



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Instituto Geofísico del Perú - IGP



Zonificación sísmica-geotécnica de la ciudad de San Vicente de Cañete

Resumen ejecutivo
2017



Trabajando para todos los peruanos



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú - IGP



Zonificación sísmica-geotécnica de la ciudad de San Vicente de Cañete

Resumen ejecutivo
2017



*Trabajando para
todos los peruanos*

Zonificación sísmica-geotécnica de la ciudad de San Vicente de Cañete

Resumen ejecutivo

Informe Técnico Especial

Elsa Galarza Contreras
Ministra del Ambiente

Hernando Tavera
Presidente Ejecutivo

Edmundo Norabuena
Director Científico

Editores

Alejandra Martínez
Luis Santos C.

Diseño y diagramación

Dante Guerra Echeandía

Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú Nro. 2017-17723

ISBN: 978-612-47606-1-7

Editado por:

Instituto Geofísico del Perú
Calle Badajoz 169, Urb. Mayorazgo, IV Etapa, Ate Vitarte, Lima, Perú
Central telefónica: (+ 51 1) 317 2300
<http://portal.igp.gob.pe/>
Setiembre 2017

Tiraje: 1000 ejemplares

Impreso por:

Inversiones IAKOB S.A.C.
Av. Iquitos N.º 1481 - La Victoria, Lima
Teléfono: +5112963911
Diciembre 2017

PRESENTACIÓN

La historia sísmica del Perú muestra 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 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 Bufo, 2001). Al ser los sismos cíclicos, es de esperarse que en el futuro, las mismas ciudades y/o áreas urbanas sean afectadas por nuevos eventos sísmicos con la misma o mayor intensidad. Entonces, no es tan importante el tamaño del sismo, sino la intensidad del sacudimiento del suelo, la educación de la población y la calidad de las construcciones.

Por otro lado, a partir de los años 80, muchas de las principales ciudades del país han soportado procesos continuos de migración, y debido a la falta de una adecuada planificación urbana y de acertadas políticas de planeamiento, la población creciente ha venido ocupando zonas de alto riesgo ante la ocurrencia de peligros como los sismos y deslizamientos, entre otros. Entre las zonas de más alto riesgo se cuentan las laderas de cerros, ríos, cauces de quebradas secas y zonas de terrazas inundables donde la población se ha asentado. A estas condiciones, se suma el hecho de que un alto porcentaje de las viviendas han sido construidas de manera inadecuada, sin seguir criterios de ordenamiento territorial y, mucho menos, respetando la Norma E.030 de Diseño Sismorresistente.

El presente resumen ejecutivo presenta los principales hallazgos del estudio de zonificación sísmica-geotécnica para la ciudad de San Vicente de Cañete, realizado en el marco del Programa Presupuestal 068 "Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres" en el año 2015, e incluye información primaria plasmada en el mapa de zonificación sísmica-geotécnica 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, y como herramienta de gestión de riesgo por las autoridades locales y regionales.

Esperamos que la información técnico científica plasmada pueda ser utilizada tanto por autoridades competentes como por la ciudadanía en general como un insumo necesario para la planificación y prevención en el desarrollo de nuestras ciudades.

Dr. Hernando Tavera
Presidente ejecutivo
Instituto Geofísico del Perú





CONTENIDO

PRESENTACIÓN	06
ZONIFICACIÓN SÍSMICA – GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE SAN VICENTE DE CAÑETE H. Tavera, I. Bernal, J.C. Gómez, W. Sulla, K. Pari, L. Torres, F. Rosado, L. Velarde, L. Arredondo, J. Oyola, H. Salas, O. Hanco, J. Lara, S. Ortiz, R. Carrillo, M. Vivanco, C. Chiroque, H. Lavado, P. Vivanco, J. Chahua, Y J. Huarachi	09
Introducción	09
Área de estudio	10
Estudios previos.....	11
Condiciones locales de sitio	11
Norma E.030, diseño sismoresistente	12
Metodología	14
Sismología	15
Geomorfología, Geología y Geodinámica	19
Geotecnia	24
Potencial de licuación de suelos	26
Sísmica y Geofísica	28
Zonificación sísmica - geotécnica	33
Conclusiones	34
Bibliografía	35

