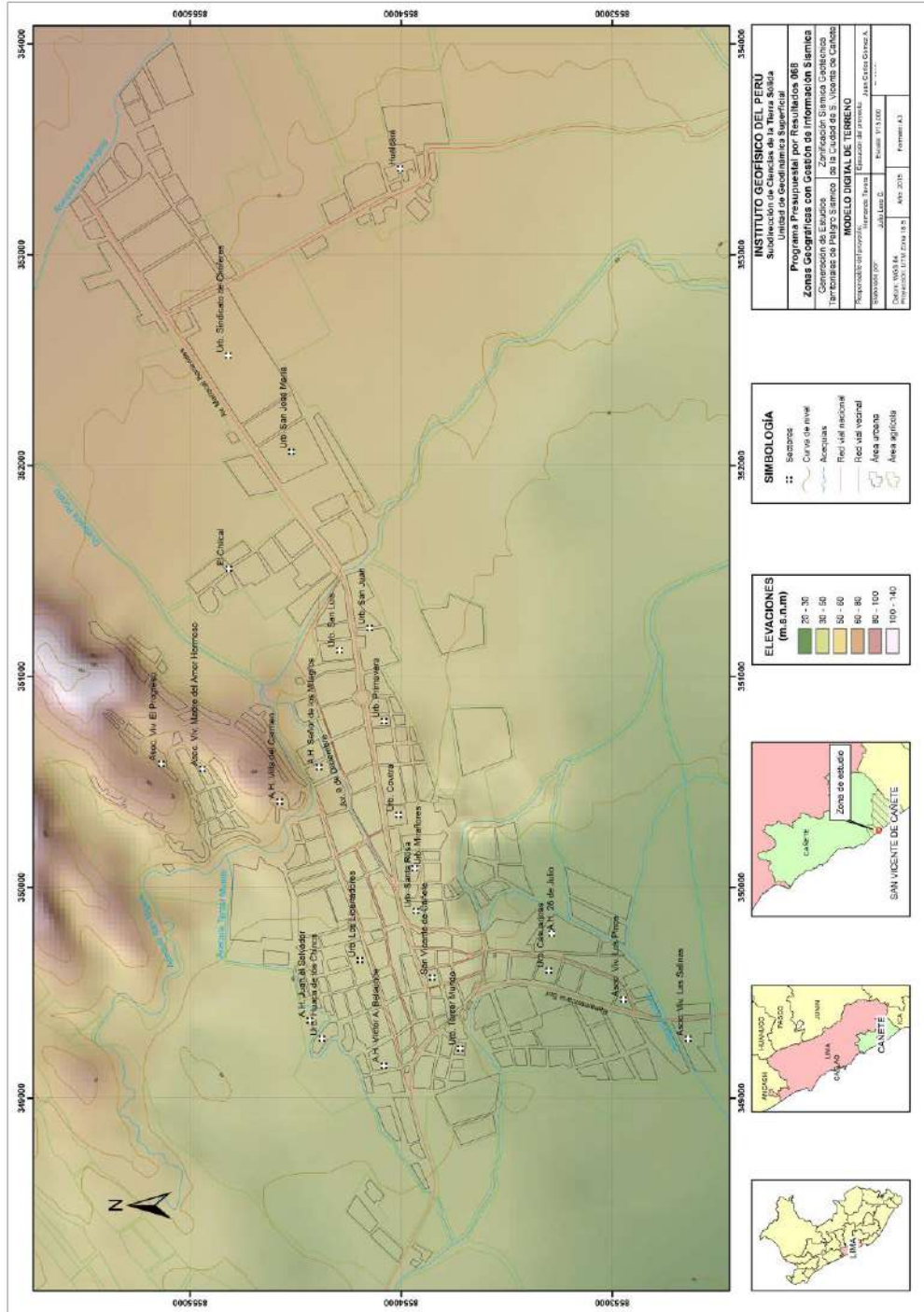


Figura 18: Mapa del modelo digital del terreno (MDT) para la ciudad de San Vicente de Cañete y alrededores



### 9.1.1. Unidades geomorfológicas

En el área sobre la cual se emplaza la ciudad de Cañete se ha identificado la existencia de 3 unidades geomorfológicas y de acuerdo a su génesis (Villota, 1991; Tejada 1994), fueron clasificadas en (Figura 20):

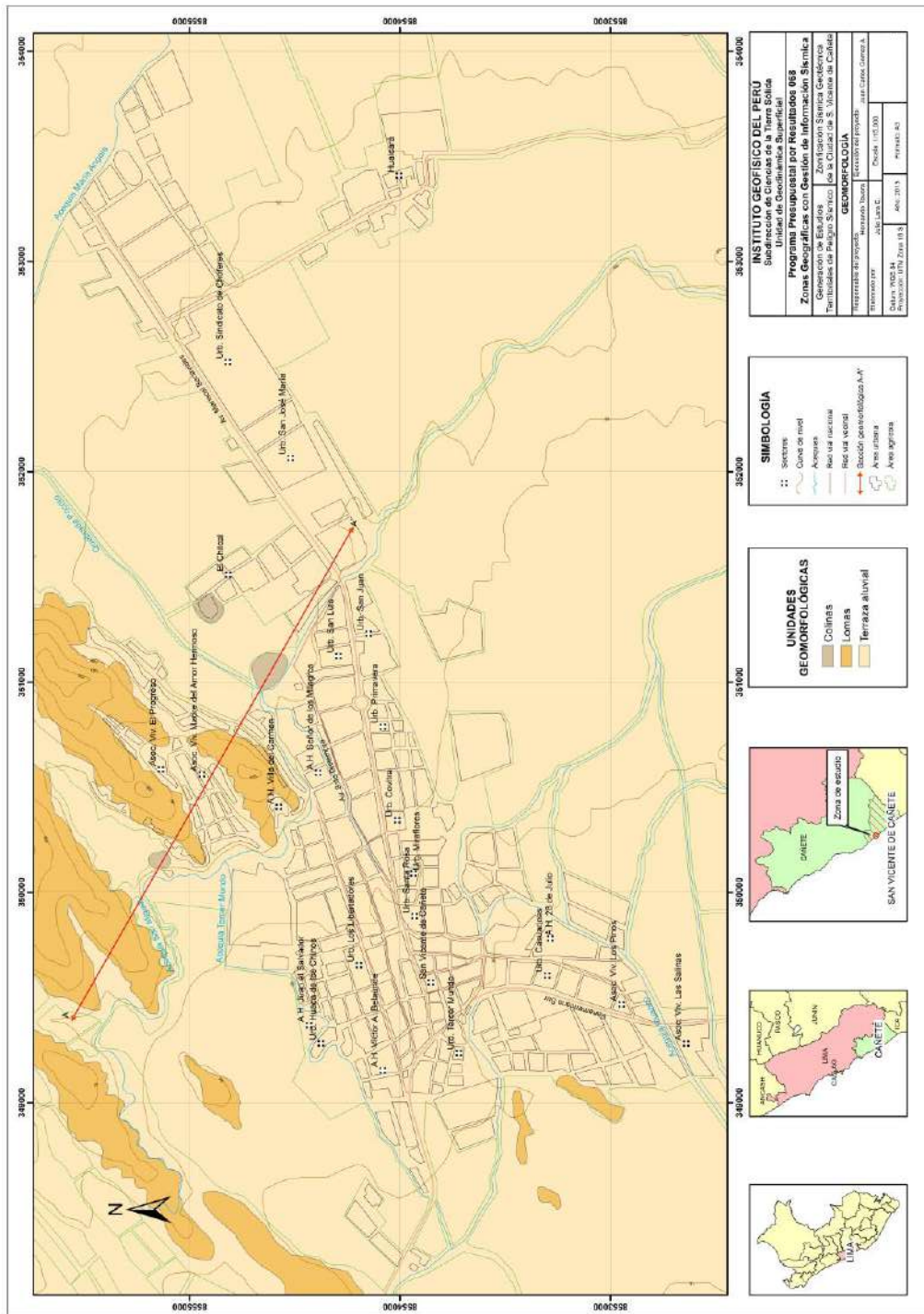


Figura 20: Mapa geomorfológico de la ciudad de San Vicente de Cañete y alrededores

### 9.1.1.1.- Origen depositacional

Comprende geoformas resultantes por la depositación de fragmentos o sedimentos originados durante los procesos de erosión de rocas preexistentes, y cuyos materiales han sido transportados y acumulados en áreas geográficas de baja pendiente. Esta unidad geomorfológica se encuentra relacionada a la dinámica aluvial y sobre cuya terraza se encuentra asentada la ciudad de San Vicente de Cañete.

.- **Terraza aluvial:** Superficie horizontal o ligeramente inclinada con pendientes menores a 5° y conformada por materiales heterogéneos (clastos angulosos a redondeados envueltos en una matriz arenosa) de origen intrusivo. Estos materiales han sido erosionados de la parte alta de la cuenca, transportados en forma de flujo a través de la quebrada Pócoto y depositados en una zona de menor pendiente. Actualmente, dicha quebrada y la actividad antrópica modifican el relieve de esta geoforma, sobre la cual se encuentra la ciudad de San Vicente de Cañete (Figura 21). Esta unidad ocupa el 91% de la superficie de estudio.

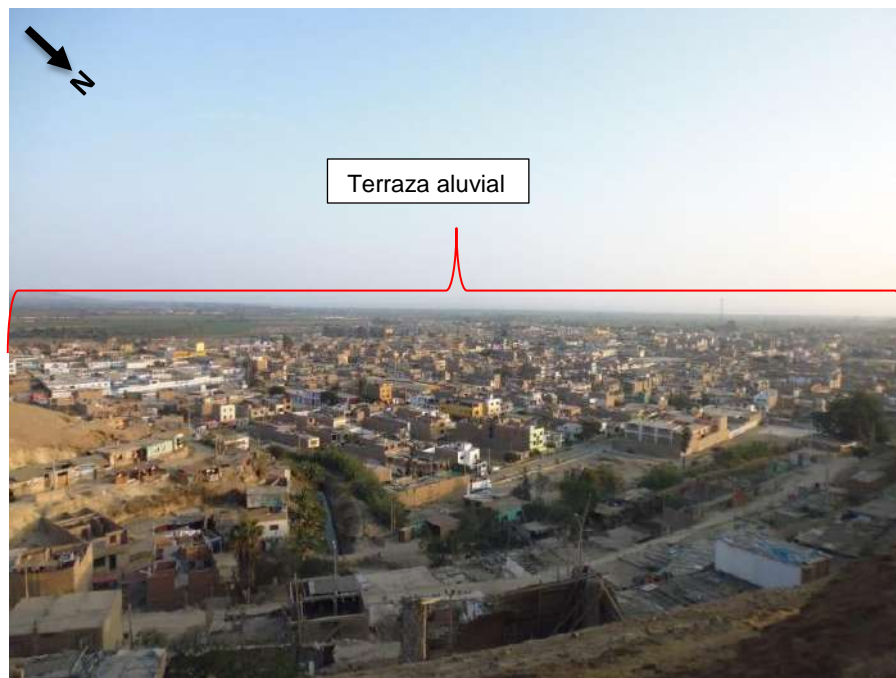


Figura 21: Terraza aluvial sobre la cual se asienta la ciudad de San Vicente de Cañete.

### 9.1.1.2.- Origen denudacional

Todas las tierras emergidas, sean por procesos orogénicos o epirogénicos, constituyen el estado inicial de un gran ciclo de denudación, el mismo que comprende un conjunto de procesos (meteorización y/o erosión) que determinan la degradación o erosión de la superficie del terreno. Los procesos de denudación actúan sobre cualquier tipo de roca sin considerar su estructura o composición, y a la vez aceleran o retardan los procesos de desgaste de la misma. En la ciudad de Cañete se ha desarrollado el modelado de geoformas en rocas sedimentarias debido al accionar de agentes como el agua y el viento, dando lugar a la formación de lomadas.

*.- **Lomas:** Corresponden a elevaciones del terreno con desniveles menores a 300 m. y pendientes menores a 30°. Estas geoformas se caracterizan por tener configuración basal alargada y dos vertientes que se inclinan en dirección opuesta. Estas geoformas se encuentran en los extremos Ne, NE-SO de la ciudad de Cañete y sobre ellas se encuentran los AAHH Villa del Carmen y las AVIS Madre del Amor Hermoso y el Progreso. Estas geoformas representan el 8.5% de la superficie de estudio y su relieve ha sido modificado por la acción del viento (erosión eólica), escorrentía de las aguas superficiales y la actividad antrópica, Figura 22.*



Figura 22: Lomas ubicadas al noreste de la ciudad de San Vicente de Cañete.

*.- **Colinas:** Elevaciones topográficas cuyo relieve presenta pendientes menores a 20°. Se caracteriza por tener configuración basal redondeada y vertientes divergentes en todas las direcciones a partir de la cima o cumbre. Se encuentran en la zona noreste de la ciudad de San Vicente de Cañete y sobre ella se asienta la Urb. El Chilcal. Dicha geoforma representa solo el 0.2% de la superficie de*

estudio, la misma que es modificada por la acción del viento (erosión eólica), escorrentía de las aguas superficiales y la actividad antrópica, Figura 23.

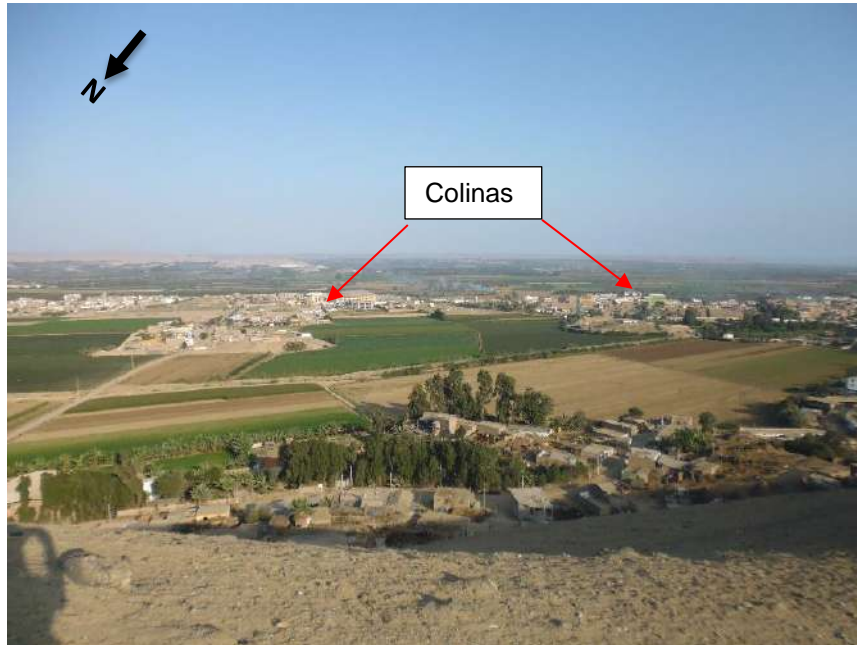


Figura 23: Colinas ubicadas en el extremo NE de la ciudad de San Vicente de Cañete.

## 9.2.- Geología

La geología es la ciencia que se encarga del estudio de la tierra teniendo en cuenta aspectos como: origen, estructura, composición, evolución, así como los distintos procesos internos y externos que se desarrollan en ella a través del tiempo. Para la comprensión de dichos procesos es necesario la interacción de la geología con otras disciplinas como:

**Geología histórica:** Se encarga del estudio de los distintos procesos por los que ha pasado el planeta Tierra, desde su origen hasta la actualidad, para ello se creó una división cronológica conocida como “escala del tiempo geológico” que se subdivide en: eras, períodos, edades, etc.

**Geología estructural:** Se encarga del estudio del comportamiento de la corteza terrestre ante la acción de los diversos esfuerzos tectónicos que generan diversidad de estructuras geológicas tales como: pliegues, fallas, estratificaciones, entre otros.

Además, existen otras disciplinas como la vulcanología, geomorfología, geodinámica y geotecnia, encargadas del estudio de las rocas para la extracción de depósitos de minerales, hidrocarburos, aguas subterráneas, ingeniería sísmica, entre otros. En el presente estudio, se hace incidencia en el reconocimiento de las formaciones geológicas (litologías) y depósitos del cuaternario en la ciudad de San Vicente de Cañete y alrededores.

### 9.2.1- Geología regional

Para describir las principales unidades geológicas, se tomó como base la información regional descrita por Salazar y Landa (1993) a escala 1/100000. Estos autores describen las unidades litológicas aflorantes en las inmediaciones de la zona de estudio, todas con edades entre el Terciario Inferior y Cuaternario. Estas unidades están conformadas por rocas sedimentarias de las formaciones Paracas y Cañete, así como depósitos inconsolidados.

### 9.2.2- Geología local

In situ, se procedió con el reconocimiento y cartografiado de las unidades litológicas aflorantes en la ciudad de San Vicente de Cañete a escala 1:15,000, sobre un área de 19 km<sup>2</sup> aproximadamente (Figura 24). A continuación se describen las principales características de estas unidades estratigráficas.

**Formación Paracas (Ti-pa):** Consiste de areniscas grises y areniscas calcáreas pardas, alternando con algunos horizontes de limolitas e infrayace con discordancia angular a la Formación Cañete. Esta unidad constituye el substrato rocoso de la ciudad de San Vicente de Cañete y se encuentra aflorando en la Asociación de Viviendas “El Progreso” y en el A.H. Villa del Carmen ubicados a 1 y 1.5 km al noreste de la ciudad de San Vicente de Cañete, Figura 25.

**Formación Cañete (Qp-c):** Consiste en un conglomerado consolidado constituido por gravas redondeadas a subredondeadas de tamaño y litología variada, y englobados en una matriz areno-limosa. Sobreyace con discordancia angular a la Formación Paracas, Figura 26. Esta unidad se encuentra aflorando en la Asociación de Viviendas “El Progreso” ubicado a 1.5 km al noreste de la ciudad de San Vicente de Cañete.

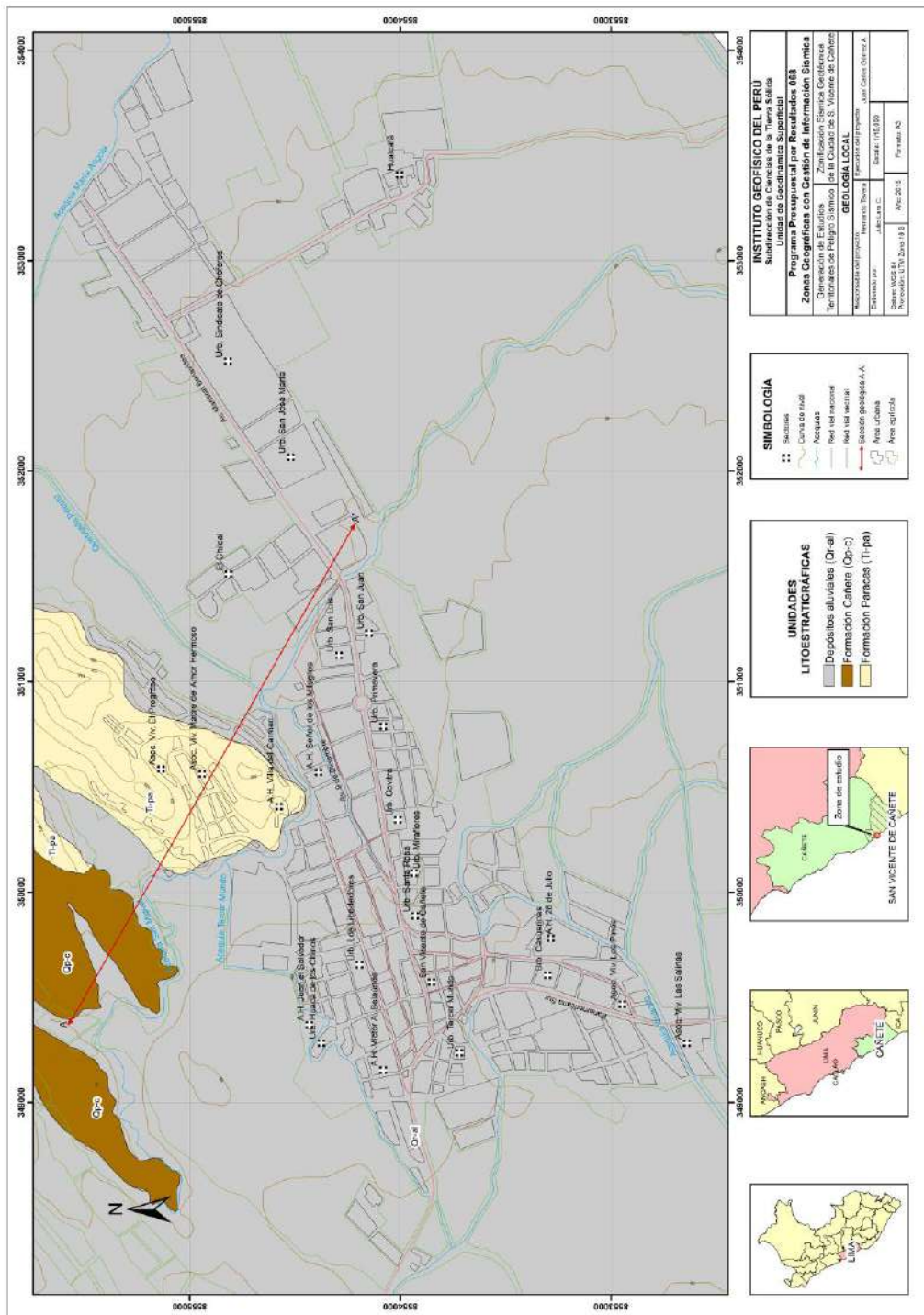


Figura 24: Mapa geológico local de la ciudad de San Vicente de Cañete y alrededores



Figura 25: Areniscas de la Formación Paracas (N145°, buzando 20 al SO) con presencia de plegamientos ubicadas en la AVI El Progreso.

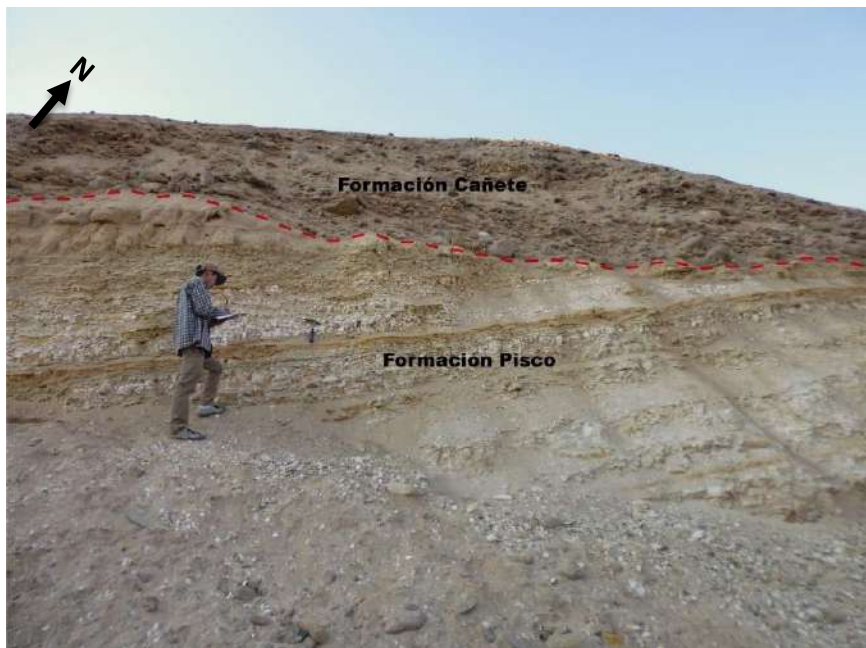


Figura 26: Formación Cañete suprayaciendo con discordancia angular a la Fm. Paracas en la AVI El Progreso.

**Depósitos cuaternarios:** Estos depósitos se encuentran suprayacendo al substrato rocoso, conforma por areniscas de la Fm. Paracas. Se encuentran distribuidos de manera dispersa y con variados espesores. Estos depósitos de la edad Holocena, son principalmente de origen aluvial.

**Depósitos aluviales (Qr-al):** Están conformados por cantos y gravas redondeadas a subredondeadas, envueltos en una matriz areno-limosa y arcillosa. Es la mayor unidad litológica presente en el área de estudio, presenta espesores de 8 m aproximadamente y conforma la extensa terraza aluvial presente en la margen derecha del río Cañete, sobre la cual se asienta la ciudad de San Vicente de Cañete, Figuras 27 y 28.



Figura 27: Depósitos aluviales que afloran a la entrada de la ciudad de San Vicente de Cañete, Panamericana Sur.



Figura 28: Depósitos aluviales en el sector El Chilcal al NE de la ciudad de San Vicente de Cañete.