ZONIFICACIÓN SÍSMICA – GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE SAN VICENTE DE CAÑETE¹

H. Tavera², I. Bernal, J.C. Gómez, W. Sulla, K. Pari, L. Torres, F. Rosado, L. Velarde, L. Arredondo, J. Oyola, H. Salas, O. Hancoco, J. Lara, S. Ortiz, R. Carrillo, M. Vivanco, C. Chiroque, H. Lavado, P. Vivanco, J. Chahua, y J. Huarachi³

Introducción

El principal objetivo de este estudio fue realizar la zonificación sísmica- geotécnica (comportamiento dinámico del suelo) de la ciudad de San Vicente de Cañete⁴, así como poner a disposición de autoridades locales y regionales, un documento técnico que contribuya en el desarrollo y ejecución de proyectos orientados a la gestión del riesgo ante sismos, con el fin de proyectar una adecuada expansión urbana que ayude a elevar la calidad de vida de sus ciudadanos.

Los resultados obtenidos se resumen en el mapa de zonificación sísmica – geotécnica. Este mapa permite identificar las características dinámicas del suelo, constituyéndose como información primaria para ingenieros civiles, arquitectos y urbanista que trabajan en el diseño y construcción de las estructuras apropiadas para cada uno de los tipos de suelos identificados en este estudio.

Estos resultados ayudan a comprender que no hay suelo malo, y que lo más importante es considerar el diseño y la construcción de viviendas y estructuras adecuadas para cada tipo de suelo; siguiendo las siguientes reglas⁵ para construir una casa sismorresistente:

- **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.
- **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.
- **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.

¹Este estudio fue realizado en el marco del Programa Presupuestal 068 “Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres” durante el 2015, específicamente con la actividad “Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico”.

²Instituto Geofísico del Perú. Correo electrónico: hernando.tavera@igp.gob.pe

³Con el apoyo técnico de E. Torres, E. Campos, A. Cárdenas y R. Yupanqui.

⁴Capital de la provincia de Cañete, departamento de Lima.