### 9.3.- Geodinámica

La geodinámica abarca el estudio de los procesos y cambios físicos que ocurren constantemente sobre la superficie de la Tierra. Estas transformaciones son posibles debido a la intervención de agentes internos y externos que crean, forman, degradan y modelan la superficie terrestre. Esta rama de la geología se subdivide en:

***.- Geodinámica interna:** El territorio peruano está sometido a una constante actividad sísmica, debido a la interacción de las placas Sudamericana y Nazca, escenario considerado como la primera fuente sismogénica en el Perú debido a la frecuencia de sismos y por dar origen a los eventos de mayor magnitud. La segunda fuente, la constituye la zona continental, cuya deformación ha dado origen a la formación de fallas de diversas longitudes con la consecuente ocurrencia de sismos de magnitudes menores (Cahill et al, 1992; Tavera et al, 2001). Históricamente, la ocurrencia de sismos en la zona de estudio, se constituye como el principal detonante de eventos geodinámicos como los movimientos en masa, la caída de rocas y derrumbes.*

***.- Geodinámica externa:** La geodinámica externa estudia la acción de los procesos exógenos sobre la superficie de la Tierra. En tal sentido, las precipitaciones pluviales son las de mayor incidencia en la geodinámica del territorio, pues constituyen el principal factor detonante de los Movimientos en Masa (MM), como los deslizamientos, derrumbes y caída de rocas; los cuales a su vez afectan la seguridad física de los centros poblados donde ocurren este tipo de eventos.*

Los eventos geodinámicos predominantes en la ciudad de San Vicente de Cañete son de origen antrópico (movimientos de masa del tipo caída de rocas e inundaciones por desbordes de las acequias) y natural como las inundaciones por desborde de la quebrada Pócoto en épocas de lluvia (Figura 29).

#### 9.3.1.- Origen antrópico

Corresponden a eventos geodinámicos cuyo origen obedece a la acción del hombre y entre los más importantes se tiene a la caída de rocas e inundaciones causadas por los desbordes de las acequias.





Figura 30: Zona de caída de rocas de origen antrópico ubicadas en el AAHH Villa del Carmen, Sector I (extremo SE de la ciudad de San Vicente de Cañete).

### 9.3.1.1.- Inundaciones por desbordes de acequias

Las inundaciones ocasionadas por los desbordes de las acequias de riego son producto del deficiente mantenimiento por parte de la población. Estos se producen por el arrojo de desechos sólidos (basura, desmonte y otros) en las acequias de San Miguel, Tercer Mundo, Ihuanco y María Angola.

**Acequia San Miguel:** Nace en la bocatoma Fortaleza (margen derecha del río Cañete) recorriendo una distancia total de 35 km con un túnel de 100 m. Su capacidad máxima es  $7.0 \text{ m}^3/\text{s}$  de acuerdo con su geometría típica de acequia. En su recorrido recibe los excedentes de la acequia María Angola para abastecer a terrenos de cultivos pertenecientes a las ciudades de San Luis y Cerro Azul, para finalmente desembocar en el mar. Esta acequia se encuentra en el sector noreste de la ciudad de San Vicente de Cañete. Atraviesa la zona urbana perpendicular a la Av. Mariscal Benavides, a la altura del Coliseo Cerrado Lolo Fernández, circunda dicha zona urbana con dirección sureste-noroeste para luego continuar con su recorrido hasta desembocar en el mar, Figura 31. La acequia se encuentra casi colmatada en todo el tramo que circunda la ciudad de San Vicente de Cañete, aproximadamente 3.5 km (10% de la longitud total). Gran parte de la acequia San Miguel se encuentra a un nivel topográfico mayor al de la ciudad (5 m), por lo que una falla o colapso de la margen izquierda, de la acequia, podría traer como consecuencia la inundación de las áreas urbanas

adyacentes a dicha acequia (Urb. San Luis y Urb. San Juan). A la fecha, no han ocurrido inundaciones por el desborde de esta acequia.



Figura 31: Acequia San Miguel, Av. Mariscal Benavides con 9 de Diciembre.

**Acequia Tercer Mundo:** Tiene una longitud total de 2.5 km, su capacidad máxima es de 7.0 m<sup>3</sup>/s y se encuentra en el extremo Norte de la ciudad de San Vicente de Cañete. Hasta hace algunos años fue el límite norte de la ciudad, pero a la fecha se han habilitado construcciones quedando la acequia inmersa en la ciudad. La acequia tiene una dirección este-oeste, y atraviesa la Urb. Huaca de los Chinos y el Asentamiento Humano Juan el Salvador, Figura 32. Esta acequia se encuentra casi colmatada en todo el tramo que circunda la ciudad de San Vicente de Cañete. Se encuentra al mismo nivel topográfico que el Asentamiento Humano Juan el Salvador por lo que podría inundar las zonas aledañas a sus márgenes, debido principalmente al arrojado de basura y a la falta de revestimiento en dicha acequia, que en la actualidad facilita la filtración del agua que viene produciendo el asentamiento del suelo.



Figura 32: Acequia Tercer Mundo que circula de este a oeste, rodeando a la Urb. Huaca de los Chinos y el AAHH Juan el Salvador.

**Acequia Ihuanco:** Se encuentra en el sector sur de la ciudad de San Vicente de Cañete. Su caudal se incrementa cuando la quebrada Pócoto recibe precipitaciones pluviales durante los meses de diciembre a marzo. Su longitud es de 14 km con una capacidad máxima de 1.5 m<sup>3</sup>/s. En todo el tramo que circunda a la ciudad de San Vicente de Cañete, la acequia no tiene indicadores de colmatación, pero por el arrojado de basura, desmonte y aguas hervidas, podría inundar las zonas aledañas a sus márgenes y afectar al AH. 28 de Julio y a la AVI Las Salinas, Figura 33.



Figura 33: Desechos sólidos en el lecho de la acequia Ihuanco 2015 (derecha) y 2002 (izquierda).

**Acequia María Angola:** Esta acequia se encuentra en la frontera de las ciudades de Imperial y San Vicente de Cañete, en el sector noreste de esta última ciudad. Su longitud es de 29.1 km con una capacidad máxima de 4.2 m<sup>3</sup>/s. En las áreas adyacentes a la acequia, límite distrital entre San Vicente e Imperial, se ha desarrollado una gran actividad comercial (mercados, ferias, almacenes, garajes, etc.) propiciando la presencia de desechos que sumados a su colmatación, genera de manera frecuente escenarios de inundación, Figura 34.

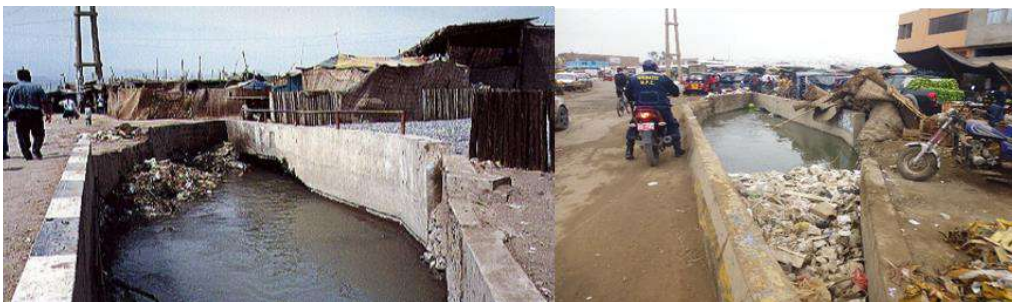


Figura 34: Acequia María Angola, límite con el distrito Imperial. Se observa la acumulación de desechos propios de las actividades de los mercados.

### 9.3.2.- Origen natural

Corresponden a eventos geodinámicos generados por aguas de escorrentía como las inundaciones por el desborde de la quebrada Pócoto.

#### 9.3.2.1.- Inundaciones por desbordes de la quebrada Pócoto

La quebrada Pócoto nace en la localidad de Tauripampa y atraviesa el poblado de Pócoto, sigue una dirección NE-SO. Aguas abajo atraviesa la ciudad de San Vicente de Cañete y zonas de cultivo. La cuenca de la quebrada Pócoto tiene un área de 609.4 km<sup>2</sup> y una longitud de 61.8 km. En el mes de febrero de los años 2010 y 2013 se desbordó en el sector El Chilcal por al aumento de las precipitaciones en las partes altas de la quebrada. Actualmente, la quebrada no se encuentra colmatada, pero al no estar revestida, se produce la erosión lateral de su cauce y que al desbordarse afectaría a las viviendas aledañas del A.H. Señor de los Milagros, Figura 35.



Figura 35: Quebrada Pócoto paralela a la Av. 9 de Diciembre en donde se evidencia la erosión lateral de dicha quebrada en la zona urbana de San Vicente de Cañete

## 10.- GEOTÉCNIA

Los estudios geotécnicos tienen por finalidad analizar y cuantificar las características físicas de los suelos, siendo su comportamiento relevante al momento de utilizarlo como elemento de medida para el soporte de una estructura determinada (cimentaciones). Para el estudio de los suelos en la ciudad de San Vicente de Cañete se recolectó información según las siguientes técnicas:

**- Exploraciones a cielo abierto** (calicatas, Norma ASTM D420): En la ciudad de Cañete se construyeron 7 calicatas (Tabla 1), siendo la profundidad máxima de observación del orden de 3.30 metros y la mínima de 0.80 metros (ver Anexos). En la Figura 36 se muestra la distribución espacial de las calicatas.

Tabla 1: Coordenadas UTM para la identificación de las calicatas (NP= no presenta)

CALICATA	UTM ESTE(m)	UTM NORTE(m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO (m)
C - 01	349170	8553645	38	2.40	N.P.
C - 02	349295	8552643	18	0.80	0.80
C - 03	350678	8553920	53	2.20	N.P.
C - 04	349740	8554540	50	3.20	N.P.
C - 05	351748	8554155	66	3.30	N.P.
C - 06	353264	8553898	72	2.20	2.20
C - 07	353036	8555171	88	3.00	N.P.

**- Densidad de suelo in situ** (Norma ASTM D1556): En cada punto de exploración se realizó ensayos de campo aplicando el método del cono a fin de conocer la densidad y el contenido de humedad del suelo en condiciones naturales (ver Anexo). Esta información es necesaria para la preparación de las muestras de suelo al momento de realizar los ensayos de corte directo. En la Tabla 2 se presenta los resultados obtenidos en cada punto de observación, los mismos que sirven para identificar las condiciones naturales del terreno (compactación y humedad), información necesaria para desarrollar los ensayos de corte directo en las muestras de suelo en su estado inicial.

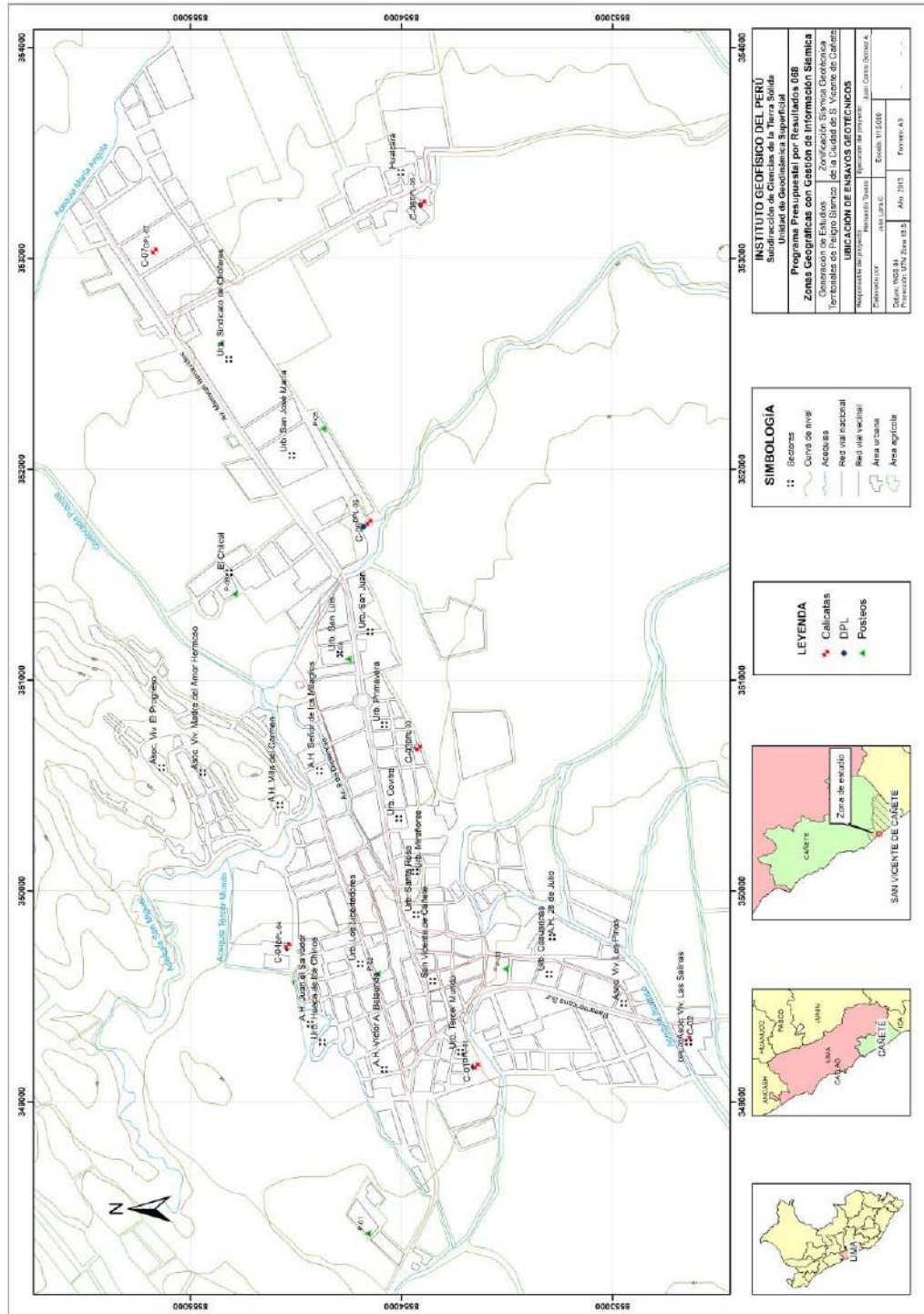


Figura 36: Mapa de ubicación de calicatas y posteos de suelos en la ciudad de San Vicente de Cañete

Tabla 2: Valores de densidades de suelo in situ

CALICATA	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	DENSIDAD HUMEDA (gr/cm <sup>3</sup> )	DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )
C - 01	DC-A - 01	2.40	1.23	1.17
C - 02	DC-A - 02	0.50	1.42	1.03
C - 03	DC-A - 03	2.20	1.42	1.27
C - 04	DC-A - 04	3.20	1.72	1.63
C - 05	DC-A - 05	3.30	1.71	1.61
C - 06	DC-A - 06	1.20	1.91	1.75
C - 07	DC-A - 07	3.00	1.54	1.30

**- Exploración con posteadora manual (Norma ASTM D1452):** A fin de completar la información geotécnica, se procedió a realizar 7 muestreos adicionales de suelo utilizando una posteadora manual (Tabla 3), siendo en este caso, la máxima profundidad de observación de 2.50 metros y la mínima del orden de 1.00 metro (ver Anexos), debido principalmente a que los suelos son granulares con mayor presencia de gravas. Estas exploraciones fueron distribuidas entre las calicatas, en lugares donde no existe información geotécnica a fin de tener mejor caracterización de los suelos en la ciudad de San Vicente de Cañete.

Tabla 3: Coordenadas UTM para la identificación de los posteos y clasificación SUCS

POSTEOS	UTM ESTE(m)	UTM NORTE(m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE SUELO	NIVEL FREÁTICO
P - 01	348375	8554159	41	1.00	CL	N.P.
P - 02	349606	8554114	50	2.10	SM	0.80
P - 03	349631	8553508	34	1.00	SM	N.P.
P - 04	351100	8554253	70	1.80	CL	N.P.
P - 05	352192	8554372	84	2.20	CL	N.P.
P - 06	351408	8554791	73	2.20	CL	2.20
P - 07	352596	8554857	76	2.50	CL	N.P.

**- Ensayo de penetración dinámica ligera (DPL, Norma DIN4094):** Se procedió a estimar la resistencia del suelo al hincado del cono dinámico en 7 puntos dentro de la ciudad de San Vicente de Cañete (Tabla 4). Estos ensayos se realizaron hasta una profundidad máxima de 3.80 metros y mínima de 0.80 metros debido a que los suelos son granulares de origen aluvial (gravas, arenas y arcillas limosas) con ángulos de fricción de 28° y 40° en promedio (ver Anexos). Asimismo, se ha

determinado que los suelos tipo arena limosa presentan valores de ángulo de fricción menores a los 40° y los suelos finos entre 26° y 33°.

Tabla 4: Coordenadas UTM para la ubicación y profundidad de los ensayos de penetración ligera

DPL	UTM ESTE(m)	UTM NORTE(m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	NÚMERO DE GOLPES	$\phi$
DPL - 01	349166	8585662	32	3.80	40	38.5
DPL - 02	349290	8587100	34	1.90	18	32.7
DPL - 03	350680	8589073	53	3.00	13	31.1
DPL - 04	349729	8584792	52	1.90	14	31.4
DPL - 05	351728	8586343	67	1.37	45	39.7
DPL - 06	353255	8586664	66	0.80	14	31.4
DPL - 07	353032	8555171	85	2.90	7	28.9

$\phi$  = Ángulo de fricción interna

### 10.1.- Clasificación de suelos SUCS

En base a la información geotécnica recopilada de las calicatas, posteos y de los resultados obtenidos de los ensayos granulométricos realizados en el laboratorio de la Universidad La Molina, se realiza la clasificación de suelos SUCS para la ciudad de San Vicente de Cañete. Se ha identificado la existencia de 3 tipos de suelos cuyas características se describen a continuación (Figura 37 y Tabla 5):

*.- Suelos tipo GW: Están conformados por gravas bien graduadas en una matriz arenosa, con poco contenido de material fino (3%). El contenido de humedad es de 9.2% y están constituidos por suelos compactos que no presentan plasticidad (debido al poco contenido de material fino). Abarcan el 10% de los suelos de la ciudad de San Vicente de Cañete. Están presentes en Hualcará.*

*.- Suelos tipo SM: Conformados por arenas limosas con contenido de humedad entre 5.17% a 10.79%, con regular contenido de material fino (40-45%). Son suelos semicompactos con plasticidad (debido a la presencia de material fino). Ocupan el 60% de los suelos de la ciudad de San Vicente de Cañete y han sido identificados en Tercer Mundo, Urbanización La Primavera, Mercado Modelo Linda Rosa y el Coliseo Municipal Lolo Fernández.*

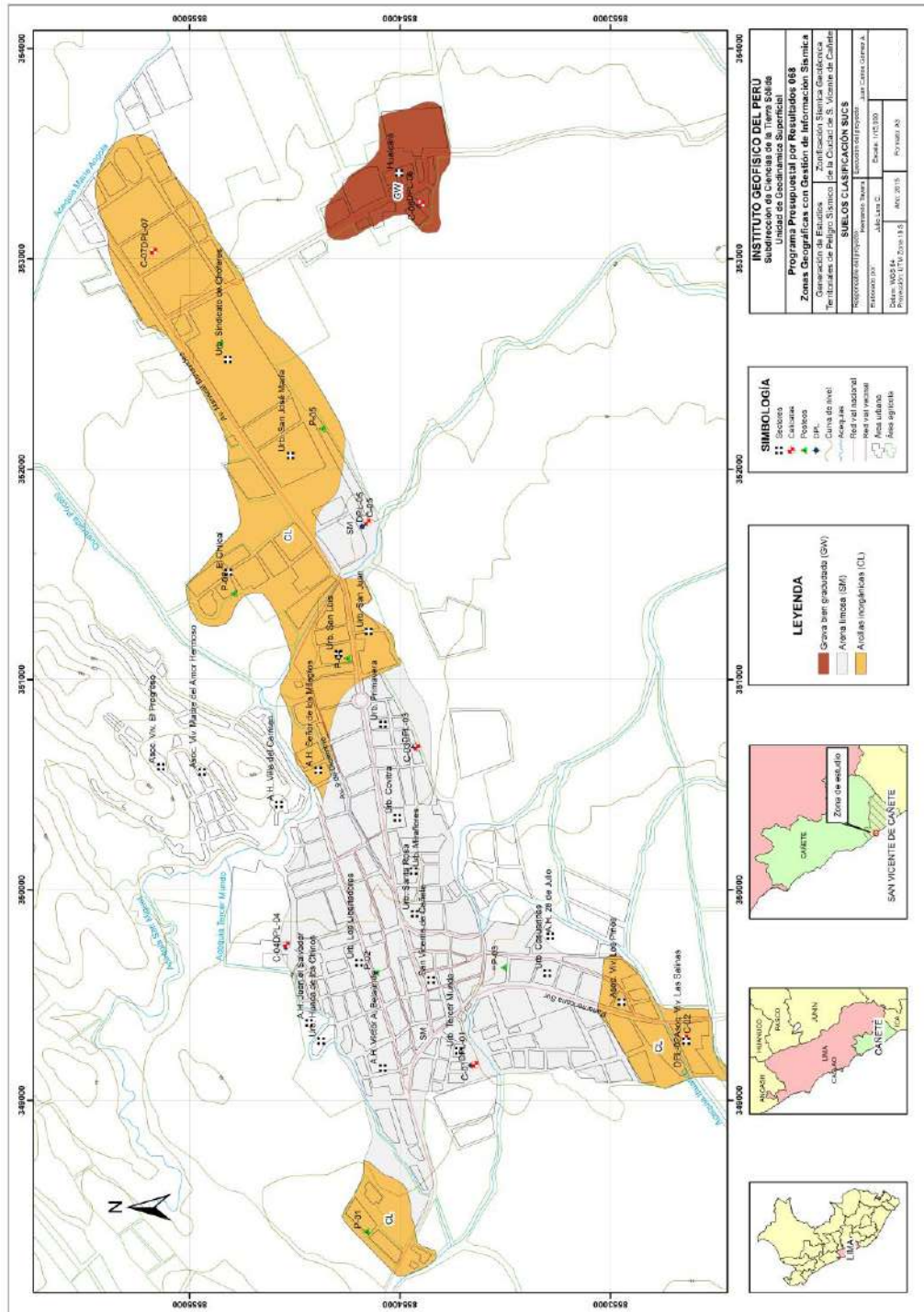


Figura 37: Mapa de clasificación SUCS de suelos en la ciudad de San Vicente de Cañete y alrededores

Tabla 5: Valores obtenidos en la clasificación de suelos en la ciudad de San Vicente de Cañete (N.P. = no presenta)

CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO (m)	GRAVAS % (>4.76 mm)	ARENAS % (>0.074 mm, <4.76 mm)	FINOS % (<0.074 mm)	LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	CLASIFICACIÓN SUCS	DENOMINACIÓN
C - 01	2.4	N.P.	1.5	66.8	28.06	23	16	7	5.17	SM	Arena limosa con gravas
C - 02	0.8	0.80	---	47.4	52.56	44	28	16	27.05	CL	Arcilla limosa, arenosa
C - 03	2.2	N.P.	5.1	61.7	33.23	33	24	9	10.79	SM	Arena limosa con gravas
C - 04	3.2	N.P.	---	55	45	24	16	8	5.8	SM	Arena limosa
C - 05	3.3	N.P.	8	52	40	25	17	8	6.5	SM	Arena limosa con gravas
C - 06	2.2	2.20	70	27	3	26	19	7	9.2	GW	Grava graduada arenosa
C - 07	3.0	N.P.	---	25	75	38	24	14	18.5	CL	Arcilla limosa, arenosa

*.- Suelos tipo CL: Están conformados por arcillas limosas y arenosas con contenido de humedad entre 18.50% a 27.05% debido al gran contenido de material fino (75%). Se consideran como suelos blandos y presentan plasticidad (debido a la presencia de material fino). Ocupan el 30% de los suelos de la ciudad de San Vicente de Cañete y han sido identificados en la AVI Las Salinas y en el Jr. Hipólito Unanue*

## **10.2.- Potencial de licuación de suelos**

La licuación es un fenómeno por el cual un suelo completamente saturado, con arenas sin cohesión, generalmente limpias, que pueden incluir algo de gravas puede ser licuefactado durante el movimiento sísmico (Rodríguez, 1997). Este proceso se presenta generalmente en materiales de granulometría uniforme, sueltos y totales o parcialmente saturados. Estos suelos durante un movimiento sísmico pierden su capacidad de resistencia y fluye hasta encontrar una configuración compatible con las cargas sísmicas.

El nivel freático superficial en un suelo, incrementa la probabilidad de ocurrencia de licuación; pues a menor distancia de la superficie, incide el mayor grado de licuación del suelo durante un evento sísmico. En la distribución de suelos, la zona de playa, es probable este fenómeno por la presencia del nivel freático a menos de 3.00 m. de profundidad. En la ciudad de San Vicente de Cañete se identificó la presencia de zonas con potencial de licuación de suelos: AVI Las Salinas y Hualcará. El nivel freático en este sector se encuentra a 3 m por debajo de la ciudad de Cañete, en la AVI Las Salinas a 0.80 metros y en Hualcará a 2.20 metros.

Para determinar el potencial de licuación de suelos se utilizó el método de Youd y Seed-Idris (2001), el cual determina el factor de seguridad ante el potencial de licuación de suelos, tomando como datos los resultados del laboratorio y la siguiente relación:

$$FL = \frac{(\tau_1/\sigma_v)}{(\tau_d/\sigma_v)}$$

Donde,

*Si  $FL > 1$  No se produciría licuación de suelos*

*Si  $FL < 1$  Se produciría licuación de suelos*

Por otro lado, para el cálculo del potencial de licuación es necesario estimar el esfuerzo total y efectivo en profundidad y para ello se utilizaron los datos de peso específico obtenidos del laboratorio. El esfuerzo total en profundidad está dado por:

$$\sigma_s = \gamma_1 * h_o + \gamma_2 * h$$

.y el esfuerzo efectivo total en profundidad por:

$$\sigma'_s = \gamma_1 * h_o + (\gamma_2 - 1) * h$$

Dónde:

*El peso específico seco =  $\gamma_1$  (kg/cm<sup>2</sup>)*

*El peso específico saturado =  $\gamma_2$  (kg/cm<sup>2</sup>)*

*.h = profundidad sobre el nivel freático*

*.h<sub>o</sub> = profundidad del nivel freático*

Asimismo, el factor de corrección por profundidad viene dado por:

*rd = 0.98, a 10 m. de profundidad.*

*rd = 1, en superficie.*

*Si rd está entre 0 y 10 m. =  $rd = (1 - 0.015h_o)$*

*El esfuerzo del corte producido por sismo =  $\frac{\tau_{av}}{\sigma}$*

El esfuerzo de corte =  $(\frac{\tau_d}{\sigma_s})$ , se obtiene del análisis de los parámetros N1 con la siguiente relación:

$$\frac{\tau_d}{\sigma'_s} = 0.65 * \frac{a_{m\acute{a}x}}{g} * \frac{\sigma_s}{\sigma'_s} * rd$$

Donde, la aceleración máxima en superficie =  $a_{m\acute{a}x}$

.y la aceleración máxima de la gravedad =  $g$

Para la ciudad de San Vicente de Cañete y alrededores, en la Tabla 6 se resumen los valores obtenidos para el potencial de licuación de suelos. Se debe considerar que el Esfuerzo cortante resistente =  $\tau_i / \sigma'_v$ , se obtiene para  $M=7.5$  y para suelos con distintos contenidos de finos,  $N1=$  valor de  $N$  corregido a una sobrecarga de  $1 \text{ Kg/cm}^2$  y un 60 % de eficiencia y en este caso, se utilizaron los datos obtenidos con la técnica del DPL.

Tabla 6: Resumen de datos para el cálculo de potencial licuación de suelos

CALICATA	$\sigma_v$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma'_v$ (kg/cm <sup>2</sup> )	rd	$\tau_i / \sigma'_v$	NÚMERO DE GOLPES	CN	N1	$(\tau_i / \sigma'_v)_r$ M=7.5
C - 02	0.1747	0.1746	0.98	0.10	4	2.39	7.17	0.333
C - 06	0.5077	0.5075	0.98	0.10	5	1.40	4.20	0.333

Para la calicata C-02 ubicada en la Asociación de Viviendas Las Salinas, se obtiene el siguiente resultado:

$$FL=0.10/0.3 = 0.333$$

Para la calicata C-06 ubicada en Hualcará, se obtiene el siguiente resultado::

$$FL=0.10/0.3 = 0.333$$

Según estos resultados, en la AVI Las Salinas y Hualcará se espera se desarrollen procesos de licuación de suelos.

### 10.3.- Ensayo de corte directo (Norma ASTM D3080)

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 como producto de la aplicación de una carga. Esta resistencia a la cortante en el suelo se debe a dos

componentes: la cohesión (relacionado comportamiento plástico que presentan las partículas finas de una muestra) y el ángulo de fricción interna (rozamiento que existe en las partículas granulares). Para conocer esta resistencia en laboratorio se usa el equipo de corte directo, siendo el más típico una caja de sección cuadrada o circular dividida horizontalmente en dos mitades. Dentro de ella se coloca la muestra de suelo con piedras porosas 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.

El resultado del análisis de siete (7) muestras extraídas de campo se muestran en la Tabla 7. Los resultados obtenidos muestran que los suelos en el área urbana de San Vicente de Cañete presentan bajos valores de cohesión; mientras que, los valores para los ángulos de fricción interna son menores a  $35^\circ$ , característico de suelos granulares como las arenas limosas y finas como la arcilla. En el caso de la calicata C-06, el ángulo de fricción interna es mayor a  $35^\circ$ , característicos de suelos granulares como las gravas bien graduadas.

Tabla 7: Resultados del ensayo de corte directo

MUESTRA	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA DEL SUELO ( $\Phi$ )	COHESIÓN APARENTE DEL SUELO ( $Tn/m^2$ )	DENSIDAD NATURAL ( $gr/cm^3$ )
C-01	26.80	0.20	1.73
C-02	20.90	0.40	1.54
C-03	25.2	0.30	1.74
C-04	25.60	0.20	1.72
C-05	26.20	0.30	1.71
C-06	36.63	0.10	1.91
C-07	20.30	0.40	1.54

#### 10.4.- Capacidad de carga admisible

Los resultados obtenidos de los ensayos de corte directo (ángulo de fricción y la cohesión), han permitido calcular con la ayuda de fórmulas empíricas la capacidad de carga última de los suelos (mayor presión unitaria que el suelo puede resistir sin llegar al estado plástico). En base a esta última se obtiene la capacidad de carga admisible que resulta al ser multiplicado por un factor de seguridad, cuyo

valor es de 1/3, de acuerdo a la norma técnica peruana para el diseño de cimentaciones. Para la ciudad de San Vicente de Cañete y alrededores, la capacidad de carga fue calculado para una profundidad de cimentación de 1.20 m y ancho mínimo de cimentación de 1.00 m. Los resultados obtenidos para los seis puntos analizados se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8: Capacidad de carga admisible de siete (7) muestras extraídas en la ciudad

MUESTRA	CAPACIDAD DE CARGA ULTIMA (Tn/m <sup>2</sup> )	CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE (kg/cm <sup>2</sup> )
C-01	38.34	1.30
C-02	26.25	0.74
C-03	44.38	1.45
C-04	39.49	1.32
C-05	45.41	1.51
C-06	150.68	3.77
C-07	26.38	0.88

Considerando la clasificación de la Tabla 9, se ha determinado que gran parte del área urbana de la ciudad de San Vicente de Cañete se asienta sobre suelos con la siguiente capacidad de carga admisible (Figura 38):

Tabla 9: Rangos de capacidad de carga admisible

CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE Kg/cm <sup>2</sup>	DENOMINACIÓN
<1.0	Muy Baja
1.0 – 2.0	Baja
2.0 – 3.0	Media
>3.0	Alta

**- Capacidad de carga admisible muy baja:** Corresponde a suelos de arcilla limosa (CL), cuyo grado de compactación es muy bajo. Abarca el 45% del área de estudio y se ha identificado en AVI Las Salinas y el Jr. Hipólito Unanue.

**- Capacidad de carga admisible baja:** Corresponde a suelos con arena limosa (SM), cuyo grado de compactación es bajo. Abarca el 50% del área de estudio: Urb. Tercer Mundo, Mercado Modelo Linda Rosa, Coliseo Municipal Lolo Fernández y la Urb. La Primavera.



## 11.- SÍSMICA Y GEOFÍSICA

En este estudio se ha realizado la aplicación de los siguientes métodos sísmicos y geofísicos: razones espectrales (H/V), arreglos lineales (MASW) y tomografía eléctrica, todos tienen como objetivo principal conocer las propiedades físicas del subsuelo (periodos dominantes, velocidades sísmicas, resistividades del subsuelo, etc.) a efectos de lograr su caracterización geofísica. A continuación, se describe el desarrollo de estos métodos y los principales resultados obtenidos para la ciudad de San Vicente de Cañete y alrededores.

### 11.1.- Estudio sísmico con la técnica H/V

Para la aplicación de esta técnica se procedió, sobre el mapa catastral de la ciudad de San Vicente de Cañete y alrededores a definir la distribución y el número de puntos para el registro de vibraciones ambientales teniendo en cuenta la información geológica y geomorfológica de la zona de estudio. En la Figura 39 se muestra la distribución espacial de los 380 puntos de registro de vibración ambiental obtenidos en campo, cada uno con una duración de 15 minutos, lo cual permite disponer de buena cantidad de información para su posterior análisis.

Esta información permite obtener espectros de Fourier para las tres componentes de registro 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. En la Figura 40 se muestra, como ejemplo el procedimiento seguido para el punto CN-120. En el extremo superior de la figura, se muestra el registro de vibración ambiental para 15 minutos analizado con ventanas de 20 segundos; en el extremo inferior izquierdo, la curva promedio de H/V con su respectiva desviación estándar, resaltando en este caso, las frecuencias predominantes a 4.38 Hz con amplificaciones relativas de hasta 5.4 veces con respecto al nivel de referencia. Este procedimiento de análisis se aplica al total de la información obtenida en campo.

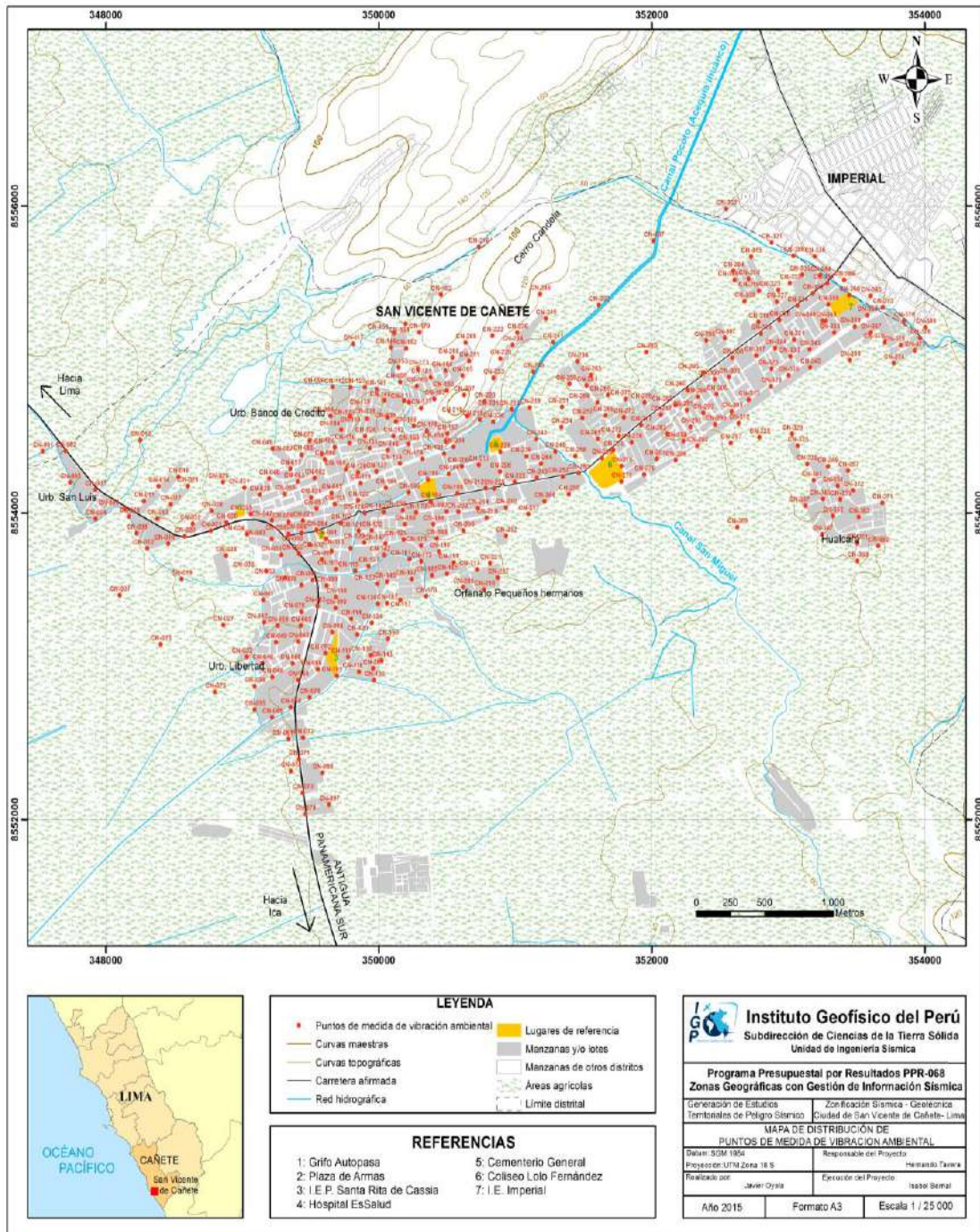


Figura 39: Mapa de la ciudad de San Vicente de Cañete y alrededores: distribución de puntos de registro de vibración ambiental

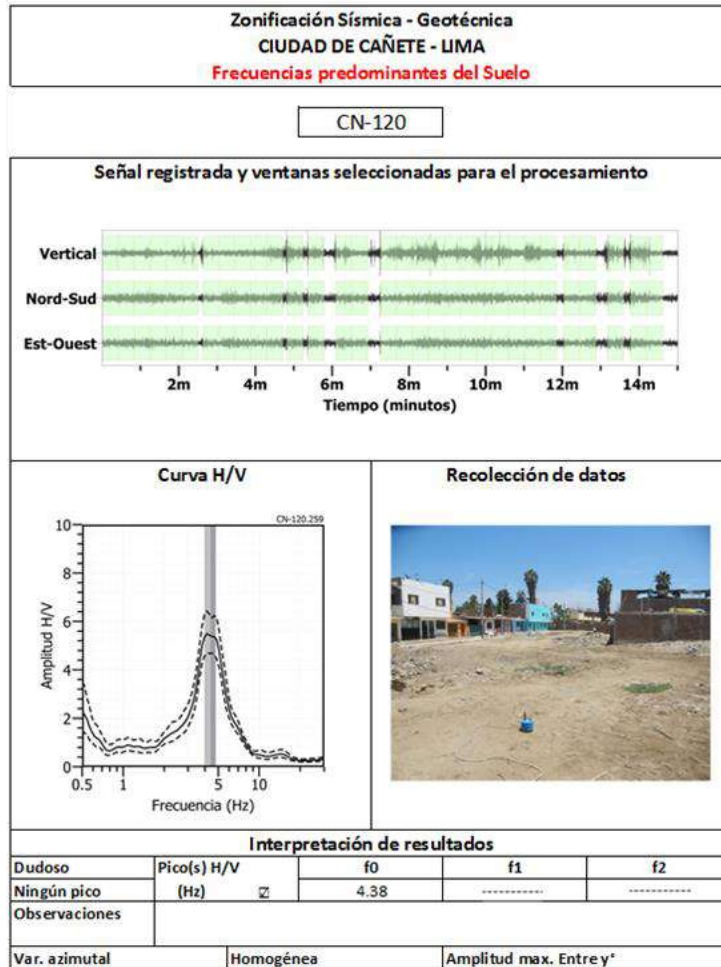


Figura 40: Ejemplo de la ficha H/V para el punto CN-120 en la cual se recopila la información registrada y analizada. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en línea discontinua. Abajo: resultados.

**- Distribución de frecuencias predominantes:** A partir de los valores extraídos de las razones espectrales H/V, se obtiene mapas con la distribución espacial de los valores de frecuencias predominantes. Los resultados muestran valores similares para frecuencias predominantes que se concentran en diversas áreas de la ciudad, lo cual sugiere que el subsuelo es heterogéneo y por ello, requiere de un análisis detallado para comprender su comportamiento dinámico.

En general, para el análisis de la información se debe considerar los siguientes aspectos: 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 (Bernal, 2006).

La información obtenida para las razones espectrales H/V, permite considerar para su análisis el rango de frecuencias entre 2 y 10 Hz Solo en un 5% del total de puntos en los cuales se recolecto información, en el límite entre Cañete e Imperial, se identificó la presencia de dos picos de frecuencias, entre 1 a 2 Hz y entre 5 y 10 Hz con amplificaciones de 2.5 y 6 veces respectivamente A continuación, se describe y analiza la distribución espacial de las frecuencias predominantes identificadas en la ciudad de San Vicente de Cañete y alrededores.

***.- Frecuencias predominantes:** De acuerdo a la Figura 41, frecuencias con valores de 5.0 y 9.0 Hz se distribuyen principalmente hacia los extremos Este y NE de la zona céntrica de la ciudad, y de manera dispersa hacia los extremos Norte y Sur del área de estudio. A diferencia de lo observado, alrededor de la Plaza de Armas, de la ciudad (zona céntrica), las frecuencias cambian a valores menores a 5.0 Hz, fluctuando principalmente alrededor de los 3.5 Hz. Respeto al factor de amplificación máxima relativa, en la zona céntrica, alcanzan valores de 2 veces y hacia sus extremos, valores de hasta 8 veces en algunos puntos. En la Figura 30 se muestra ejemplos de curvas de frecuencias características para cada área en estudio. Asimismo, la delimitación de las áreas de baja amplificación se realiza con valores de frecuencias en color gris.*

*Por otro lado, en la Figura 42, se analiza ejemplos de razones espectrales características para cada área. Los puntos CN-03, CN-45 y CN-53 ubicados al SO del área de estudio (antigua Panamericana), responden a frecuencias de 7.0, 5.1 y 3.2 Hz con amplificaciones máximas relativas de 6.0, 6.2 y 7.5 veces respectivamente, todos presentan un pico bien definido. El punto CN-53, presenta el valor más bajo de frecuencia y más alta amplificación respecto a los otros dos puntos, evidenciando una mayor complejidad y/o espesor de la capa sedimentaria superficial.*

*Los puntos CN-84 (E) y CN-103 (G), ubicados en la zona céntrica de la ciudad de Cañete, responden a frecuencias de 4.8 y 3.0 Hz con amplificaciones máximas relativas de hasta 1.6 veces. El punto CN-41 (B) ubicado en dirección SO a pocos metros de esta zona de baja amplitud, muestra una curva de forma*

trapezoidal, respondiendo a frecuencias entre 3.0 y 5.0 Hz y amplificaciones máximas de hasta 3 veces. En el primer caso las bajas amplificaciones se asocian a un suelo con mayor consistencia y el segundo, a una zona de transición.

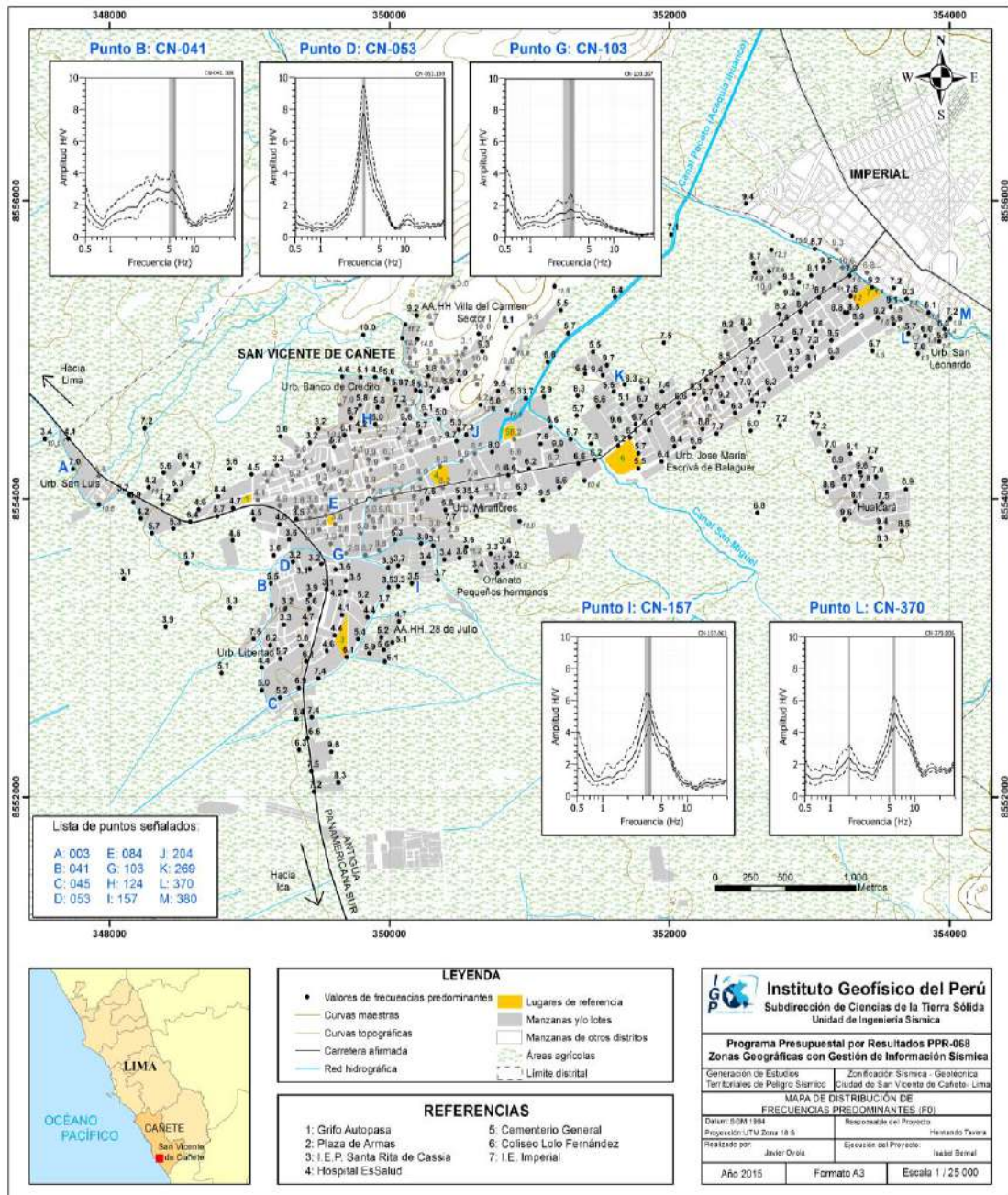


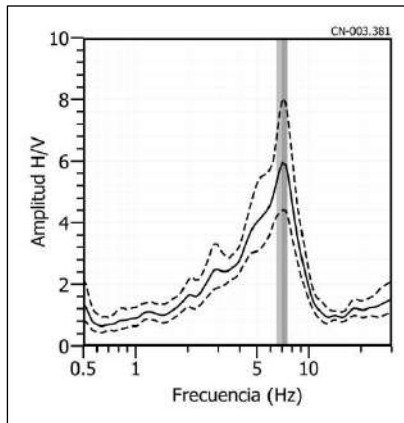
Figura 41: Mapa del área de estudio y la distribución espacial de las frecuencias predominantes. Para las letras A - M, ver texto.

*Por otro lado, los puntos CN-124 (H), CN-157 (I) y CN-204 (J), ubicados hacia los extremos Norte, Sur y Este de la zona céntrica de la ciudad (área de baja amplificación), responden a frecuencias de 5.0, 3.5 y 7.0 Hz con amplificaciones máximas relativas de hasta 3.8, 5.4 y 5.0 veces. Hacia los extremos Norte y Este de la ciudad, la tendencia es con valores mayores e iguales a 5.0 Hz y hacia su extremo Sur, valores menores. Asimismo, hacia el extremo Sur se presenta altas amplificaciones, evidenciando que se trata de suelos de moderado espesor y baja consistencia.*

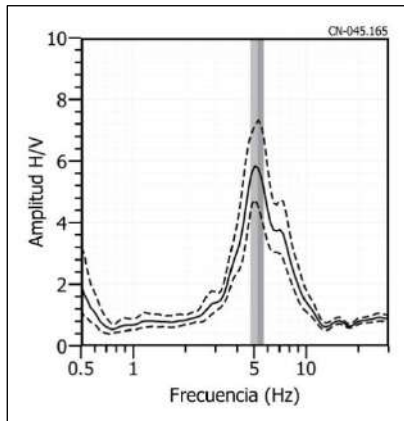
*Los puntos CN-269 (K), CN-370 (L) y CN-380 (M), ubicados el primero próximo al Coliseo Lolo Fernández y los dos siguientes en la Urb. San Leonardo (próximo al límite con la localidad de Imperial), responden a frecuencias de 6.5, 6.0 y 7.0 Hz con amplificaciones máximas relativas de 5.2, 5.4 y 3.8 veces respectivamente. En todos los casos, el pico de frecuencias es bien definido. Sin embargo, en los dos últimos puntos se observa que sobresale un segundo pico, a 1.8 y 1.9 Hz con mínimas amplificaciones. Este es un caso peculiar de la zona en estudio y sugiere la presencia de al menos dos capas de diferente suelo.*

Los suelos de la ciudad de San Vicente de Cañete responden a frecuencias predominantes menores a 5.0Hz hacia su extremo SO y mayores a 5.0 Hz hacia su extremo NE, lo que sugiere la presencia de una capa superficial uniforme cuyo espesor disminuye conforme se tiende hacia el extremo NE. Por otro lado, las amplificaciones mínimas encontradas en la zona céntrica de la ciudad, sugieren la presencia de suelos de mayor consistencia; mientras que, las amplificaciones mayores delimitan suelos más flexibles, los cuales están presentes principalmente en la Urb. San Luis, AA.HH. 28 de Julio, Libertad y la Urb. San Leonardo.