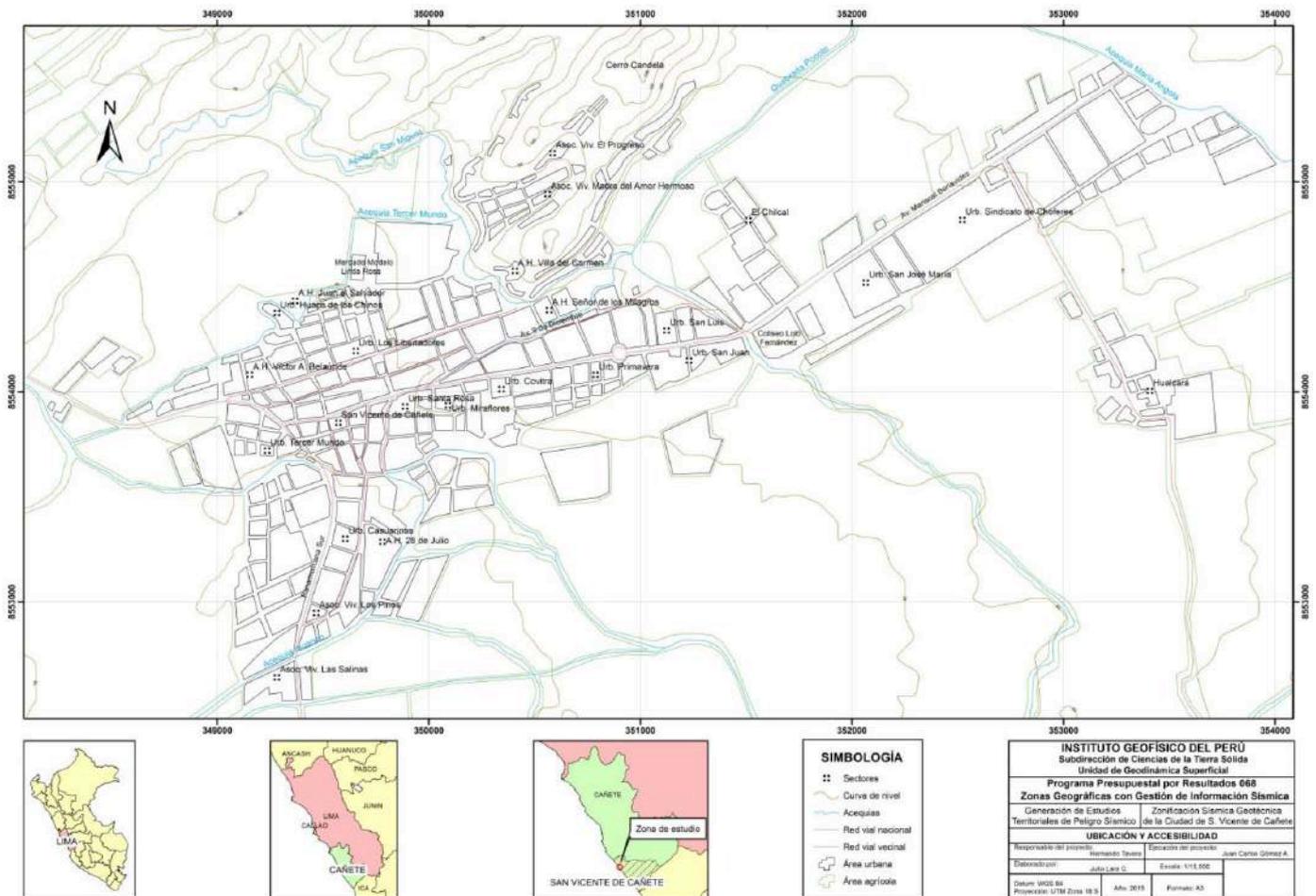
⁵Tomadas de www.acerosarequipa.com

Área de estudio

El distrito de San Vicente de Cañete es uno de los dieciséis distritos que conforman la provincia de Cañete. En él se ubica la capital de la provincia, bajo la administración del Gobierno Regional de Lima-Provincias. 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”, y también se le conoce por ser la “cuna y capital del arte negro nacional”.

En tiempos prehispánicos, la zona donde actualmente se asienta la ciudad de Cañete era conocida como Guarco, y estaba jefaturada por Chuqui Manco, que evitó durante más de cuatro años la invasión por las tropas incas. Después de la conquista, 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 de la zona trajeron esclavos africanos para trabajar en las plantaciones y al abolirse la esclavitud en 1854, éstos fueron reemplazados por inmigrantes chinos.

Cañete cuenta con números sitios de interés turístico, y en sus alrededores se ubican antiguas casas haciendas como Unanue, Arona, Montalván, Chilcal, Hualcará, entre otras. Cañete también es conocido por su 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.



Mapa 1. Ubicación geográfica de la ciudad de San Vicente de Cañete.

Estudios previos

Diversos investigadores e instituciones han realizado estudios sobre geología, sísmica y geofísica para la ciudad de San Vicente de Cañete, la misma que se han considerado como información base para el presente trabajo. A continuación se describen brevemente los principales documentos técnicos consultados.

- **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.
- **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, 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.
- **INRENA (2001):** Estudio hidrogeológico del valle Cañete. El estudio consideró 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 las posibilidades futuras de explotación de las aguas subterráneas en el valle.
- **INDECI (2002):** Mapa de peligros, plan de usos del suelo y propuesta de medidas de mitigación ante los efectos producidos por los desastres naturales en las ciudades de la provincia de Cañete. En el informe se describen los peligros naturales presentes en la zona, así información obtenida de calicatas hechas 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 capacidad portante, lo cual permitió identificar los sectores críticos en cada distrito en estudio.
- **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 identificaron 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. Además se elaboraron 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.

Condiciones locales de sitio

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, y se evalúan en los estudios de zonificación sísmica-geotécnica. La evaluación del comportamiento dinámico de los suelos (CDS), es una de las herramientas disponibles más importantes para minimizar los daños producidos por los

sismos; diversos estudios muestran que los suelos - ante la incidencia de ondas sísmicas asociadas a movimientos débiles y/o fuertes -, responden de acuerdo a sus condiciones locales, pudiendo estos modificar el contenido frecuencial de las ondas 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 utilizadas para esta evaluación incluyen los estudios geológicos, geomorfológicos, geotécnicos, sísmicos y geofísicos de los suelos, que controlan la amplificación de las ondas sísmicas causantes de los daños a observarse en la superficie después de ocurrido un evento sísmico (Figura 1).

Estas metodologías contemplan observaciones de campo y la toma de data in situ, por lo que es necesario disponer de mapas catastrales actualizados de las zonas en estudio, así como los correspondientes a las zonas de futura expansión urbana.