**CN - 03**



**CN - 45**



**CN - 53**

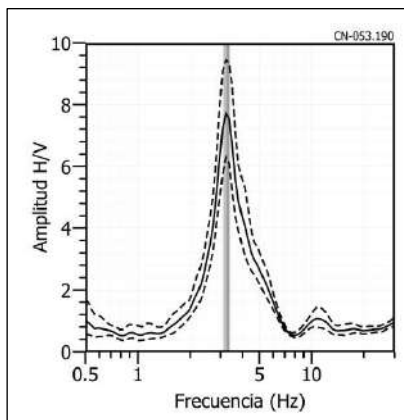
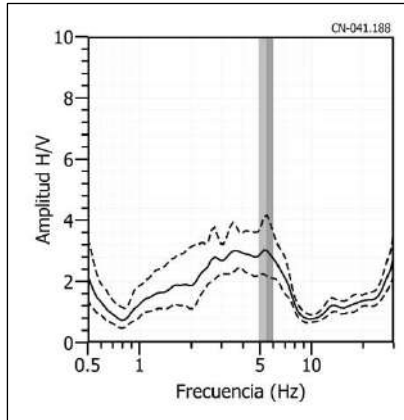
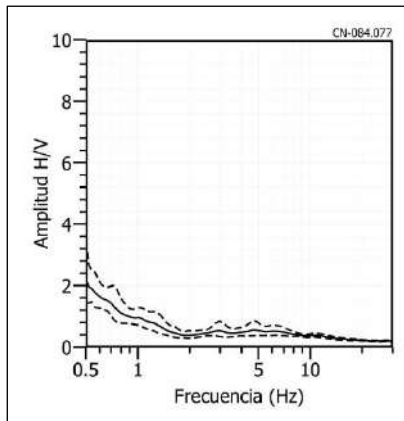


Figura 42. Ejemplos de razones espectrales (H/V). Para los puntos CN-3 (A), CN-45 (C) y CN-53 (D), ubicado en el extremo SO del área de estudio. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante

**CN - 41**



**CN - 84**



**CN - 103**

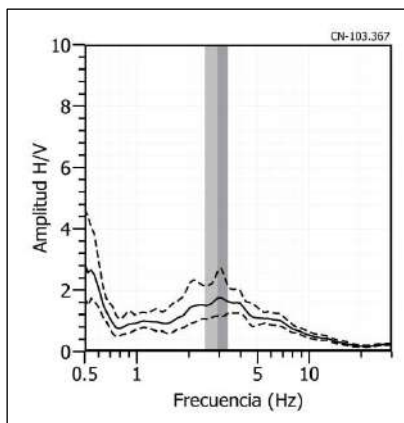
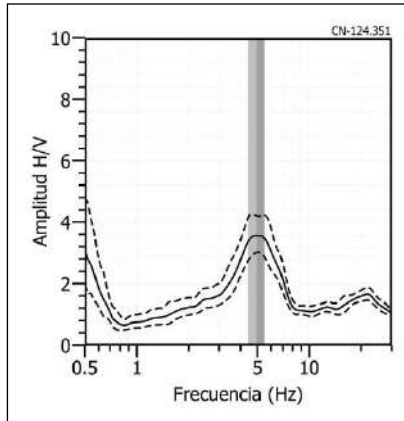
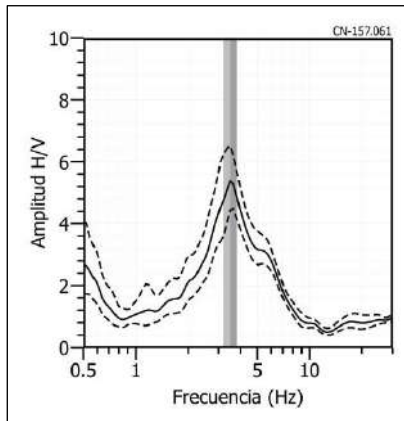


Figura 42 ... Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V). Para los puntos CN-41 (B), CN-84 (E) y CN-103 (G), ubicado en la zona céntrica de la ciudad de Cañete. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante

**CN - 124**



**CN - 157**



**CN - 204**

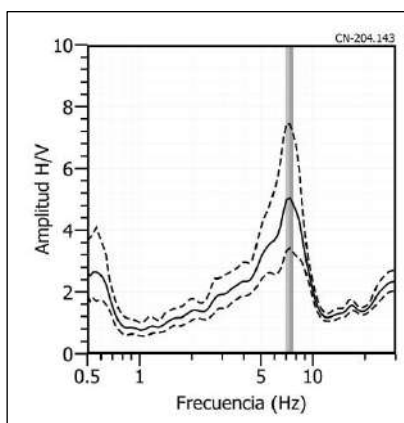
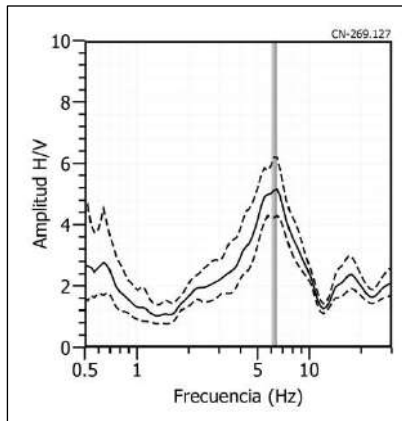
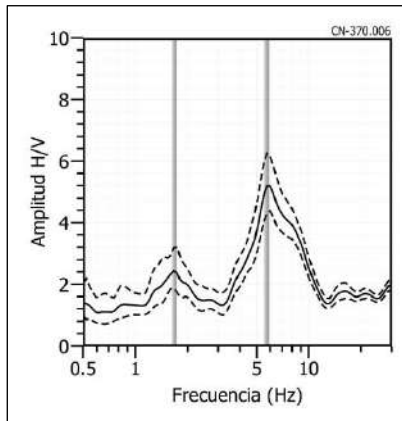


Figura 42... Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V). Para los puntos CN-124 (H), CN-157 (I) y CN-204 (J), ubicado en la periferia de la zona céntrica de la ciudad de Cañete. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante

**CN - 269**



**CN - 370**



**CN - 380**

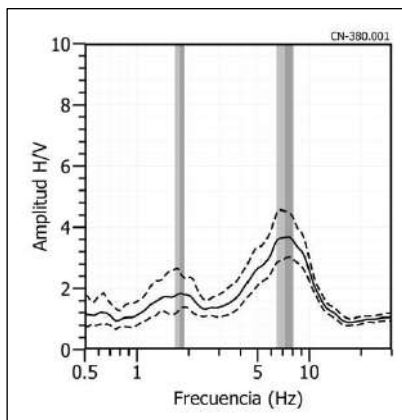


Figura 42... Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V). Para los puntos CN-269 (K), CN-370 (L) y CN-380 (M), ubicado en el extremo Este de la zona en estudio. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante

## 11.2.- Estudios sísmicos con la técnica de arreglos sísmicos

La técnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) permite conocer la velocidad de propagación de las ondas sísmicas en el subsuelo a partir del análisis de la dispersión de ondas superficiales registradas por arreglos lineales de estaciones sísmicas. Como resultado de la inversión de la curva de dispersión, se obtiene el perfil de velocidades para las ondas de corte ( $V_s$ ) en el punto central de cada arreglo.

Para el registro de la información se ha utilizado un equipo de refracción sísmica que consta de un registrador multipropósito, modelo GEODE (24-canales), geófonos de 4.5 Hz y registros a una resolución de 24 bits con un rango dinámico mayor a 110 dB. Como fuente de impacto y/o energía para generar las ondas sísmicas, se utilizó un martillo de 20 lbs. Los parámetros de registro, tales como la geometría del tendido, espaciamiento entre geófonos (entre 3 y 6 metros) y el punto de impacto del martillo, fue variable ya que dependió de la geomorfología de la zona de estudio. La frecuencia de muestreo fue de 4000 Hz con un pre-trigger de -0.1s y una longitud de registro de 2 segundos. Para eliminar el registro de ruido de fondo se realizaron entre 6 y 12 golpes en cada punto de disparo, permitiendo el estaqueo temporal de los datos y así, aumentar la coherencia en los resultados.

En la Figura 43, se presenta el mapa de la ciudad de San Vicente de Cañete con la distribución espacial de 12 líneas de refracción sísmica codificadas como: LS01-CN., LS12-CN, y en la Tabla 10 las coordenadas de cada línea.

Las curvas de dispersión de ondas obtenidas para cada tendido y número de impactos, fueron promediadas y luego invertidas a fin de obtener perfiles de velocidad para puntos específicos del tendido. Para el análisis de los resultados se considera la clasificación, que la Norma E.030 establece, para cada tipo de suelo en base a los siguientes rangos de velocidades para las ondas de corte ( $V_s$ ):

-Suelos blandos ( $V_s \leq 180$  m/s)

-Suelos duros ( $V_s=180$  m/s - 500m/s):

.....Moderadamente duros (180m/s – 350m/s)

.....Duros (350m/s -500m/s)

-Suelos muy duros o roca blanda ( $V_s=500$ m/s-1500m/s)

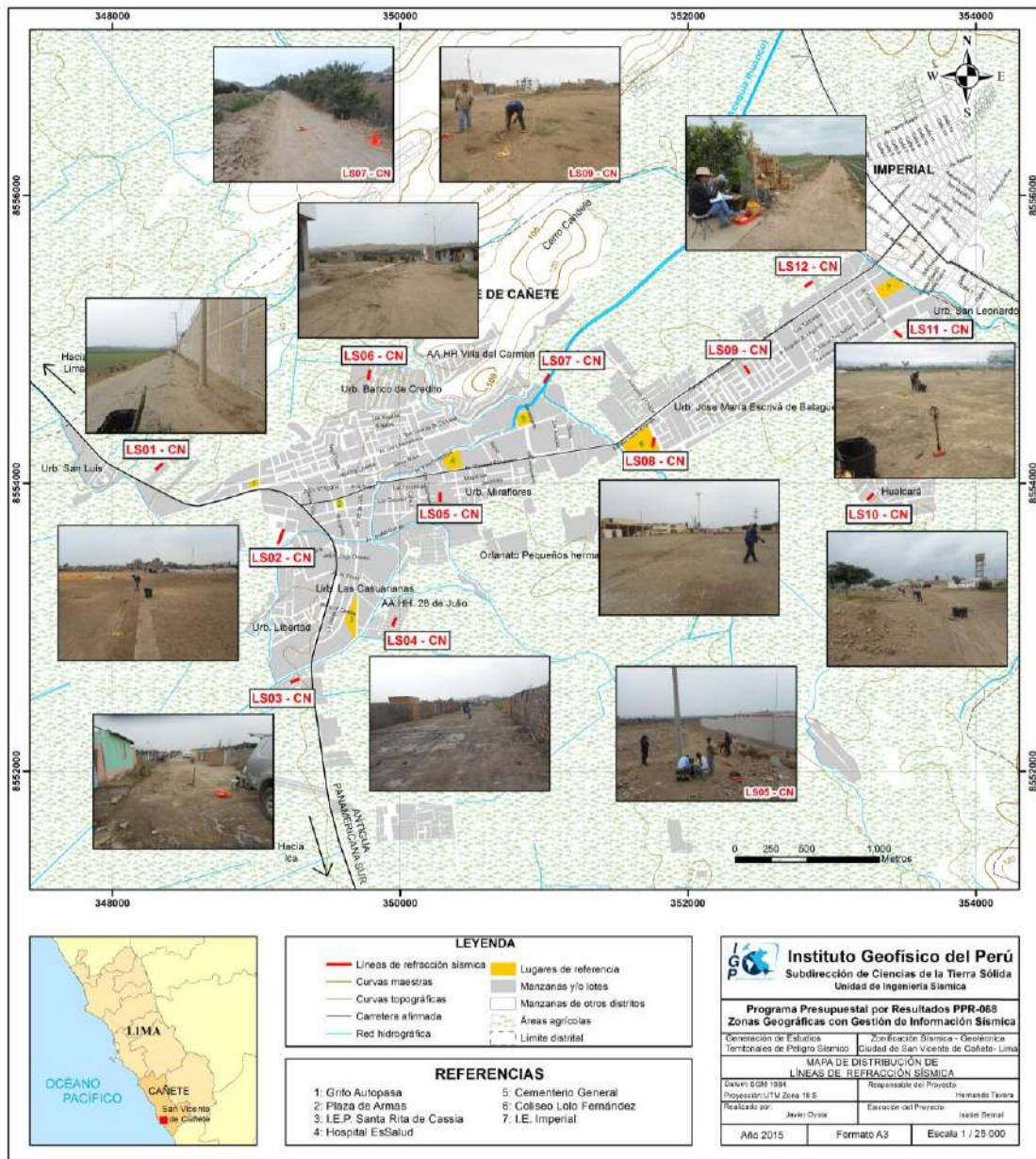


Figura 43: Mapa de la ciudad de San Vicente de Cañete y distribución espacial de las líneas de refracción sísmica codificadas como: LS01-CN, ..., LS12-CN.

A continuación, se describe las características de cada uno de los perfiles sísmicos construidos para conocer la velocidad de las ondas de corte ( $V_s$ ) en la ciudad de San Vicente de Cañete (Figura 44).

**- Línea sísmica LS01-CN:** Línea sísmica realizada en la Urbanización San Luis, kilómetro 141 de la Panamericana Sur. El perfil de velocidad  $V_s$  muestra resultados confiables hasta una profundidad de 30 metros, indicando la

presencia de suelos conformados por dos capas, de 7 y 9 metros de espesor, y velocidades  $V_s$  de 197 m/s y 351 m/s, correspondiente a suelos moderadamente duros y suelos duros respectivamente. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades mayores a 504 m/s y corresponde a suelos muy duros (Figuras 44a).

Tabla 10. Coordenadas y características de las líneas sísmicas

Línea Sísmica	Este (m)	Sur (m)	Cota (m)	Espaciamiento entre geófonos (m)	Longitud total de registro (m)
LS01-CN	348299	8554093	41	3	69
	348352	8554140	41		
LS02-CN	349149	8553574	44	5	115
	349190	8553682	48		
LS03-CN	349299	8552643	34	3	69
	349237	8552617	34		
LS04-CN	349970	8553070	42	3	69
	349947	8553008	40		
LS05-CN	350277	8553872	56	3	69
	350276	8553939	58		
LS06-CN	349780	8554716	59	3	69
	349788	8554790	59		
LS07-CN	351000	8554698	69	3	69
	351036	8554757	70		
LS08-CN	351751	8554250	73	3	69
	351767	8554319	73		
LS09-CN	352429	8554761	87	5	69
	352392	8554818	87		
LS10-CN	353245	8553881	86	3	69
	353290	8553929	87		
LS11-CN	353488	8555016	95	3	69
	353431	8555059	96		
LS12-CN	352810	8555365	95	3	69
	352867	8555404	97		

**.- Línea sísmica LS02-CN:** Línea sísmica realizada en la Hacienda Montalban. El perfil de velocidad  $V_s$  muestra resultados confiables hasta una profundidad de 23 metros, indicando la presencia de suelos conformados por dos capas de 5 y 10 metros de espesor, y velocidades  $V_s$  de 221 m/s y 308 m/s respectivamente. Ambas capas corresponden a suelos moderadamente duros. La superficie de

contacto con el semiespacio presenta velocidades de 427 m/s, y sugiere la presencia de suelos duros (Figura 44b).

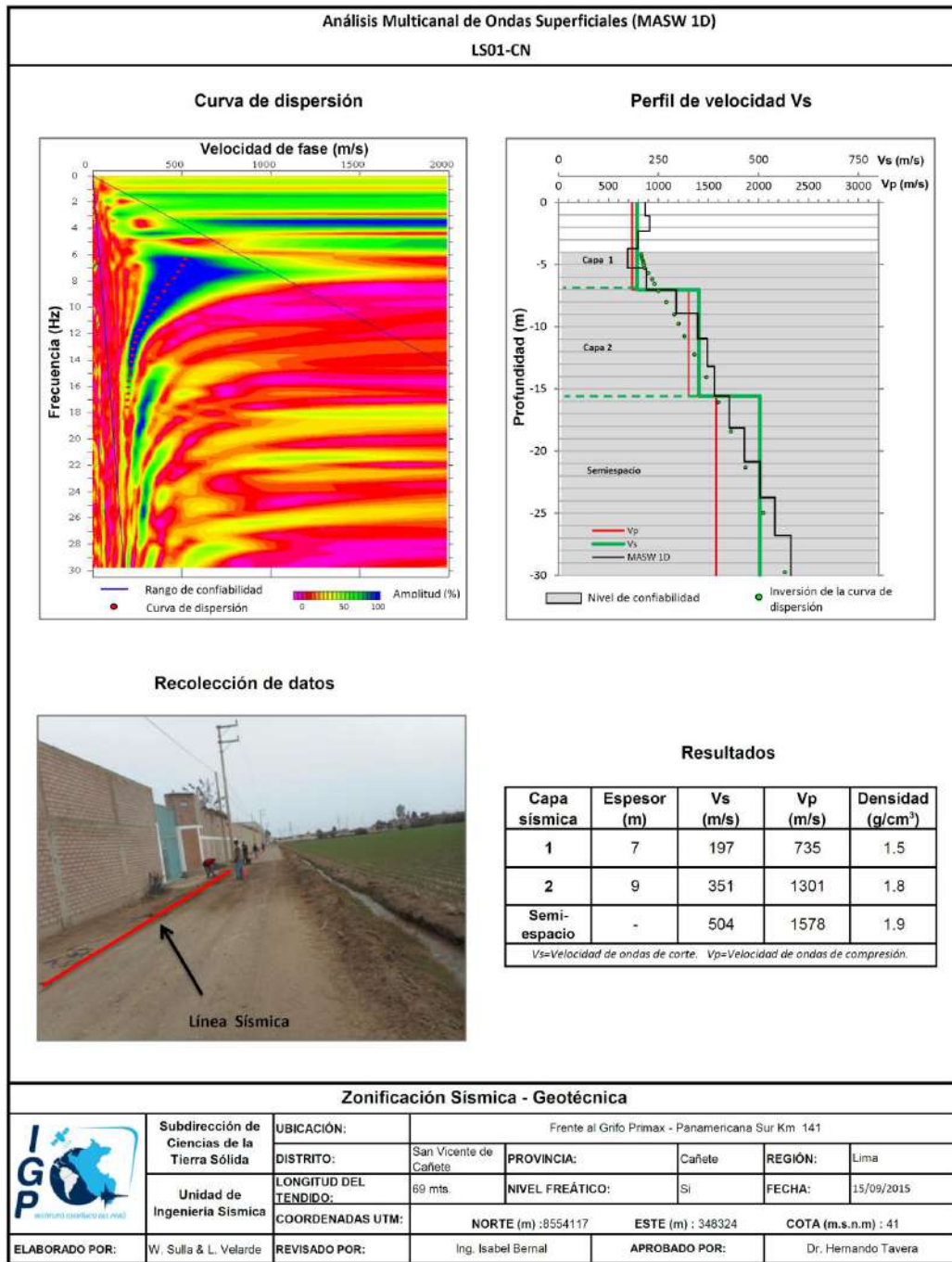


Figura 44. a) Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS01-CN.

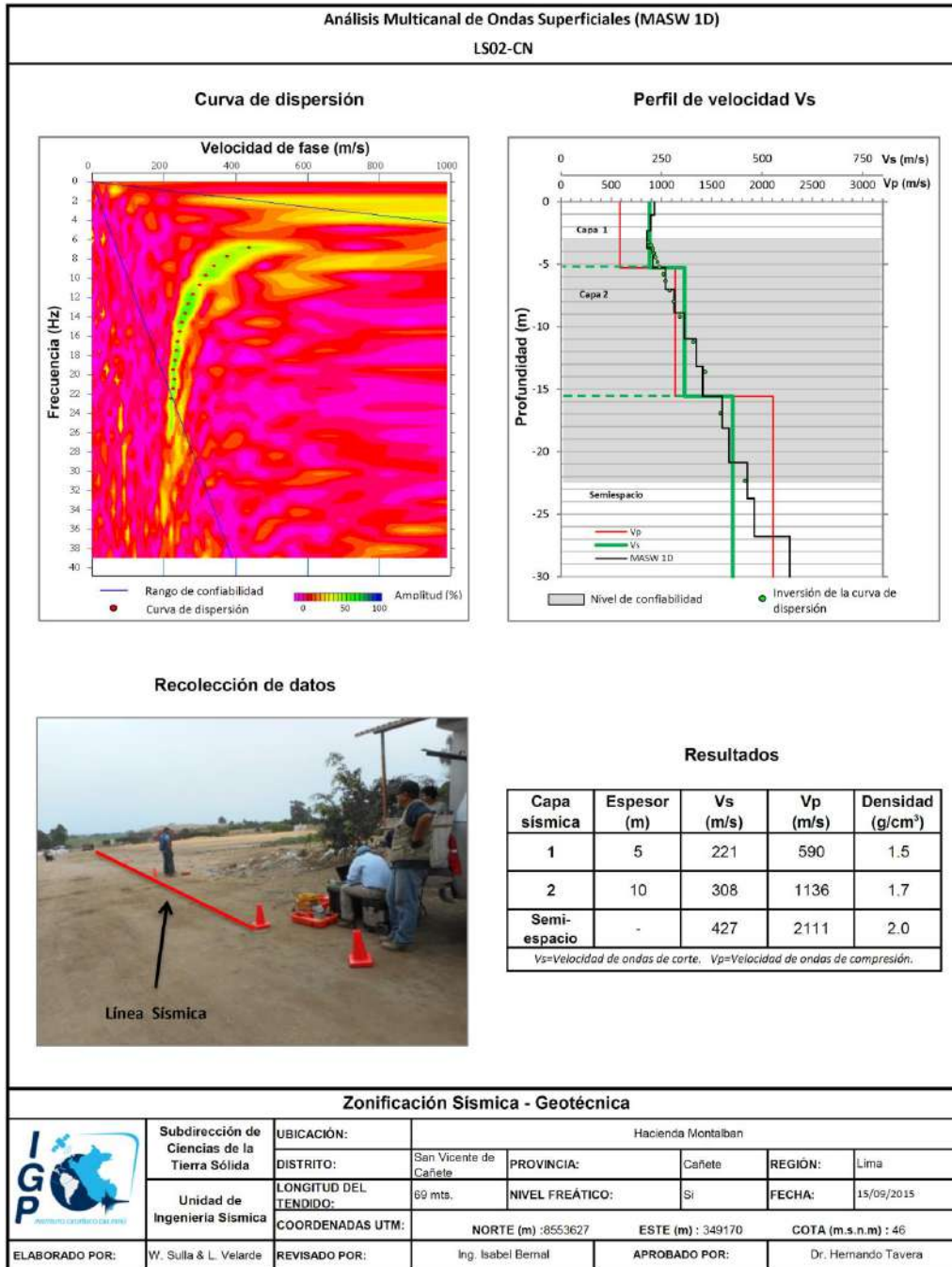


Figura 44. b) Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS02-CN.

**- Línea sísmica LS03-CN:** Línea sísmica realizada en el pasaje Santa Rosa, ubicada en la carretera Panamericana Sur, kilómetro 145. El perfil de velocidad Vs muestra resultados confiables hasta una profundidad de 23 metros, identificándose la presencia de suelos conformados por dos capas, de 5 y 8 metros, y velocidades Vs de 139 m/s y 269 m/s, que sugieren suelos blandos y suelos moderadamente duros. La superficie de contacto con el semiespacio

presenta una velocidad  $V_s$  de 539 m/s y estaría conformada por suelos muy duros o posible roca blanda (Figura 44c). En superficie se observó la presencia de suelos con alto contenido de humedad y podría ser la razón de la baja velocidad de la capa más superficial.

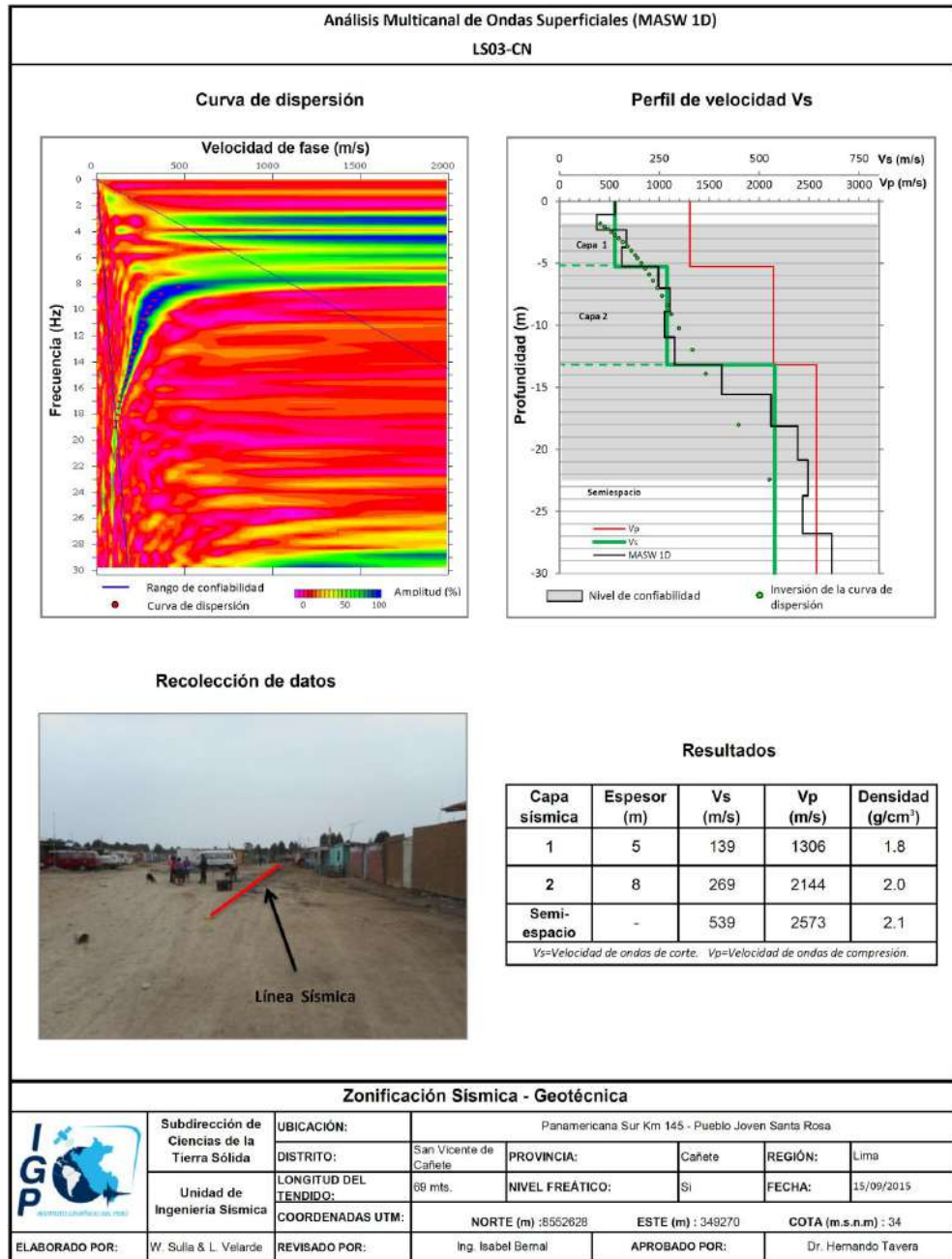


Figura 44. c) Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS03-CN.

**.- Línea sísmica LS04-CN:** Línea sísmica realizada en el AA.HH. 28 de Julio. El perfil de velocidad  $V_s$  muestra resultados confiables hasta un profundidad de 26

metros, identificándose la presencia de suelos conformados por dos capas, la primera de menor espesor y velocidad (2 m con 108 m/s) asentada sobre la segunda capa de 11 metros de espesor, con velocidad de 209 m/s. La primera capa sugiere suelos blandos; mientras que, la segunda suelos moderadamente duros. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidad de 419 m/s, que sugiere suelos duros (Figura 44d). a lo largo del perfil se tiene el predominio de suelos con alto contenido de humedad.

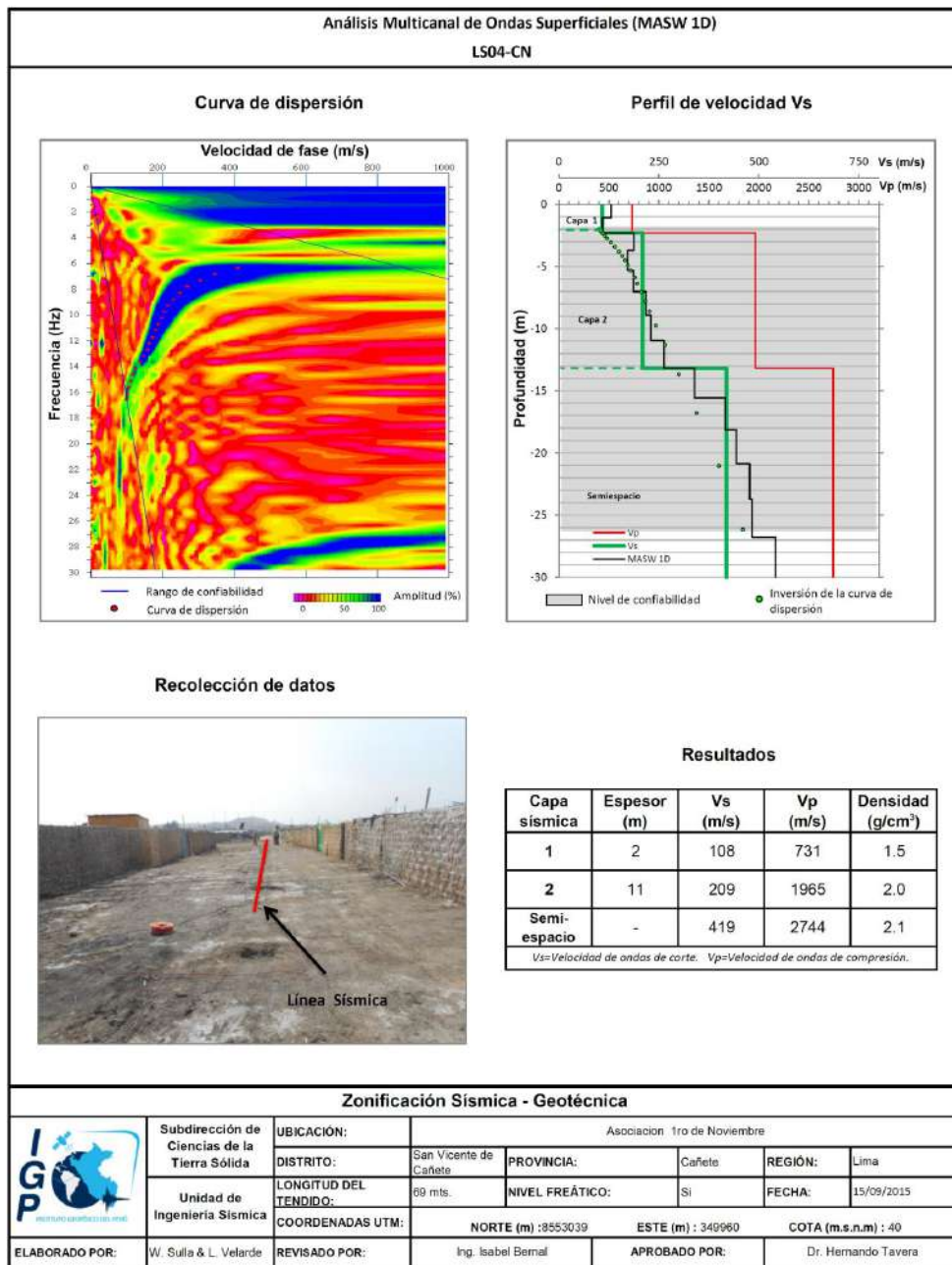


Figura 44. d) Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS04-CN.

**- Línea sísmica LS05-CN:** Línea sísmica realizada en la urbanización Cautivo, próximo al Colegio Alfonso Ugarte. El perfil de velocidad Vs muestra resultados confiables hasta una profundidad de 22 metros, identificándose la presencia de suelos conformados por dos capas, de 5 y 10 metros de espesor y velocidades de 213 m/s y 323 m/s, correspondiente a suelos moderadamente duros. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades de 454 m/s lo cual sugiere suelos duros (Figura 44e).

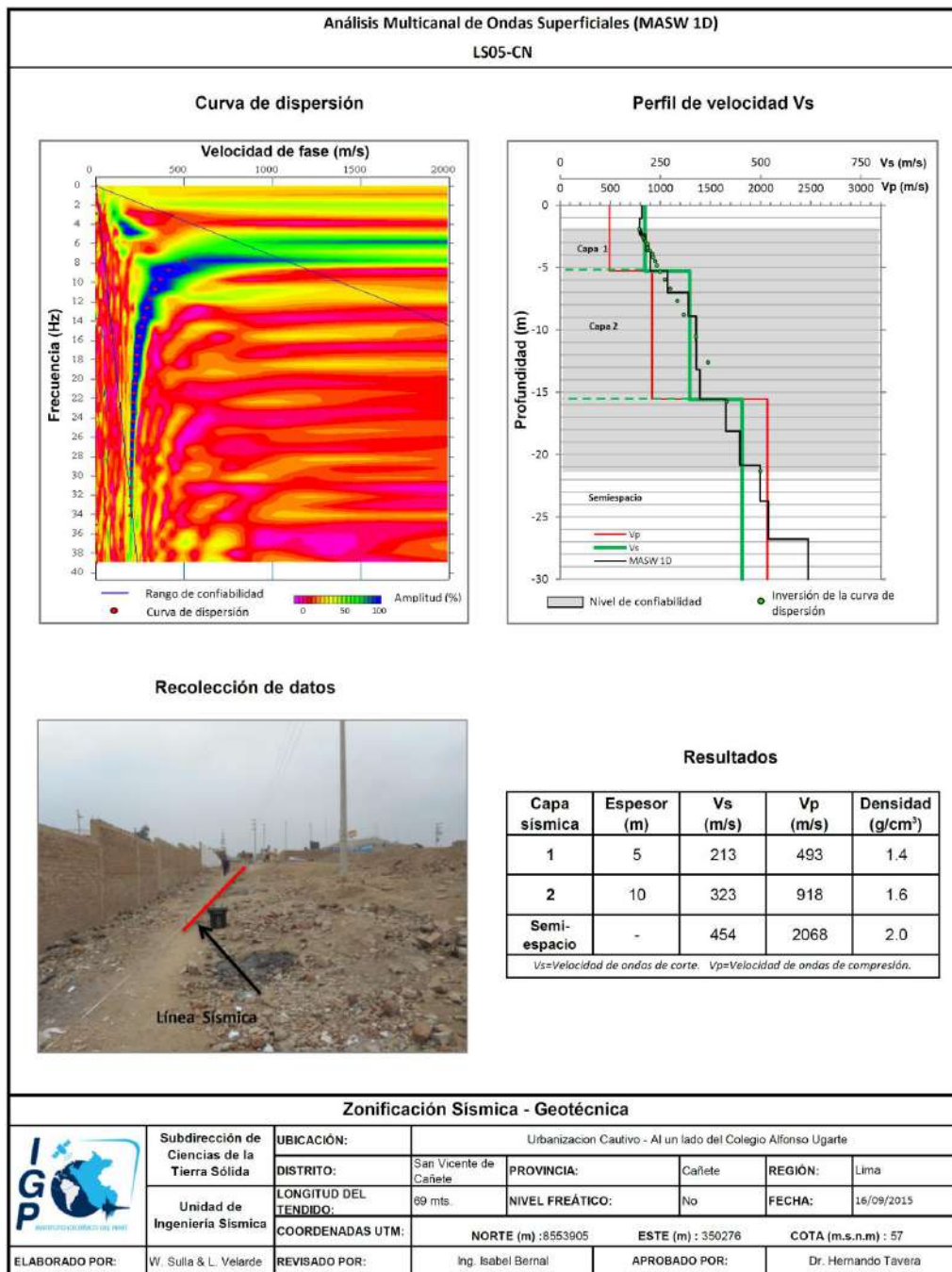


Figura 44. e) Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS05-CN.

**.- Línea sísmica LS06-CN:** Línea sísmica realizada en la urbanización Los Cipreses. El perfil de velocidad Vs muestra resultados confiables hasta una profundidad de 30 metros, identificándose la presencia de dos capas, de 5 y 10 metros de espesor con velocidades de 182 m/s y 303 m/s, correspondiendo a suelos moderadamente duros. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades de 559 m/s (Figura 44f).

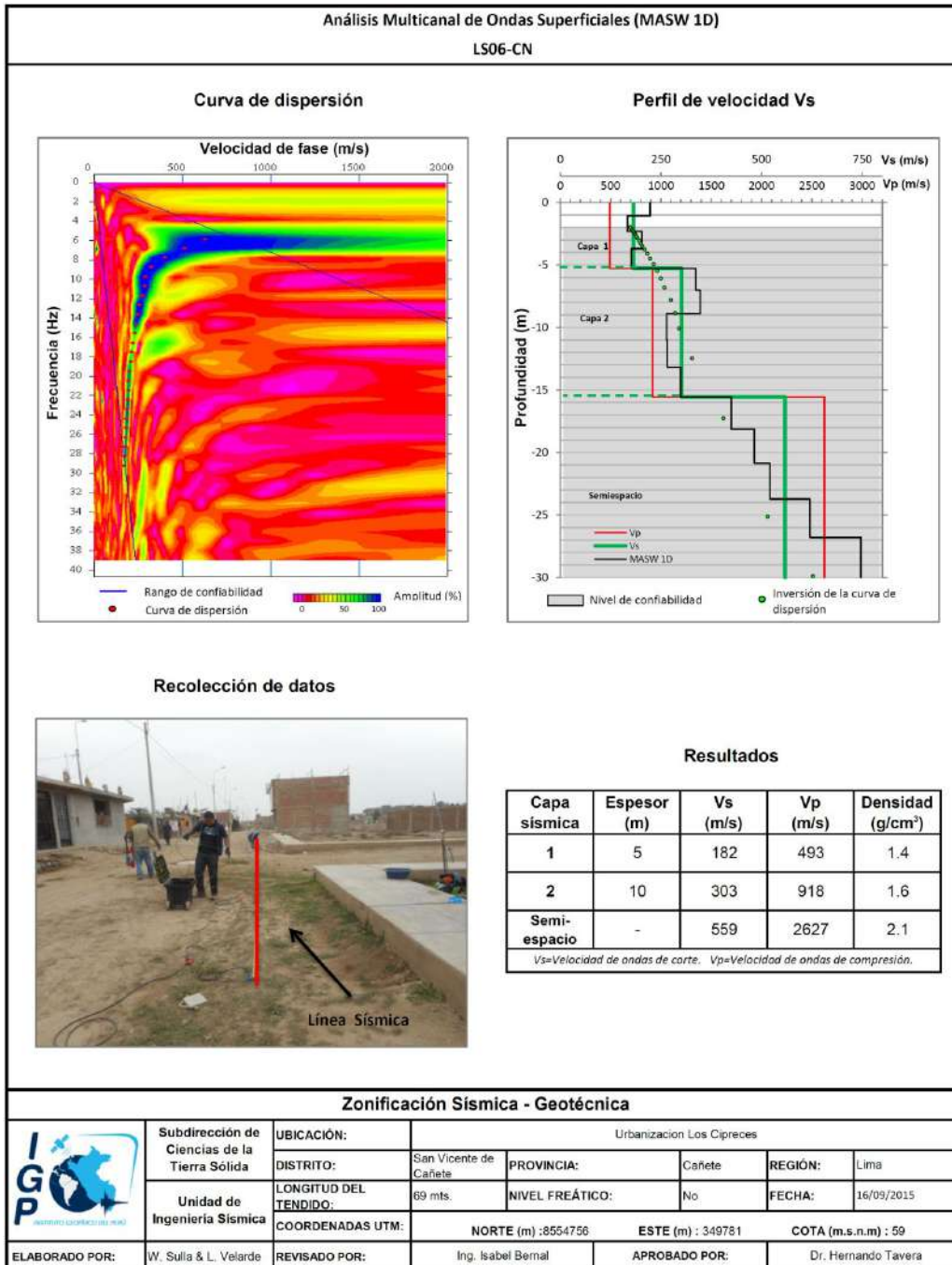


Figura 44. f) Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS06-CN.

**- Línea sísmica LS07-CN:** Línea sísmica realizada en una zona de cultivo conocida como El Chilcal. El perfil de velocidad Vs muestra resultados confiables hasta una profundidad de 30 metros, identificándose la presencia de dos capas de 4 y 3 metros de espesor y velocidades de 117 m/s y 197 m/s, sugiriendo la presencia de suelos blandos. La superficie de contacto con el semiespacio, presenta velocidades mayores a 513 m/s que corresponden a suelos muy duros o posible roca blanda (Figura 44g).

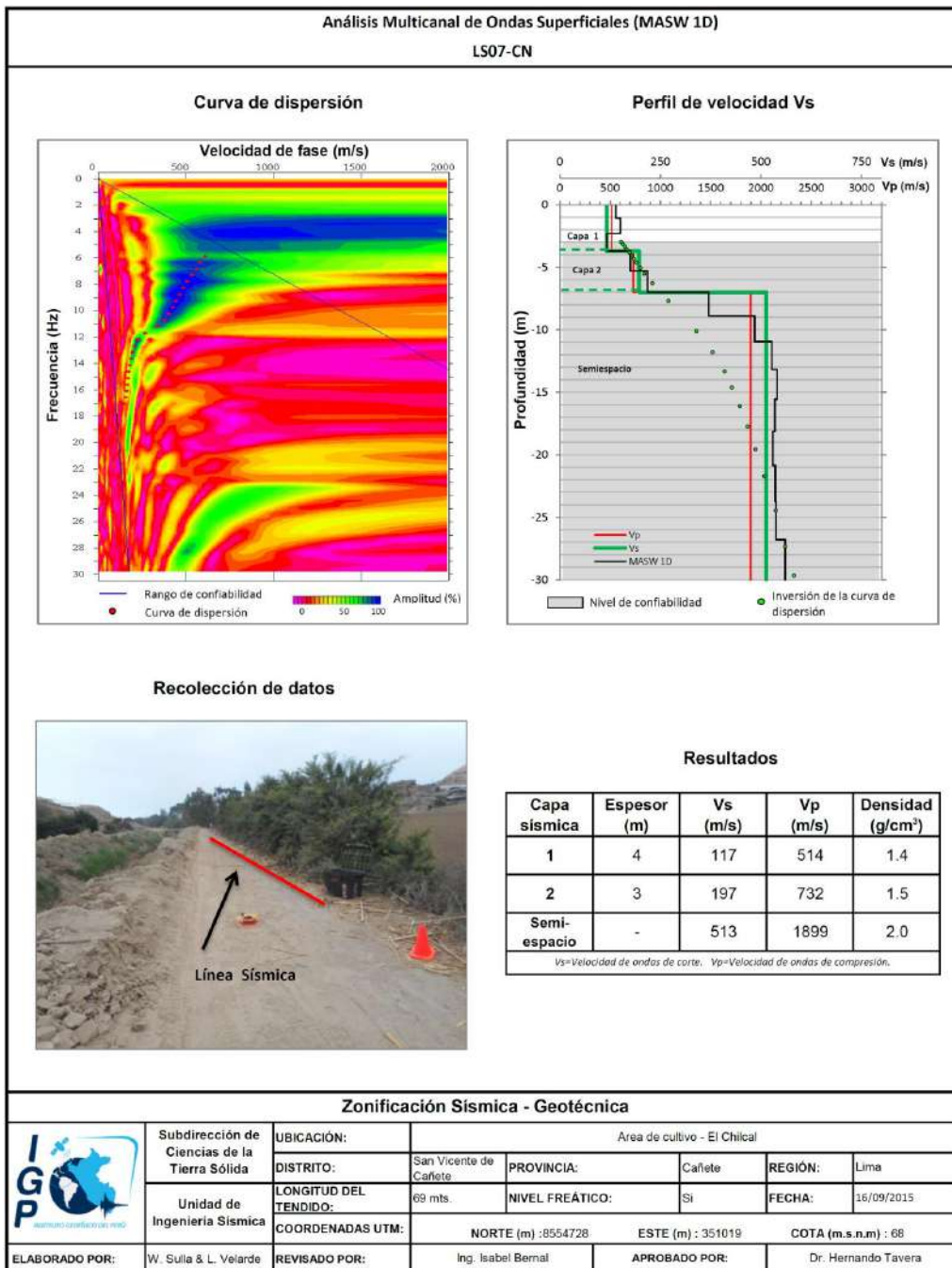


Figura 44. g) Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS07-CN.

**- Línea sísmica LS08-CN:** Línea sísmica realizada en el Coliseo Municipal Lolo Fernández. El perfil de velocidad Vs muestra resultados confiables hasta una profundidad de 27 metros, identificándose la presencia de suelos conformados por dos capas. La primera de bajo espesor y velocidad (2m y 124 m/s), que sugiere suelos blandos, asentada sobre otra capa de 7 metros de espesor y velocidad de 241 m/s, que corresponde a suelos moderadamente duros. La superficie de contacto con el semiespacio, presenta velocidades mayores a 585 m/s al cual correspondería a suelos muy duros o roca blanda (Figura 44h).

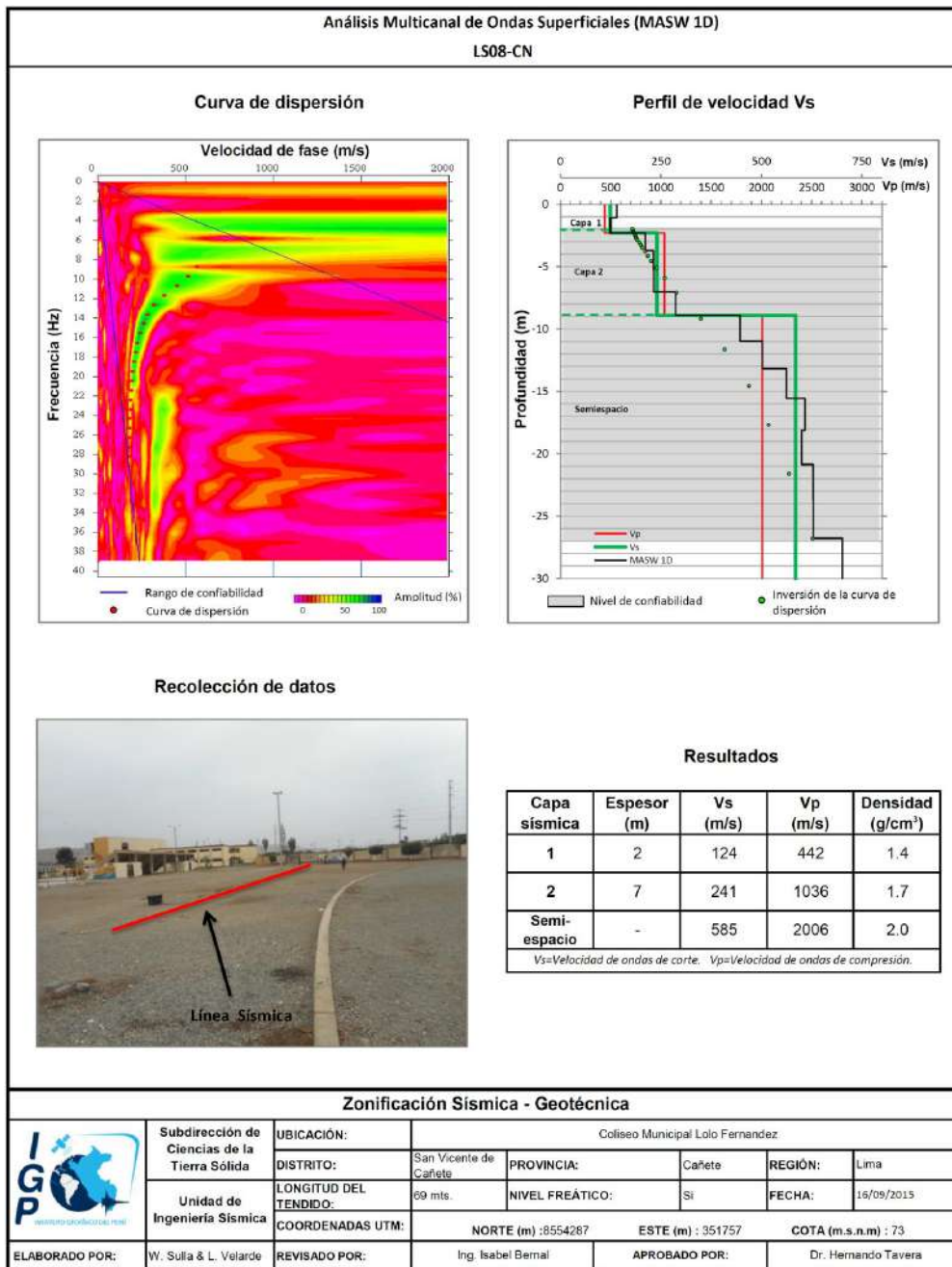


Figura 44. h) Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS08-CN.