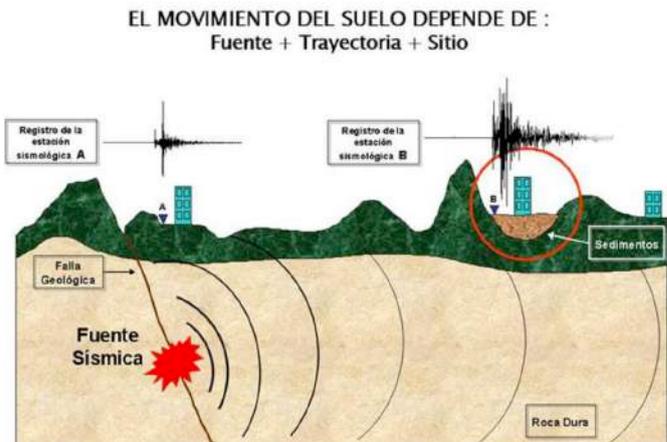


Figura 1. Las condiciones locales de sitio controlan la amplificación del sacudimiento del suelo, puesto en evidencia con la amplitud del registro sísmico obtenido sobre roca y sedimentos.



Figura 2. Simulacro de sismo en la unidad de gestión educativa local Nro. 08 de Cañete.

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. Dependiendo de cada zona, se deben realizar estudios complementarios relacionados a tsunamis, inundaciones por crecida de los ríos, licuación de suelos y deslizamientos de tierra y piedras en zonas de pendiente, entre otros. Estos escenarios son frecuentes en ciudades ubicadas en zonas costeras y otras en las regiones andinas y subandinas, próximas a zonas de alta pendiente y/o adyacentes a las riberas de ríos.

Además, es sumamente importante que la participación y compromiso de la población, por ejemplo participando en los simulacros organizados a nivel nacional por INDECI, los mismos que deberían ser replicados en el seno de cada hogar (Figura 2).

Norma E.030, diseño sismoresistente

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)". 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), así los suelos pueden ser clasificados en cuatro tipos:

- **Suelos duros (Tipo S1):** 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 S1 y S3.
- **Suelos flexibles o con estratos de gran espesor (Tipo S3):** Suelos que presentan

velocidades de ondas de corte menor e igual a 180 m/s.

- **Condiciones excepcionales (Tipo S4):** Suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables.

En cualquier estudio se deberá considerar el tipo de suelo que mejor describa las condiciones locales de cada zona de interés. Específicamente para este estudio la zonificación sísmica – geotécnica se realizó en función de las características mecánicas y dinámicas de los suelos que conforman el terreno de cimentación de Arequipa cercado, y de las consideraciones dadas por la Norma 3-030. En tal sentido se estableció la existencia de 5 zonas:

- **Zona I:** 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:** Se incluyen 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:** 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:** 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:** 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: tipo de material, geometría y el número de pisos en las viviendas o de grandes obras de ingeniería, buscando 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. 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.

Metodología

El estudio de zonificación sísmica – geotécnica de la ciudad de San Vicente de Cañete se realizó utilizando información recolectada en campo, y la aplicación de diversas metodologías que se presentan en forma resumida a continuación.

Estudios de sismicidad

Se hizo uso del mapa sísmico del Perú (Tavera, 2014) para describir las características sísmicas de la zona de estudio. Se describieron los sismos de mayor magnitud e intensidad ocurridos en la región a fin de describir los daños producidos por estos eventos durante el periodo histórico e instrumental, para lo cual se analizó la información contenida en Silgado (1978) y Dorbath et al., (1990), así como la proporcionada por los reportes técnicos elaborados por el Instituto Geofísico del Perú.

Estudios de peligro sísmico

Se consideró conocer la severidad sísmica o aceleración, en términos de probabilidad, con la cual podría ser sacudida el área en un determinado periodo de tiempo. Se hizo 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).

Estudios de geología y geotecnia

Se consideró la recolección en campo de información geológica, geomorfológica, geodinámica y de zonas susceptibles a deslizamientos y/o flujos, específicamente:

- Levantamiento geológico y geomorfológico: información sobre topografía, drenajes, litología, uso de suelos, etc.
- Análisis geodinámico: consideró la evaluación de procesos como intemperismo y meteorización que conducen a movimientos en masa; análisis de los niveles de inundación por crecidas de ríos, entre otros.
- Análisis geotécnico: Análisis de las propiedades físicas y del comportamiento de suelos y rocas, permitió identificar problemas de asentamientos, licuación, expansividad, etc. La recolección de datos para los estudios geotécnicos se realizó mediante calicatas, ensayos de densidad de campo, muestreos con posteadora y ensayos de penetración ligera (DPL). Esa información sirvió para realizar la clasificación SUCS de los suelos.

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:

G = Grava	C = Arcilla	L = Baja plasticidad
S = Arena	O = Limo o Arcillas orgánicas	W = Bien graduado
M= Limo	H = Alta plasticidad	P = Mal graduado

Estudios de sísmica y geofísica

Se consideró la recolección en campo de información sísmica y geofísica, así como de la aplicación de técnicas para conocer el comportamiento dinámico del suelo, específicamente:

- Método de H/V: Utilizando equipos sísmicos complejos se recoge información que permitan 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.
- Método de arreglos lineales: Se hizo uso de tendidos lineales de 24 sensores sísmicos a fin de registrar ondas de volumen y superficiales generadas por fuentes artificiales, para 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.
- Método de Prospección Eléctrica: Tuvo 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 consideró los valores de resistividad aparente obtenidos mediante medidas realizadas por métodos convencionales de corriente continua, considerando solo los perfiles realizados en la superficie del terreno. En este estudio se consideraron cinco (5) rangos de resistividad:
 - » Muy alto resistivo (rojo): valores mayores a 1500 ohm.m. Se considera a las rocas ígneas y metamórficas, y dentro de las sedimentarias, a los conglomerados.
 - » Alto resistivo (anaranjado): valores entre los 500 y 1500 ohm.m. Se considera 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 (verde): valores entre los 100 y 500 ohm.m. Se considera a suelos sedimentarios de composición variada; es decir, arenas, arcillas y limos, cada vez con mayor contenido de materiales orgánicos.
 - » Bajo resistivo (celeste): valores entre los 20 y 100 ohm.m. Según Loke (2001), estas resistividades corresponden a suelos saturados de agua y su variación depende de la relación existente entre la resistividad, porosidad y la permeabilidad de los materiales. Asimismo, se puede considerar a los suelos orgánicos, arcillosos, limosos y aquellos con contenido de carbón, los cuales se comportan como buenos conductores de corriente.
 - » Muy bajo resistivo (azul): valores menores a 20 ohm.m. y están referidos a suelos con presencia de agua, material orgánico y/o arcillas.