**- Línea sísmica LS09-CN:** Línea sísmica realizada en la urbanización San José María Escrava de Balaguer. El perfil de velocidad  $V_s$  muestra resultados confiables hasta una profundidad de 23 metros, identificándose la presencia de suelos conformados por dos capas. La primera de 2 metros de espesor y velocidad  $V_s$  de 134 m/s, que sugiere suelos blandos, asentada sobre una capa de 5 metros de espesor, con velocidad de 258 m/s, que corresponde a suelos moderadamente duros. La superficie de contacto con el semiespacio, presenta velocidades mayores a 602 m/s (Figura 44i).

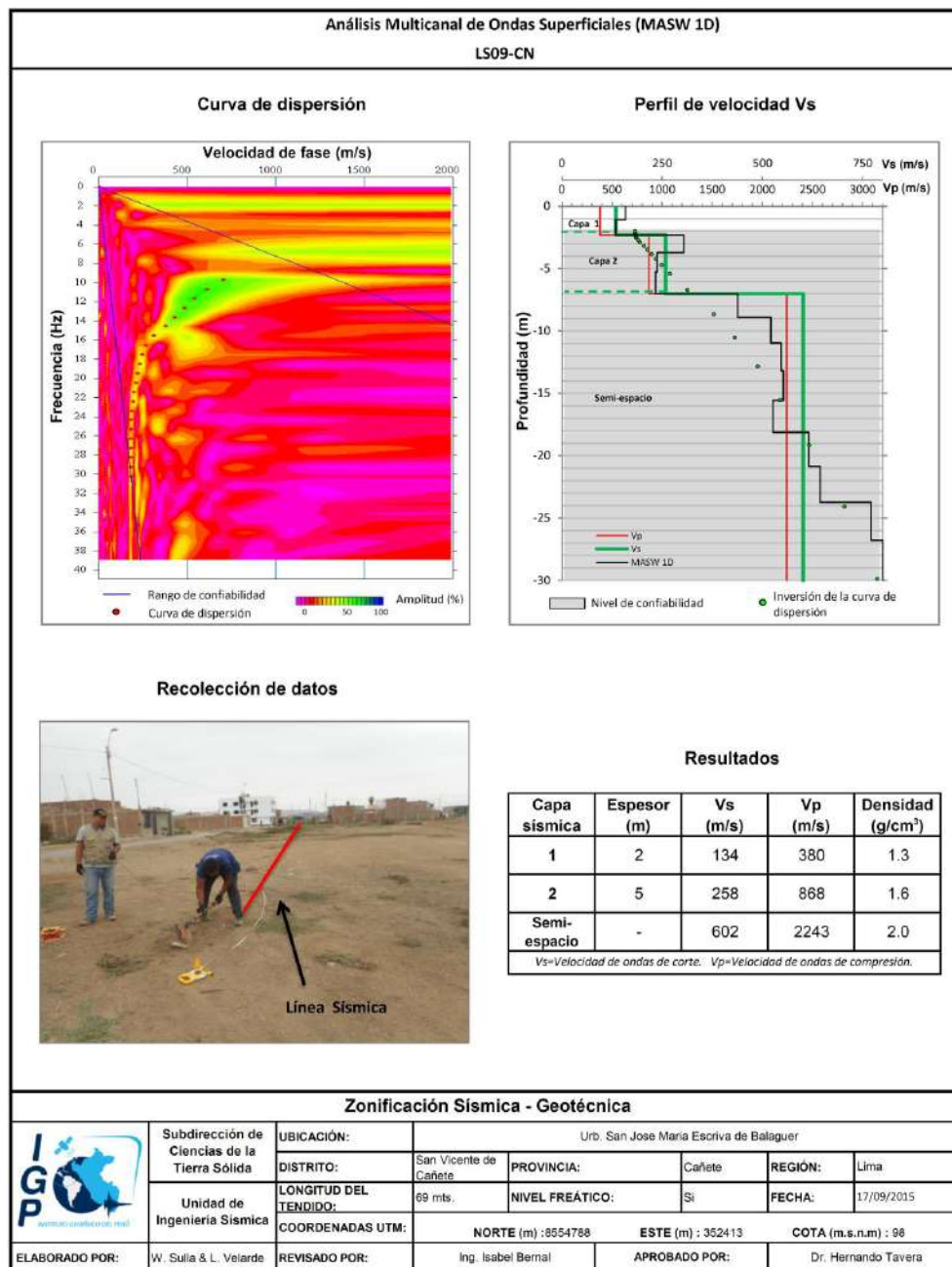


Figura 44. i) Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS09-CN.

**- Línea sísmica LS10-CN:** Línea sísmica realizada en la Hacienda Hualcará. El perfil Vs muestra resultados confiables hasta una profundidad de 25 metros, identificándose la presencia de suelos conformados por dos capas. La primera de 2 metros de espesor y velocidad Vs de 131 m/s, que sugiere suelos blandos, asentada sobre una capa de 7 metros de espesor, con velocidad de 334 m/s, que corresponde a suelos moderadamente duros. La superficie de contacto con el semiespacio, presenta velocidades mayores a 698 m/s al cual correspondería a suelos muy duros o roca blanda (Figura 44j).

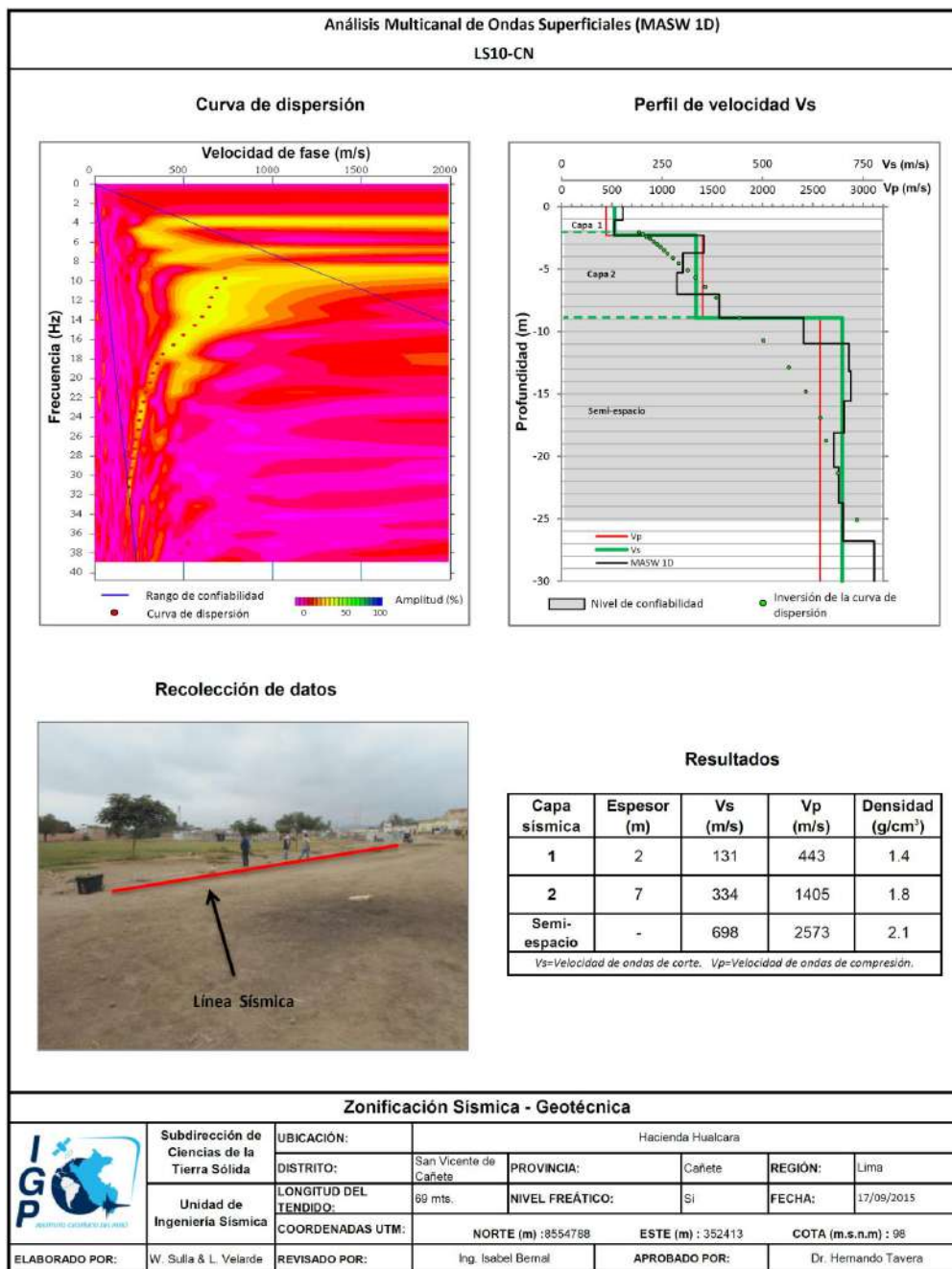


Figura 44. j) Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS10-CN.

**- Línea sísmica LS11-CN:** Línea sísmica realizada en el complejo habitacional Los portales y en la urbanización Magisterial, extremo Este de la ciudad. El perfil de velocidad  $V_s$  muestra resultados confiables hasta una profundidad de 30 metros, identificándose la presencia de suelos conformados por dos capas. La primera con espesores de 2 metros y velocidades de 134 m/s, que sugieren suelos blandos, la segunda tiene un espesor de 5 metros y velocidad  $V_s$  de 263 m/s, que sugieren suelos moderadamente duros. La superficie de contacto con el semiespacio, presenta velocidades mayores a 624 m/s la cual correspondería a suelos muy duros o roca blanda (Figura 44k).

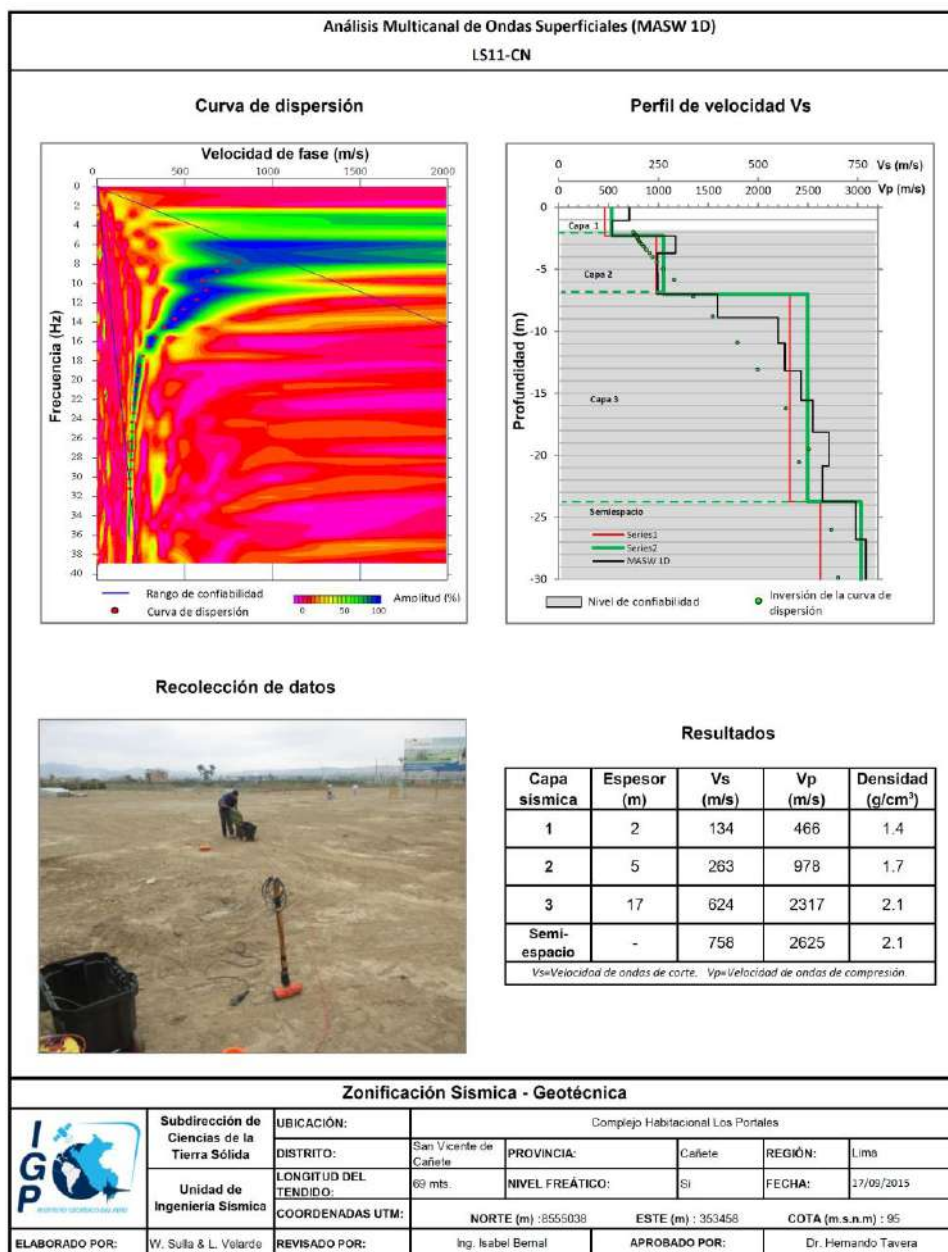


Figura 44. k) Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS11-CN.

**.- Línea sísmica LS12-CN:** Línea sísmica realizada en la urbanización Magisterial. El perfil de velocidad Vs muestra resultados confiables hasta una profundidad de 24 metros, identificándose la presencia de suelos conformados por dos capas. La primera con espesores de 2 metros y velocidades de 130 m/s, que sugieren suelos blandos. La segunda tiene un espesor de 9 metros y velocidad Vs de 276 m/s, que sugieren suelos moderadamente duros. La superficie de contacto con el semiespacio, presenta velocidades mayores a 697 m/s la cual correspondería a suelos muy duros o roca blanda (Figura 44I).

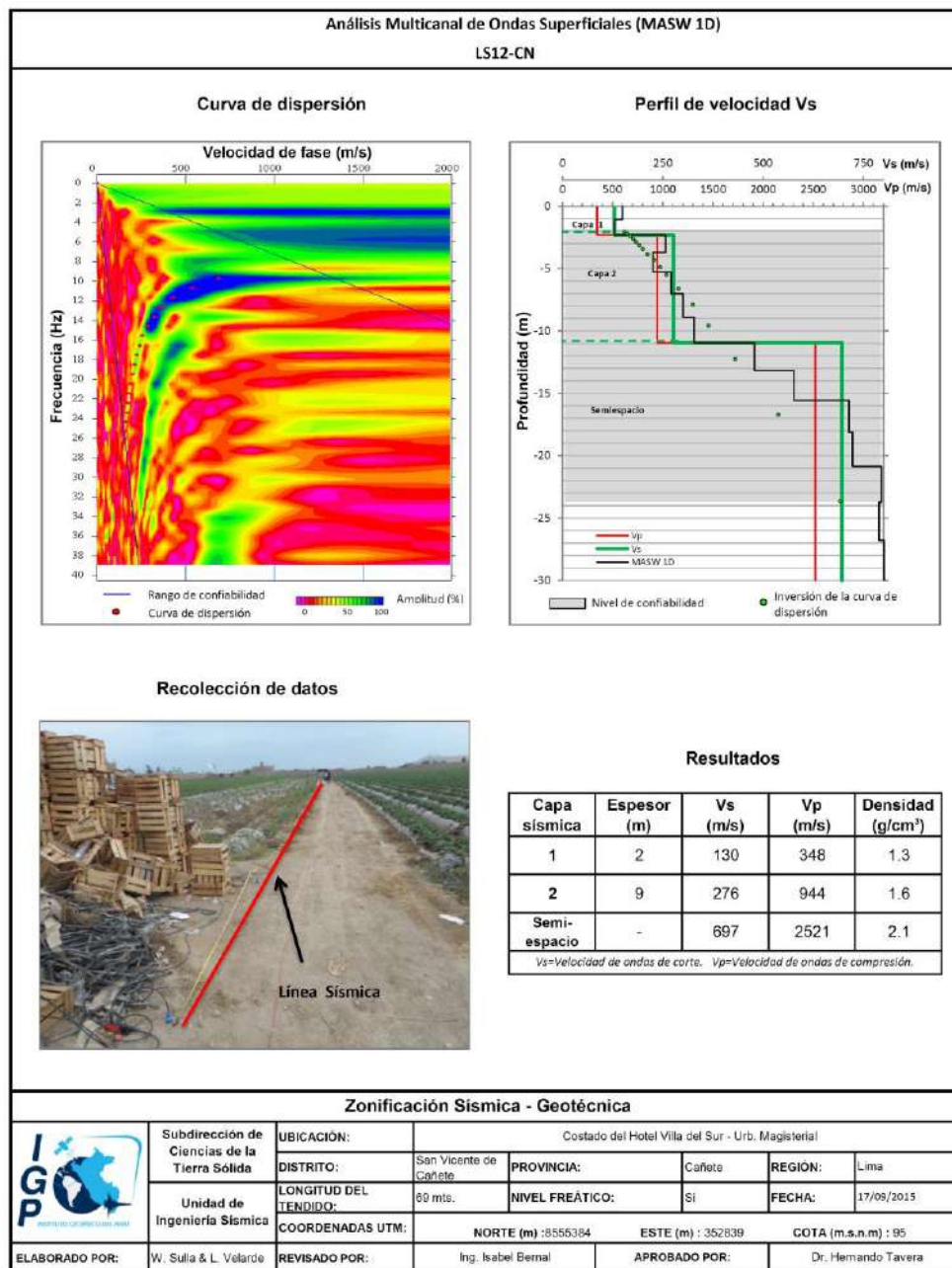


Figura 44. I) Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS12-CN.

En la Tabla 11, se muestra el resumen del número de capas, espesores y velocidades  $V_s$  para cada línea sísmica realizada en la ciudad de San Vicente de Cañete.

Tabla 11. Valores de espesor y velocidad  $V_s$  de las líneas sísmicas.

Línea sísmica	n° capa				
	1		2		Semiespacio
	$V_s$ (m/s)	Esp.(m)	$V_s$ (m/s)	Esp.(m)	$V_s$ (m/s)
LS01-CN	197	7	351	8	504
LS02-CN	221	5	308	10	427
LS03-CN	139	5	269	8	539
LS04-CN	108	2	209	11	419
LS05-CN	213	5	323	10	454
LS06-CN	182	5	303	10	559
LS07-CN	117	4	197	3	513
LS08-CN	124	2	241	7	585
LS09-CN	134	2	258	5	613
LS10-CN	131	2	334	7	698
LS11-CN	134	2	263	5	624
LS12-CN	130	2	276	9	697
Suelos blandos ( $V_s < 180$ m/s)					
Suelos duros ( $V_s=180$ m/s - 500m/s):					
.....Moderadamente duros (180m/s – 350m/s)					
.....Duros (350m/s -500m/s)					
Suelos muy duros o roca blanda ( $V_s=500$ m/s-1500m/s)					

En conclusión, la ciudad de San Vicente de Cañete se encuentra emplazado sobre depósitos aluviales constituida por dos capas. La primera capa superficial, con espesores de 2 a 5 metros y velocidad entre 100 a 185 m/s, está constituida por material orgánico, húmedo y arcilloso (LS03, LS04, LS06 a LS12). La segunda capa, con espesores entre 3 y 6 metros y velocidades entre 190 a 450 m/s, está constituida por depósitos aluviales cuyo grado de compacidad y contenido de humedad varía progresivamente. En la zona céntrica de la ciudad, las velocidades ( $V_s$ ) de la capa más superficial varia de entre 200 y 300 m/s, siendo más compactos con respecto a lo observado en el resto de la ciudad.

### 11.3.- Periodos dominantes

Para presentar los resultados finales obtenidos con la técnica H/V, 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 45 se muestra la distribución espacial de los valores de periodos dominantes obtenidos para la ciudad de San Vicente de Cañete. Los resultados obtenidos permiten definir el predominio de periodos entre 0.1 a 0.2 segundos sobre la ciudad, lo cual sugiere la presencia de una capa superficial de poco espesor que es influenciada por una capa más profunda y de mayor potencia. Asimismo, se identifica la presencia de áreas pequeñas en donde se tiene periodos de 0.3 segundos, ubicadas alrededor de la Plaza de Armas de la ciudad, extremo SE de la zona céntrica (próximo al Orfanato Pequeños Hermanos) y extremo NO de la ladera del Cerro Candela.

Los periodos dominantes que caracterizan a los suelos de la ciudad de San Vicente de Cañete, están relacionados por sus condiciones físico-dinámicas a través de la relación  $T_0=4H/V_s$  ( $T_0$ , periodo dominante; H, espesor del estrato y  $V_s$ , velocidad de onda de corte). Entonces, conocidos los periodos y la velocidad de las ondas de corte ( $V_s$ ), se puede proceder a calcular los espesores de las capas del suelo. Asumiendo, velocidades promedios de 190 m/s y 450 m/s para las ondas de corte ( $V_s$ ) y periodos de 0.1 y 0.3 segundos, se estima para la capa superficial espesores de entre 8 y 22 metros. Estos valores son confirmados con los modelos de velocidad y espesores de capas obtenidos con los métodos geofísicos.

### 11.4.- Estudios de tomografía eléctrica

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 con mayor o menor contenido de agua. Conocidas las resistividades del suelo ( $\Omega.m$ ), por medio de secciones transversales (2-D) se modela versus la profundidad y los resultados son validados con datos geológicos. En la ciudad de San Vicente de Cañete y alrededores se han realizado

6 líneas de tomografía eléctrica con el dispositivo polo-dipolo (Figura 46) y la distribución de 25 electrodos a fin de alcanzar tendidos de 120, 144 y 240 metros, lo cual permitió tener alcances en profundidad del orden de 24 y 40 metros (Tabla 12).

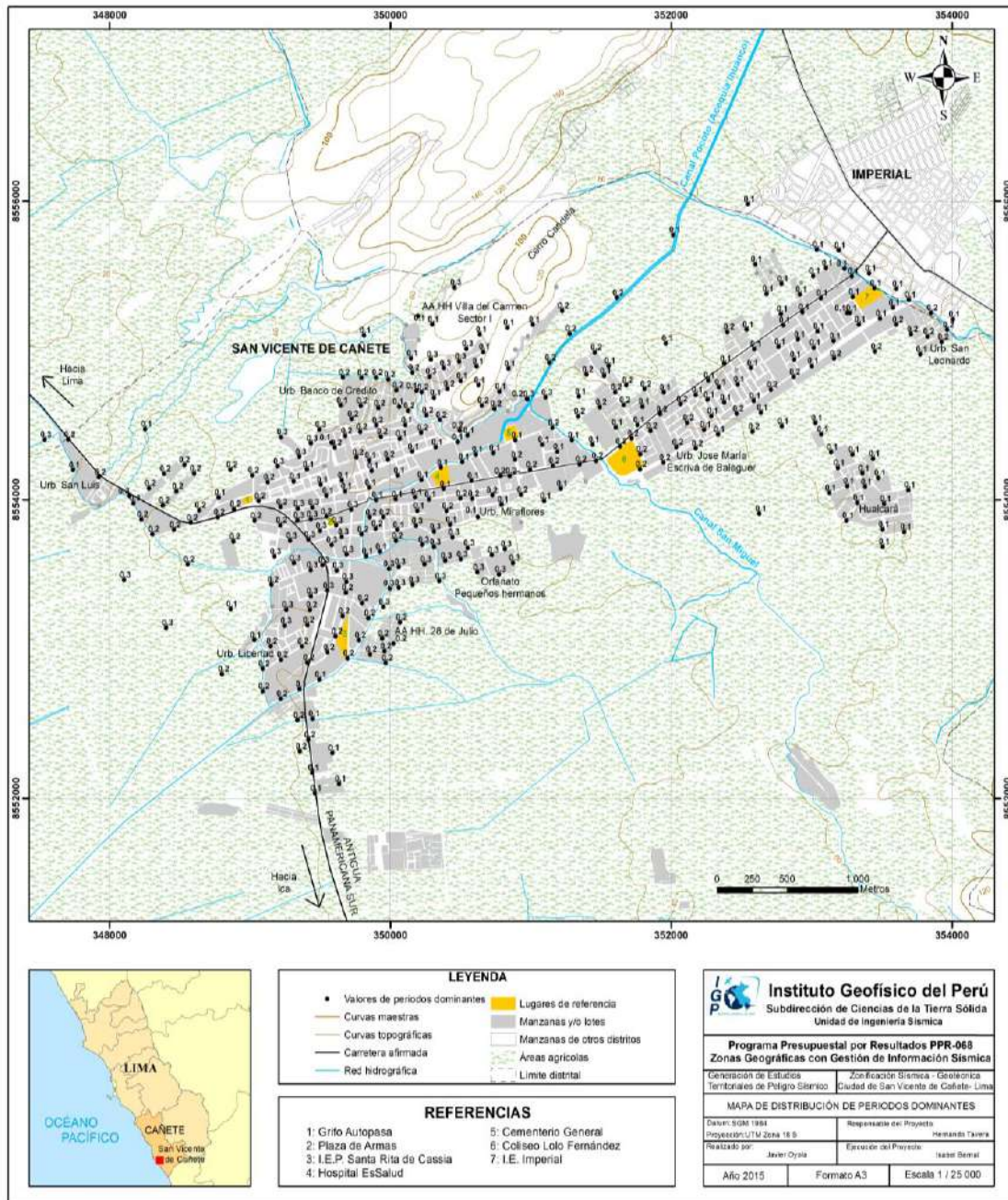


Figura 45: Mapa de la distribución espacial de los valores de periodos dominantes

En la Figura 47, se observa algunas líneas eléctricas en donde se observa suelos con presencia de agua a 0.5 metros de profundidad y otras con contenidos de sales.

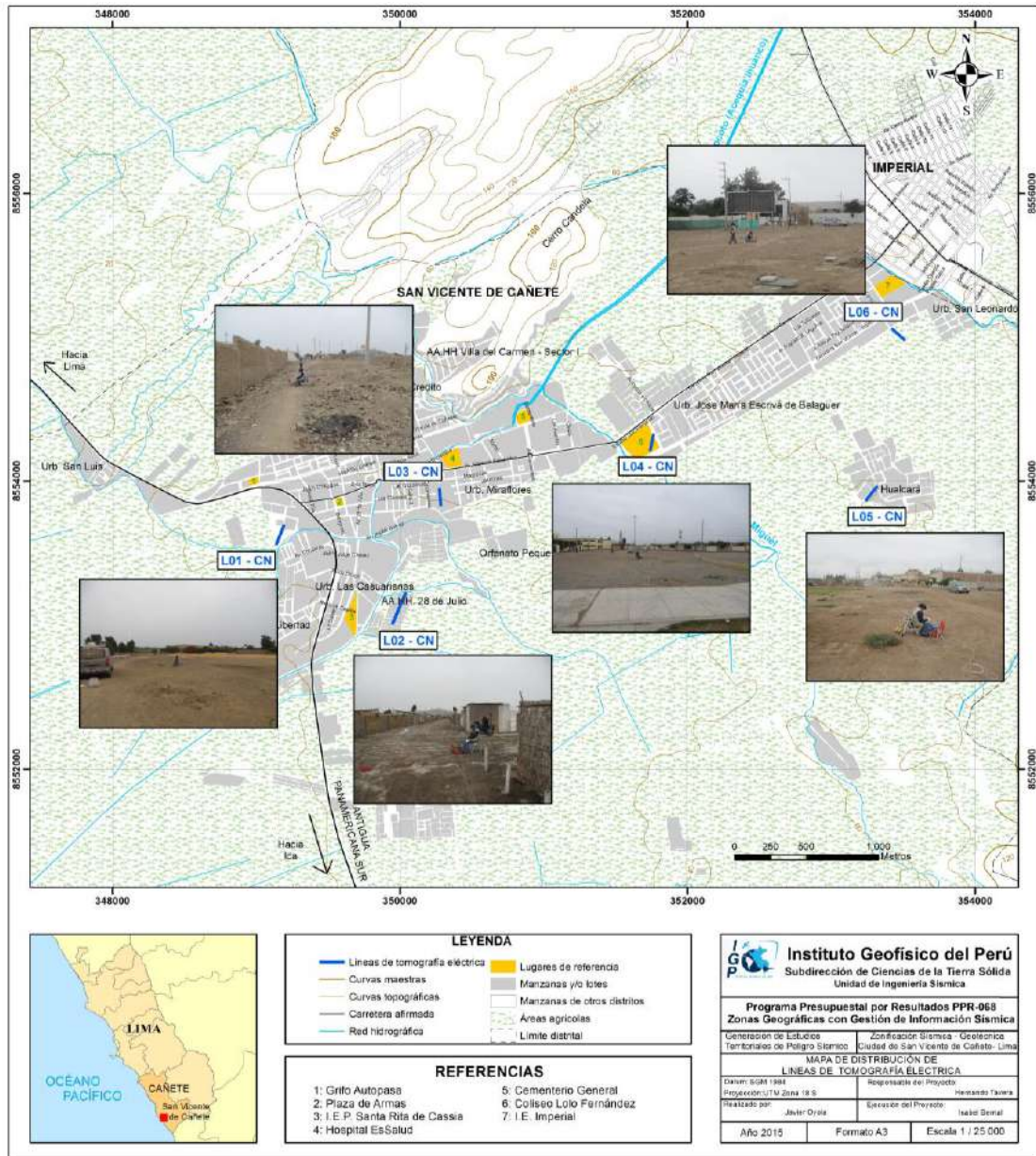


Figura 46: Mapa de la ciudad de Cañete y ubicación de las 6 líneas de tomografía eléctrica codificadas como: LE01-CN, ..., LE06-CN.



Figura 47: Líneas eléctricas en suelos con napa freática y con contenido de sales.

Tabla 12: Parámetros de operación considerados en los tendidos eléctricos

Línea eléctrica	Separación de Dipolo / Número de Electrodo	Extensión de la línea	Orientación de la línea
LE01-CN	6 m / 25 electrodos	144 m	NE - SW
LE02-CN	10 m / 25 electrodos	240 m	NE - SW
LE03-CN	6 m / 25 electrodos	144 m	N - S
LE04-CN	5 m / 25 electrodos	120 m	N - S
LE05-CN	5 m / 25 electrodos	120 m	NE - SW
LE06-CN	5 m / 25 electrodos	120 m	NW - SE

A continuación, se describe las características de cada una de las secciones geo-eléctricas realizadas y cuya información permitirá conocer el valor real de la resistividad del subsuelo en la ciudad de San Vicente de Cañete y alrededores (Figura 48).

***.- Línea de Tomografía Eléctrica LE01-CN:*** Línea eléctrica realizada en el extremo SO del área urbana de Cañete (NE-SE). Los valores de resistividad varían entre 2 a 300 ohm.m. con el predominio de valores moderadamente resistivos y bajos resistivos. A lo largo de la línea, se distribuyen valores altos resistivos entre 100 a 300 ohm.m, de forma alargada y elipsoidal y con profundidades variables. Un primer grupo entre las estaciones 18 y 60, el segunda entre las estaciones 66 y 90 y finalmente, desde la estación 114 hasta el extremo suroeste de la línea, con una profundidad promedio de 12 metros. Sobreyaciendo y subyaciendo a estos valores, se presentan otros bajos resistivos (menores a 100 ohm.m) con profundidades que alcanzan los 24 metros. Estos valores se pueden asociar a la saturación de los suelos por la presencia de terrenos agrícolas y de un canal de agua (extremo NE de la línea). Los materiales presentes son limos, arena y gravas (Figura 48a).

***.- Línea de Tomografía Eléctrica LE02-CN:*** Línea eléctrica realizada al SO del área urbana de Cañete, Cooperativa Unanue - Asociación Primero de Noviembre (NO-SE). El rango de valores de resistividad varía de 2 a 300 ohm.m. con el predominio de valores bajos resistivos y muy bajos resistivos. A lo largo de la línea, se distribuyen valores muy bajos resistivos menores a 20 ohm.m, de forma horizontal, paralela a la superficie y con profundidades promedio de 6 metros.

Por debajo, se tiene valores bajos resistivos entre 20 y 100 ohm.m en la mayor parte del perfil con profundidades que alcanzan los 20 metros. Entre la estación 110 y hacia el extremo SO de la línea se tiene valores altos resistivos. A mayor profundidad (~30 metros) se tiene la presencia de valores de muy baja resistividad. Estos valores pueden ser asociados a la saturación del medio por la presencia de terrenos agrícolas y de un canal de agua en el extremo noreste de la línea. Los materiales presentes son arenas, el terreno es muy salitroso, húmedo y afirmado/compactado (Figura 48b).

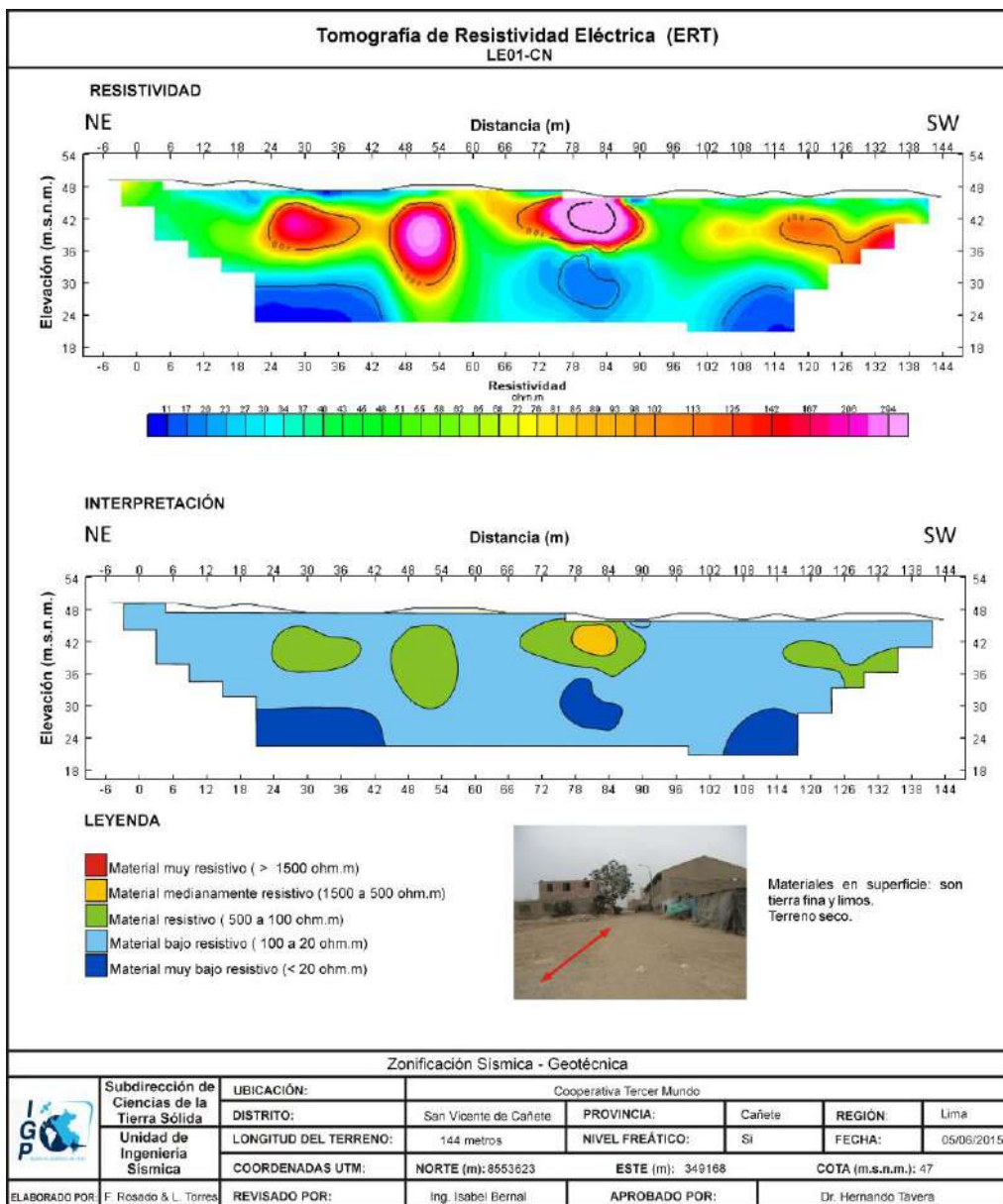


Figura 48a. Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE01-CN.

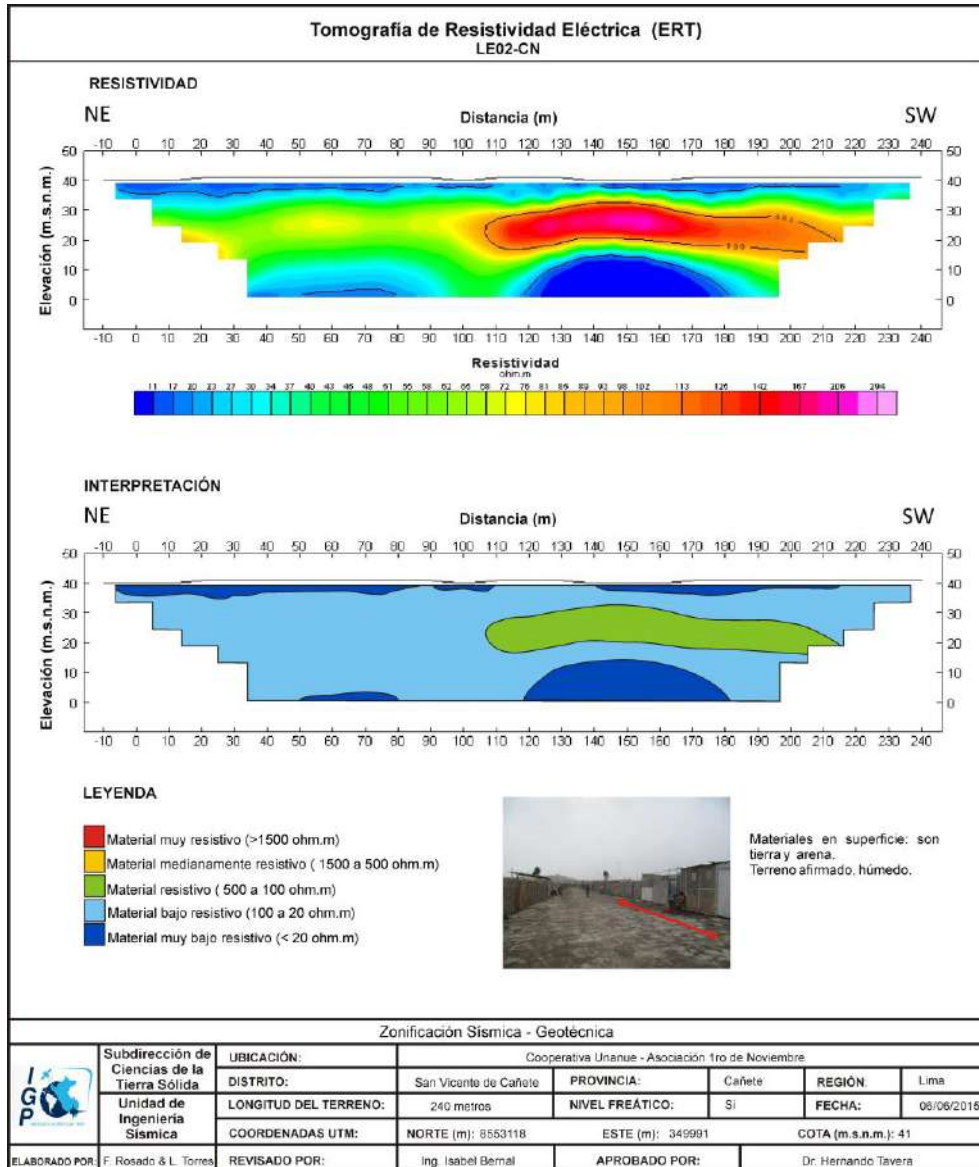


Figura 48b. Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE02-CN.

**- Línea de tomografía eléctrica LE03-CN:** Línea eléctrica realizada en la parte central y oeste del área urbana de San Vicente de Cañete (norte-sur). El rango de valores de resistividad varía entre 20 a 300 ohm.m. con el predominio de valores altos resistivos. A lo largo de la línea eléctrica, se distribuyen valores altos resistivos entre 100 a 300 ohm.m, hasta profundidades de 24 metros. Luego se presentan valores bajo resistivos entre 20 a 100 ohm.m de forma irregular y con profundidades variables, un primer grupo está desde el inicio de la línea hasta la estación 90, el segundo hacía el extremo sur de la línea desde la estación 110. La línea se realizó sobre un camino de tierra peatonal, con la

presencia de desmontes, rellenos, buzones de desagüe y postes de corriente eléctrica al lado de la línea (Figura 48c).

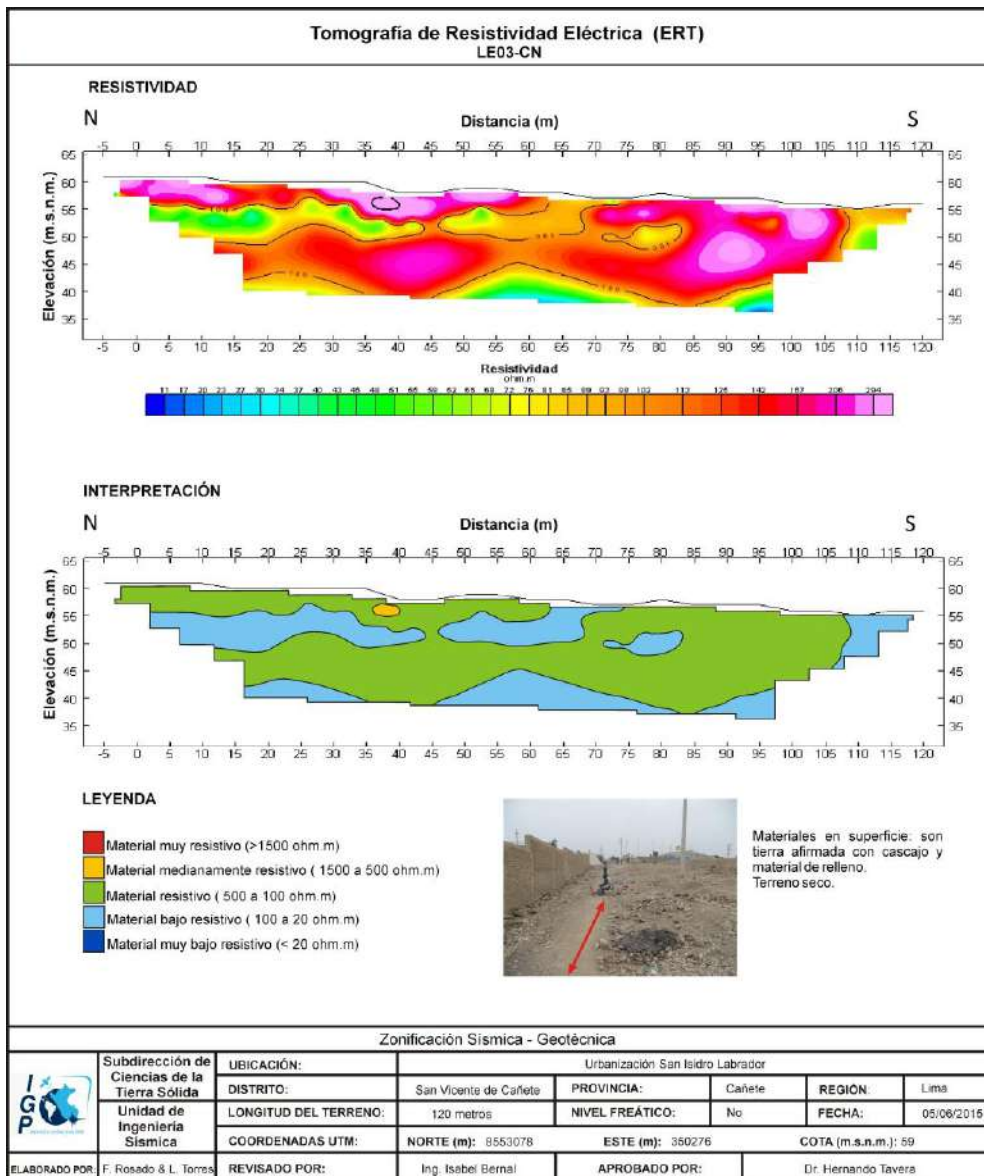


Figura 48c. Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE03-CN.

**- Línea de tomografía eléctrica LE04-CA:** Línea eléctrica realizada en el Coliseo Lolo Fernández, al interior de la Universidad Nacional de Cañete Sergio Bernales, centro del área urbana de San Vicente de Cañete (norte-sur). A lo largo de la línea eléctrica se distribuyen valores altos resistivos entre 100 a 300 ohm.m, hasta una profundidad promedio de ~5 metros (suelo compacto). Por debajo, se tiene valores bajos resistivos a muy bajos resistivos inferiores a 100 ohm.m, debido a la saturación de los suelos por la presencia de terrenos

agrícolas en el extremo sur del perfil. Los materiales presentes son arenas y gravas, hacía el final de la línea existía desmonte, es un terreno compactado y afirmado (Figura 48d).

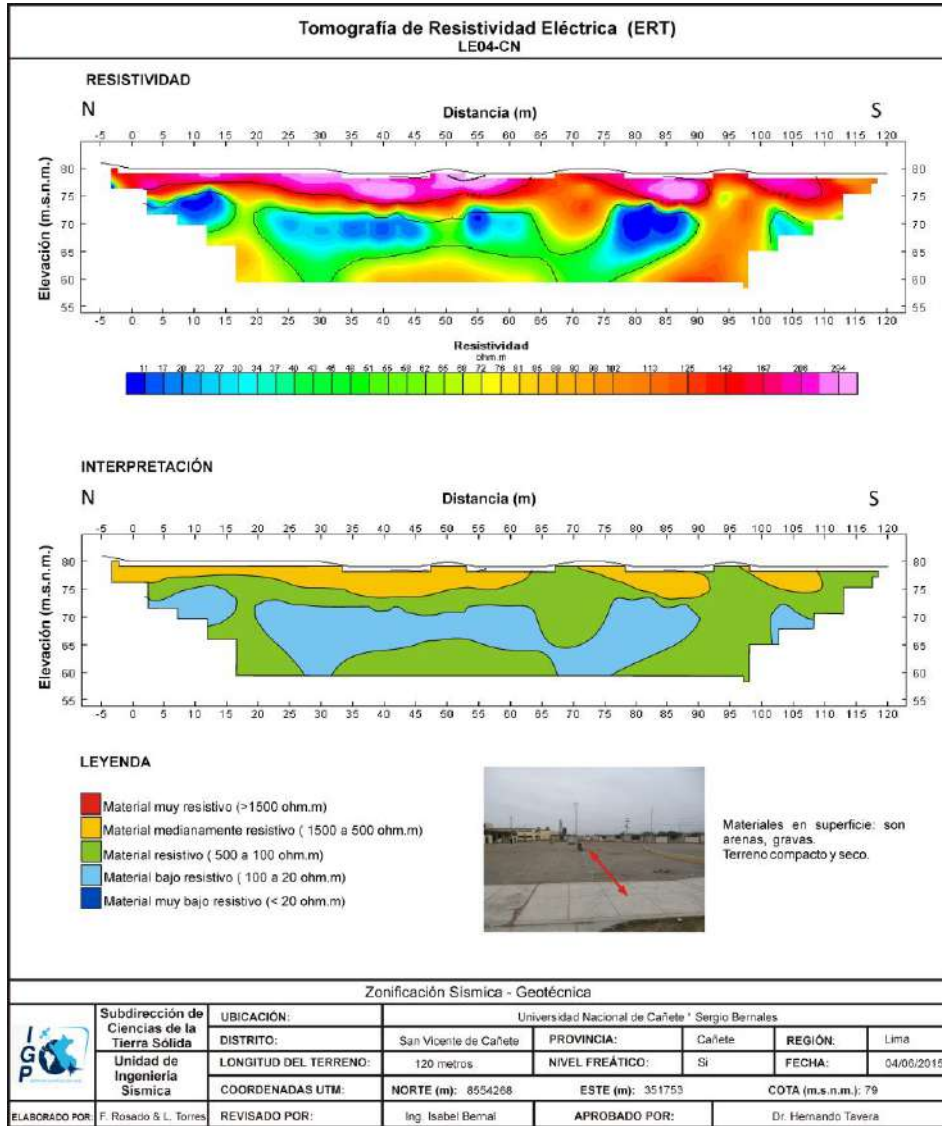


Figura 48d. Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE04-CN.

**.- Línea de tomografía eléctrica LE05-CA:** Línea eléctrica realizada en Hualcará, extremo SE del área urbana de San Vicente de Cañete (NE-SO). El rango de valores de resistividad varía entre 2 y 300 ohm.m. con el predominio de valores bajos resistivos. Valores altos resistivos entre 100 y 300 ohm.m se presenta entre las estaciones 10 y 45 y entre las estaciones 70 y 120, hasta una profundidad promedio de 6 metros (terrenos semi-afirmados). A mayor profundidad se presentan valores altos resistivos de forma alargada y ovoide

entre las estaciones 30 y 45. Alrededor de estos, se presentan valores bajos resistivos entre 2 y 100 ohm.m. La saturación presente en esta línea es asociada a la presencia de terrenos agrícolas. Los materiales presentes son de grano fino arenas y gravas, hacia el final de la línea existía desmante, es un terreno compactado y afirmado (Figura 48e).

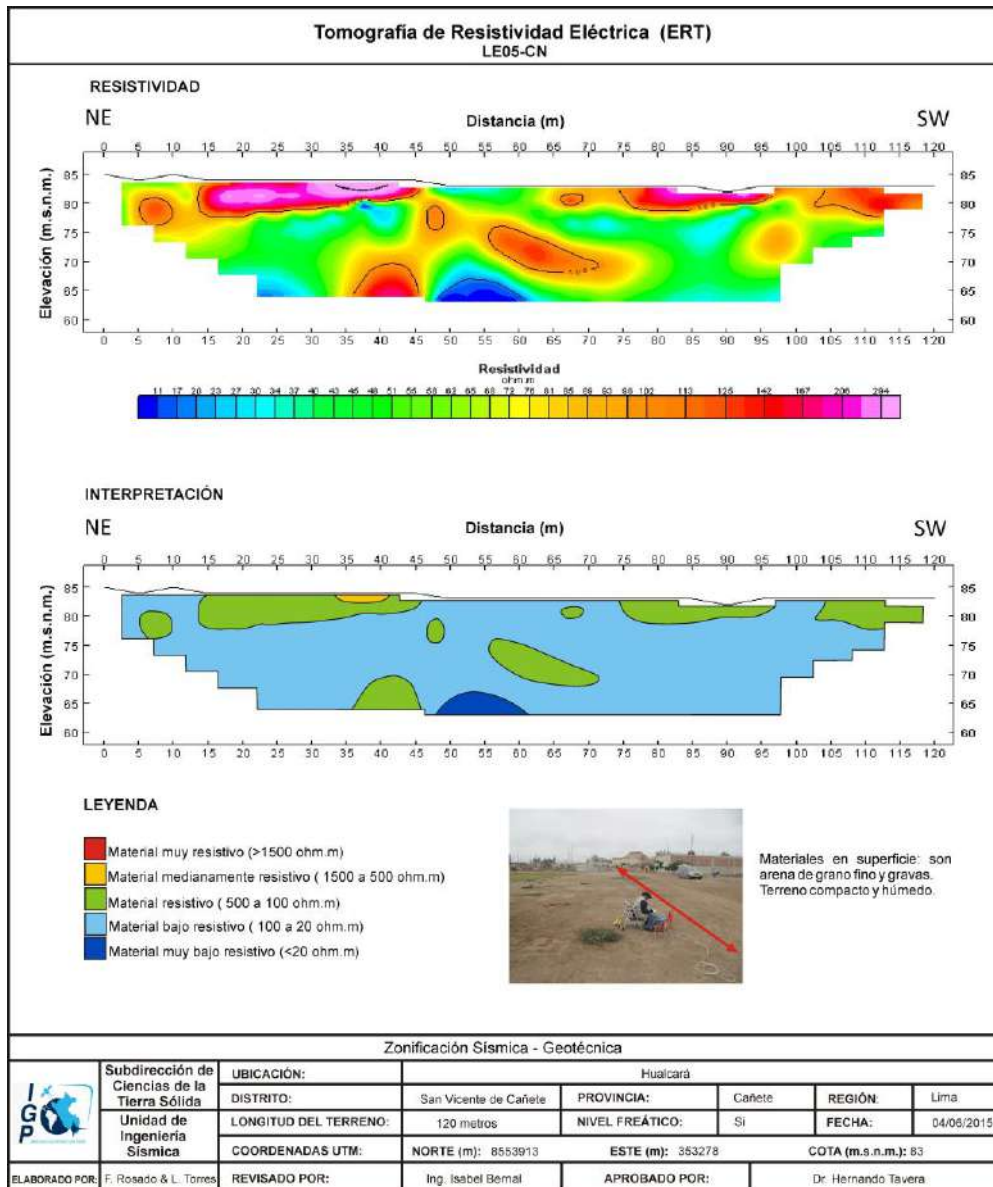


Figura 48e. Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE05-CN.

**- Línea de tomografía eléctrica LE06-CA:** Línea eléctrica con orientación noreste a sureste, realizada en el interior de los Condominios Los Portales, extremo NE del área urbana de Cañete. El rango de valores de resistividad varía desde 2 a 100 ohm.m. con el predominio de valores bajos resistivos. A lo largo

de toda la línea predominan valores bajos resistivos entre 2 y 100 ohm.m, debido probablemente a la presencia de suelos saturados debido a la presencia de terrenos agrícolas próximos a la línea y a niveles freáticos ubicados a diferentes profundidades. Los materiales presentes son de grano fino arenas y gravas. Suelos secos. (Figura 48f).

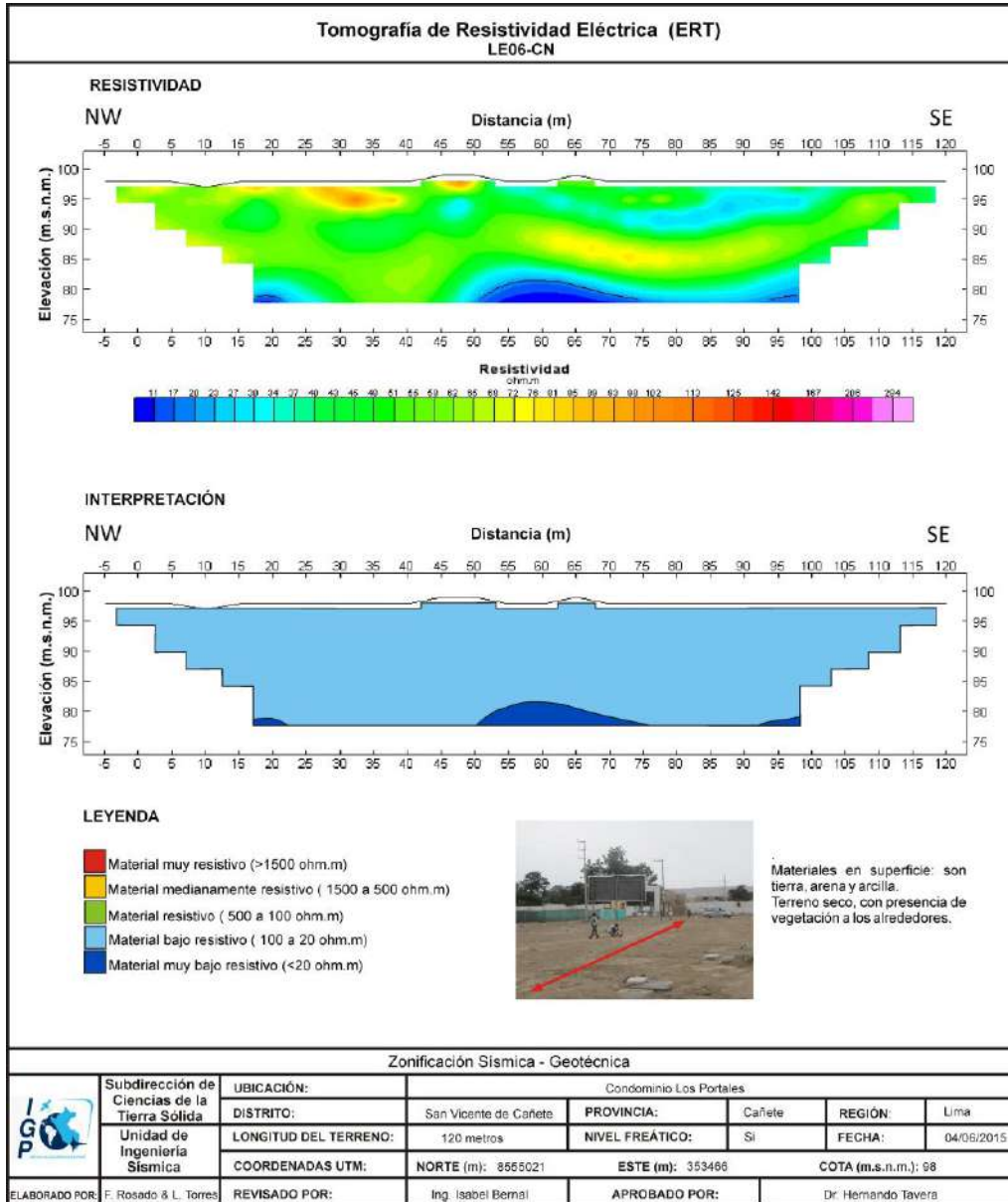


Figura 48f. Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE06-CN.

En general, en el área de estudio predominan valores moderados a bajos resistivos, evidenciando la presencia altos niveles freáticos. En el sector oeste, SO, NE y SE del área urbana de San Vicente de Cañete predominan valores bajos

resistivos, asociados al alto nivel freáticos que presentan dichas zonas a diferentes niveles de profundidad, la presencia de canales de agua y de terrenos agrícolas alrededor. Mientras que, en la zona central del área urbana, predominan valores moderadamente resistivos en superficie como consecuencia de la compactación del suelo o rellenos (desmorte) con espesores entre 6 y 20 metros

## 12.- ZONIFICACIÓN SÍSMICA - GEOTÉCNICA

El Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica para la ciudad de San Vicente de Cañete y alrededores considera el análisis e interpretación de la información geológica, geomorfológica, geodinámica, geotécnica, sísmica y geofísica. Para la ciudad de San Vicente de Cañete, las características dinámicas del suelo han permitido identificar, de acuerdo a la Norma de Construcción Sismorresistente (Norma E-030), la existencia de suelos Tipo S2; es decir, suelos medianamente rígidos.

### 12.1.- Mapa de Zonificación Sísmica - Geotécnica

Para la ciudad de San Vicente de Cañete se propone la siguiente zonificación Sísmica – Geotécnica (Figura 49):

*.- **ZONA I:** Conformada por estratos de conglomerados semi-consolidados que se encuentran a nivel superficial y cubiertos por depósitos de material fino (arcillas-limosas, areno-limosas) con espesores de hasta 20 metros. Este suelo tiene un comportamiento medianamente rígido, con periodos de vibración natural que varían entre 0.1 y 0.3 segundos. Considerando las velocidades moderadas de las ondas de corte (190 y 450 m/s), se tiene dominio de suelos Tipo S1 de la norma sismorresistente peruana, con capacidad admisible de 1.0-2.0 Kg/cm<sup>2</sup>.*

*En la zona de estudio, las líneas en verde delimitan las áreas donde se presentan amplificaciones mínimas, lo cual evidencia la mayor consistencia de los suelos. Con líneas en rojo, se indica las áreas en donde los suelos presentan mayores amplificaciones debido a la presencia de suelos con altos niveles freáticos a diferentes niveles de profundidad. La capacidad de carga admisible es de <1.0 Kg/cm<sup>2</sup>.*

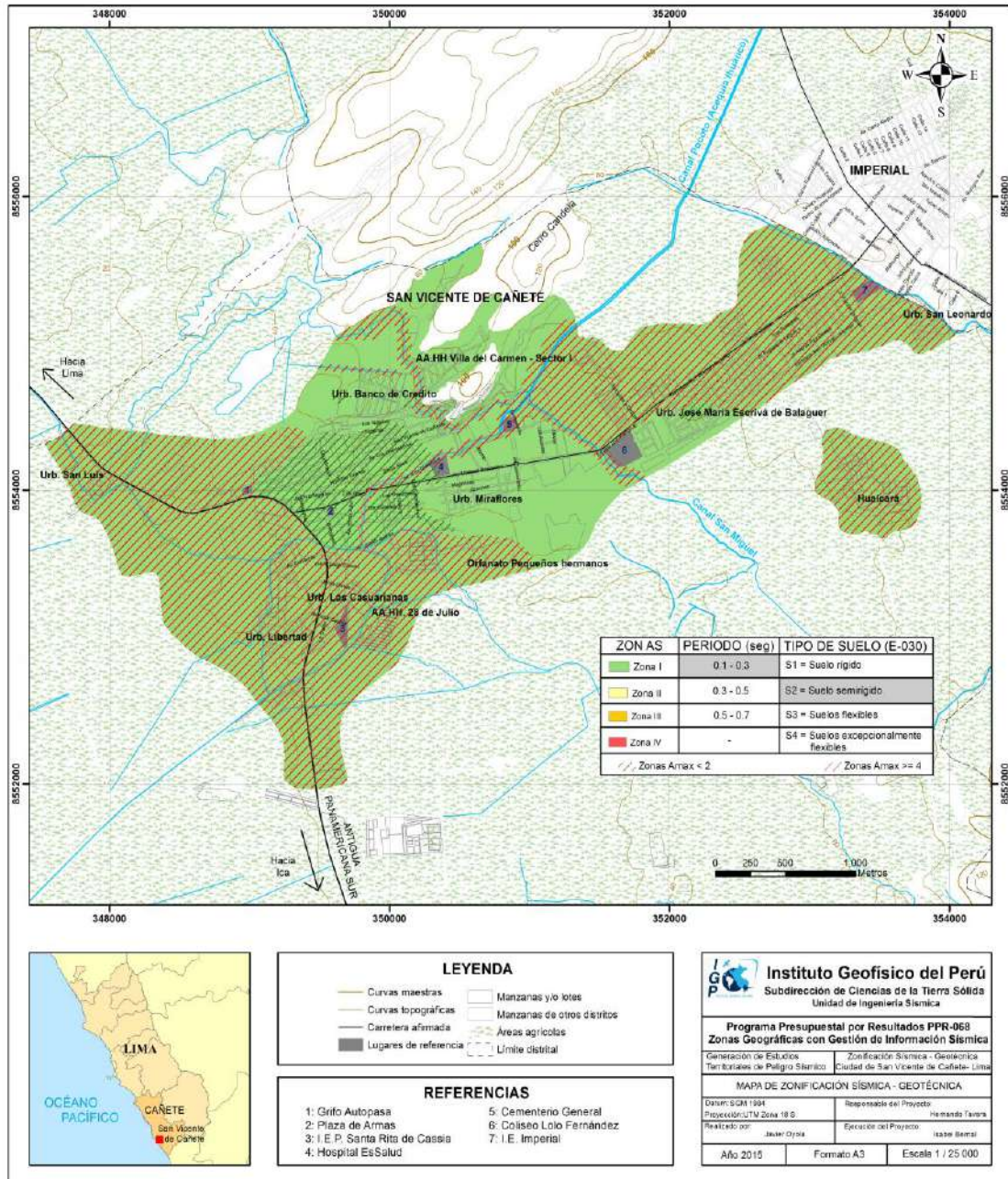


Figura 49: Mapa de zonificación Sísmica – Geotécnica para la ciudad de San Vicente de Cañete y alrededores

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estudio de Zonificación Sísmica-Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para la ciudad de San Vicente de Cañete y alrededores, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

### CONCLUSIONES

Los materiales que conforman el subsuelo en la ciudad de San Vicente de Cañete son depósitos aluviales con espesores de ~8 m (cantos y gravas redondeadas a subredondeadas envueltos en una matriz areno-limosa y arcillosa). Como substrato se tiene rocas sedimentarias (areniscas grises y areniscas calcáreas pardas) de la Fm. Pisco y conglomerados de la Fm. Cañete Superior.

Los eventos geodinámicos de origen antrópico (caída de rocas) afectan a los A.H. Villa del Carmen-Sector I. Las inundaciones por desborde de las acequias San Miguel, Tercer Mundo y Maria Angola afectan a las Urbs. San Luis, San Juan, Huaca de los Chinos y al A.H. Juan el Salvador. Los de origen natural, inundaciones por desborde de la quebrada Pócoto en épocas lluviosas, afecta a los A.H. Señor de los Milagros y El Chilcal.

El Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica para la ciudad de San Vicente de Cañete ha permitido identificar, de acuerdo a la Norma de Construcción Sismorresistente (Norma E-030), la existencia de suelos Tipo S1; es decir, suelos medianamente rígidos.

### RECOMENDACIONES

Este documento técnico debe ser utilizado por las autoridades locales y regionales de la ciudad de San Vicente de Cañete para una mejor Gestión del Riesgo ante la ocurrencia de sismos y efectos secundarios. Del mismo modo, para aportar con las normativas necesarias para el desarrollo y expansión urbana de la ciudad de San Vicente de Cañete.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alfaro, A., Egozcue y A. Ugalde (1999): Determinación de características dinámicas del suelo a partir de microtemores. Memorias del Primer Congreso de Ingeniería Sísmica, España.
- Autoridad Nacional del Agua, ANA (2011) - Evaluación de recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Chancay – Huaral.
- APESSEG (2005): Estudio de vulnerabilidad y riesgo sísmico en 42 distritos de Lima y Callao, CISMID, 10 pag.
- Aki, K., (1957): Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtemors. Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo 35, 415–457.
- 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 1-6, 2004 Paper No. 2207
- Beresnev, I.A., K.L. Wen, and Y.T. Yeh 1995a, “Nonlinear Soil Amplification: It’s Corroboration in Taiwan. Bull, Seism. Soc. Am., Vol. 85, pp. 496-515
- Bernal, I. (2002) Microzonificación sísmica de la ciudad de Tlaxcala, Mexico. Tesis de Maestría en Ciencias, UNAM, pag. 130.
- Bernal, I. (2006): Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Tlaxcala – Mexico. Tesis de Maestría, II-UNAM, Mexico.
- Bernal, I. y H. Tavera (2007): Estimación de frecuencias predominantes y amplificaciones relativas en los terrenos del BCP-Ciudad de Trujillo. Informe presentado al BCP, 22p.
- Braja, M. (2001). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Thomson y Learning, 580 pag.
- Capon, J.,(1973): Signal processing and frequency-wavenumber spectrum analysis for a large aperture seismic array, in *Methods in Computational Physics*, Vol. 13, ed. Bolt, B.A., Academic Press Inc, New York
- Carpio, J. y Tavera, H. (2002). Estructura de un catálogo de Tsunamis para el Perú basado en el Catalogo de Gustakov (2002). BSGP, V94, 45-59.
- Chlieh, M., Perfettini, H., Tavera, H., Avoac, J-P. (2011). Interseismic coupling and seismic potential along Central Andes subduction zone. J. G. R. Vol 116, B12405, doi:10.1029/2010JB008166
- Cruden, D. (1991). A simple definition of a landslide. IAEG. Bull. 43, 27-29.

- Casagrande, A. (1948): Classification and identification of soils, American Society of Civil Engineers, Transactions, Vol. 113, 901-991.
- Dale D. (1990). Mountain waves and Downslope Winds. Meteorological Monographs. 23:59 81
- Dorbath, L., Cistermas, A., Dorabath, C. (1990): Assessment in the size of large and great historical earthquake in Peru. B.S.S.A., 80,551-576
- Fäh D., Kind F. and Giardini D. (2002). Inversion of local S-wave velocity structures from average H/V ratios, and their use for the estimation of site effects. *Journal of Seismology*, 7, 449-467
- 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.
- INDECI (2008) - Mapa de peligros, plan de usos del suelo ante desastres y medidas de mitigación de San Vicente de Cañete, Imperial y Nuevo Imperial, INDECI-PNUD-PER/02/051-Ciudades sostenibles.
- INDECI (2002) - Mapa de peligros, plan de usos del suelo y propuesta de las medidas de mitigación de los efectos producidos por los desastres naturales de las ciudades de la Provincia de Cañete.
- INGEMMET (1985) - Estudio Geodinámico de la Cuenca del río Cañete. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 8. 172 p.
- Goto, C. y Ogawa, Y. (1992): Numerical Method of Tsunami Simulation with the Leap-frog Scheme. Translated for the TIME project by N Shuto.
- Guillier, B., J.-L. Chatelain . H. Tavera . H. Perfettini . A. Ochoa . B. Herrera (2014): Establishing empirical period formula for RC buildings in Lima (Peru): evidence for the impact of both the 1974 Lima earthquake and the application of the Peruvian seismic code on high-rise buildings (in preparation).
- Gutiérrez-Elorza, M. (2008). Geomorfología. Pearson Educación, S.A., Madrid, 898 pp.
- Gutierrez, C. y S.K. Singh (1992): A site effect study in Acapulco, Guerrero, Mexico: Comparison of results from strong motion and microtremor data, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 82, 642-659, 1992.
- Hartzel, S. H. (1992). Site response estimation from earthquake data. *Bull. Seism. Soc. Am.* 82, 2308-2327
- Hutchinson, J.N. (1986). A sliding-consolidation model for flow slides, *Can.Geotech.J.*, 23, 115-126
- INDECI (2001): Informes de los principales desastres ocurridos en Perú. Instituto de Defensa Civil del Perú.

- Knighton, A. (1998): *Fluvial Forms & Processes: a new Perspective* . Londres. Arnold
- Lachet, C. y P. Y. Bard (1994): Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of Nakamura's technique, *J. Phys. Earth.*, 42, 377-397 pp.
- Salazar, H. & Landa, C. (1993) - Geología de los cuadrángulos de Mala, Lunahuaná, Tupe, Conayca, Chincha, Tantarú y Castrovirreyna. INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 44. 105 p.
- Lermo, J. y F.J. Chávez-García (1994a): Are microtremors useful in site response evaluation?, *Bull. Seism. Soc. Am.* 84, 1350-1364 pp.
- Lermo, J. y F.J. Chávez-García (1994b): Site effect evaluation at Mexico City. Dominant period and relative amplification from strong motion and microtremors records, *Soil. Dyn. & Earthq. Eng.* 13, 413-423 pp.
- Loke MH (2001). Tutorial: 2 D and 3 D electrical imaging survey, Geotomo Software, Malaysia  
Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2015) -  
<http://renac.mtc.gob.pe/inventariovial/default2.aspx>
- Morisawa, M. (1968). *Streams: their dynamics and morphology*. McGraw-Hill. New York, New York, USA.
- Nakamura, Y., (1989): A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, *QR of RTRI*, 30, No.1,25-33 pp.
- Norma E-30 (2016): Diseño sismorresistente en el Perú, SENCICO.
- Nuria, D. y A. González (1993): Propiedades dinámicas de edificios de la ciudad de México. 6tas. Jornadas Chilenas de Sismología e ingeniería antisísmica. Santiago, Chile, 1, pp. 585-594.
- Ordaz, M., A. Aguilar, J. Arboleda (2007): Program for computing seismic hazard: CRISIS-2007 V1.1., Institute of Engineering, UNAM, México.
- Okada, H. (2003): *The Microtremor Survey Method*, Geophysical monograph series, No 12, Society of exploration geophysicists, 135 pp.
- Palacios, O., y Caldas, J., y Vela, C., INGEMMET (1992) - Geología del Cuadrángulo de Chancay – Hoja 24i.
- Papazachos, et al. (2004): Global relations between seismic fault parameters and momento magnitude of earthquakes. *Bull. Geol. Soc. of Greece*, 36, 1482-1489.
- PNUD (2010): Riesgo sísmico y medidas de reducción del riesgo en Lima. PNUD, INDECI, Proyecto N° 00058530
- Sadigh, K., C. Chang, J. Egan, F. Makdisi, R. Young (1997): Attenuation relationship for shallow crustal earthquakes based on California Strong Motion Data, *Seis. Res. Lett.*, V-68, N-1, January/February.
- Santacana, N. (2001): Análisis de susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de sistemas de información geográfico. Aplicación a la cuenca alta del río Llobregat. Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Cataluña

- Silgado, E. (1978): Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú entre 1513 y 1974. Instituto Geológico Minero del Perú, Lima, Perú, 120 pag.
- Tavera, H., Buforn, E. (2001): Source mechanism of earthquakes in Peru. *Journal of Seismology* 5: 519–539, 2001.
- Tavera, H., Bernal, I., Gomez, J-C. (2010): Zonificación Sísmico-Geotécnico para el Distrito del Callao (Comportamiento Dinámico del Suelo). Informe Técnico COOPI-IRD.
- Tavera, H., Bernal, I., Gomez, J-C. (2010): Zonificación Sísmico-Geotécnico para el Distrito del Lima (Comportamiento Dinámico del Suelo). Informe Técnico COOPI-IRD.
- Tavera, H., Bernal, I., Condori, C. (2012): Propuesta del mapa de Peligro Sísmico para el Perú. Sismología, IGP.
- Tavera et al, (2002): The Arequipa (Peru) earthquake of June 23, 2001. *Journal of Seismology*, 6: 279-283, 2002.
- Tavera, H. (2014). Mapa Sísmico del Perú, periodo 1960 – 2014. Dirección de Ciencias de la Tierra Sólida, IGP.
- Tavera et al, (2014). Estimación del Peligro Sísmico para el Perú. Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida, IGP.
- Varnes D.J. (1958). "Landslides types and processes". Special report 29: Landslides and engineering practice (E.B. Eckel, ed.) HRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 20-47.
- Varnes D.J. (1978). "Slope movement types and processes". Special report 176: Landslides: Analysis and control (R.L. Schuster and R.J. Krizek, eds.), TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.11-33.
- Young, R., S. Chiou, W. Silva, J. Humphrey (1997): Strong Ground Motion Attenuation Relationship for subduction zone earthquakes. *Seism. Res. Lett.*, V-68, N-1, January/February.

## **MAPAS**



## **DIRECCIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA SÓLIDA**

Calle Calatrava 216 – Urb. Camino Real – La Molina

Teléfono: 3172300 (140)