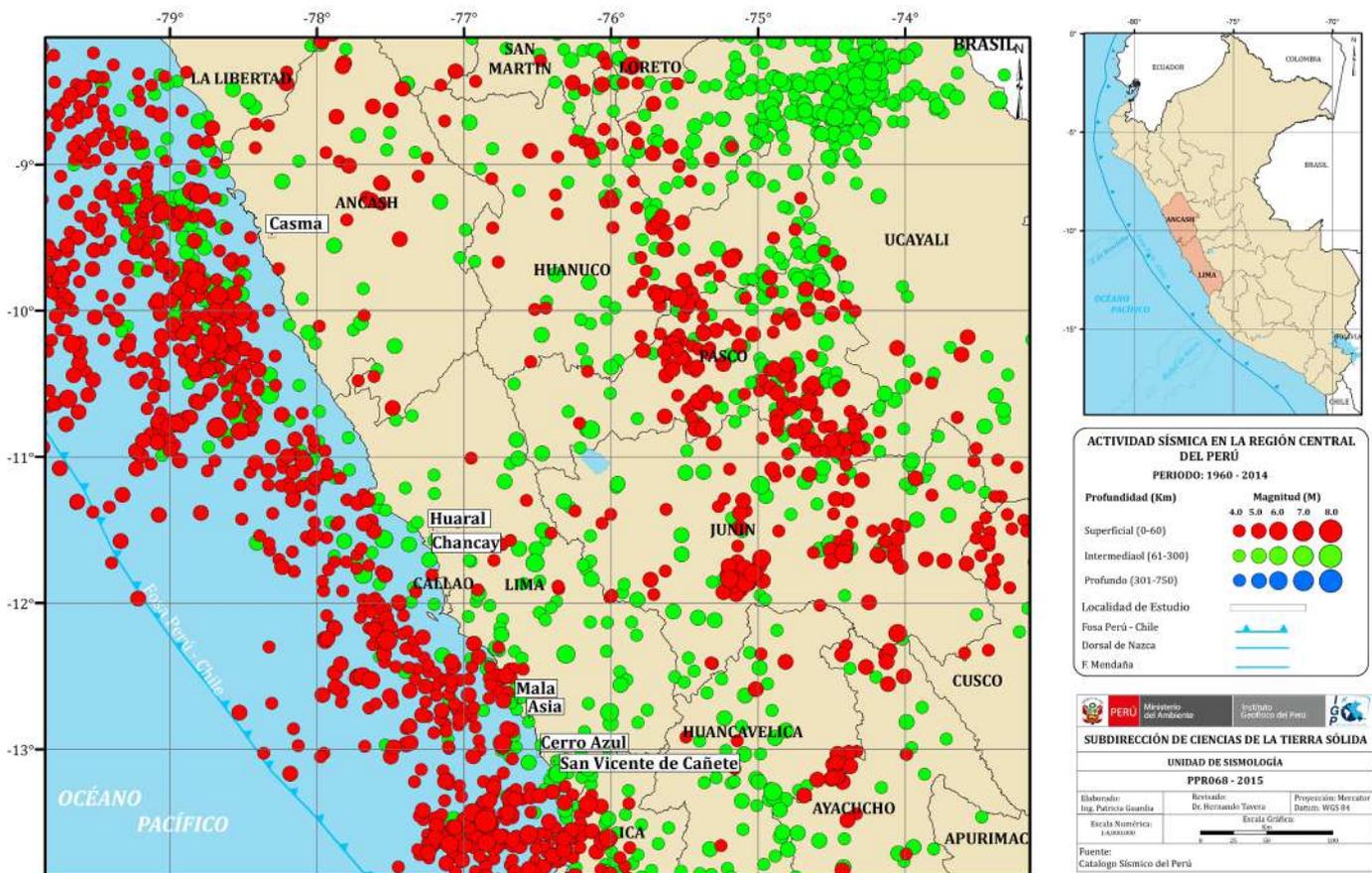
Sismología

En esta sección se identificarán las características de la sismicidad y el peligro sísmico en la ciudad de San Vicente de Cañete.

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 sur 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 (Mapa 2).



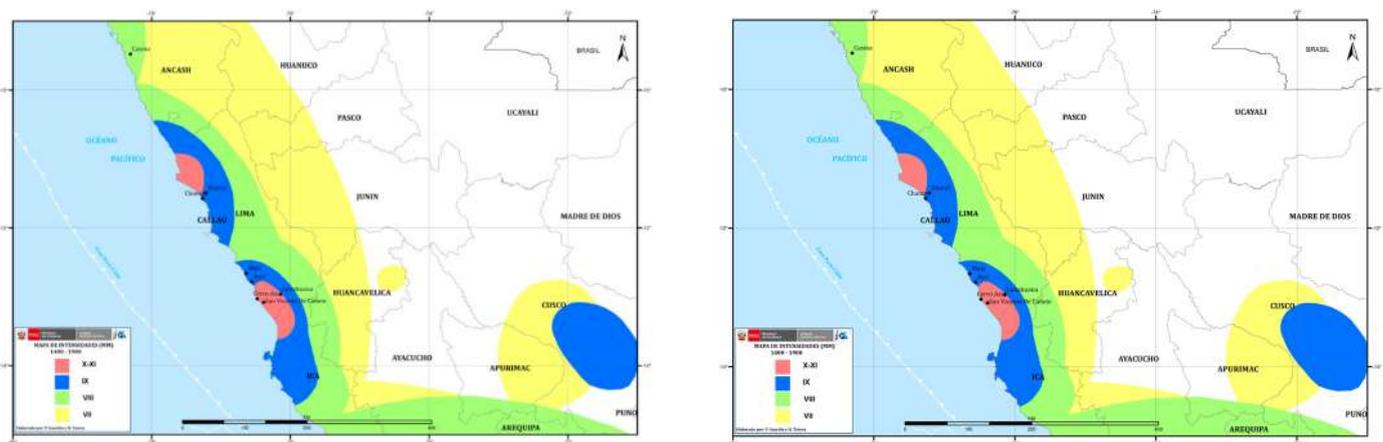
Mapa 2. Sismicidad regional para el borde occidental de la región central del Perú. Los círculos en rojo corresponden a sismos de foco superficial y los verdes, a sismos de foco intermedio.

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, además 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 reinstalarse a una legua del mar.
- 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 las 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.
- En el año 2007 el departamento de Ica y la provincia de Cañete fueron afectadas 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 los Mapas 3a y 3b se presentan las 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.



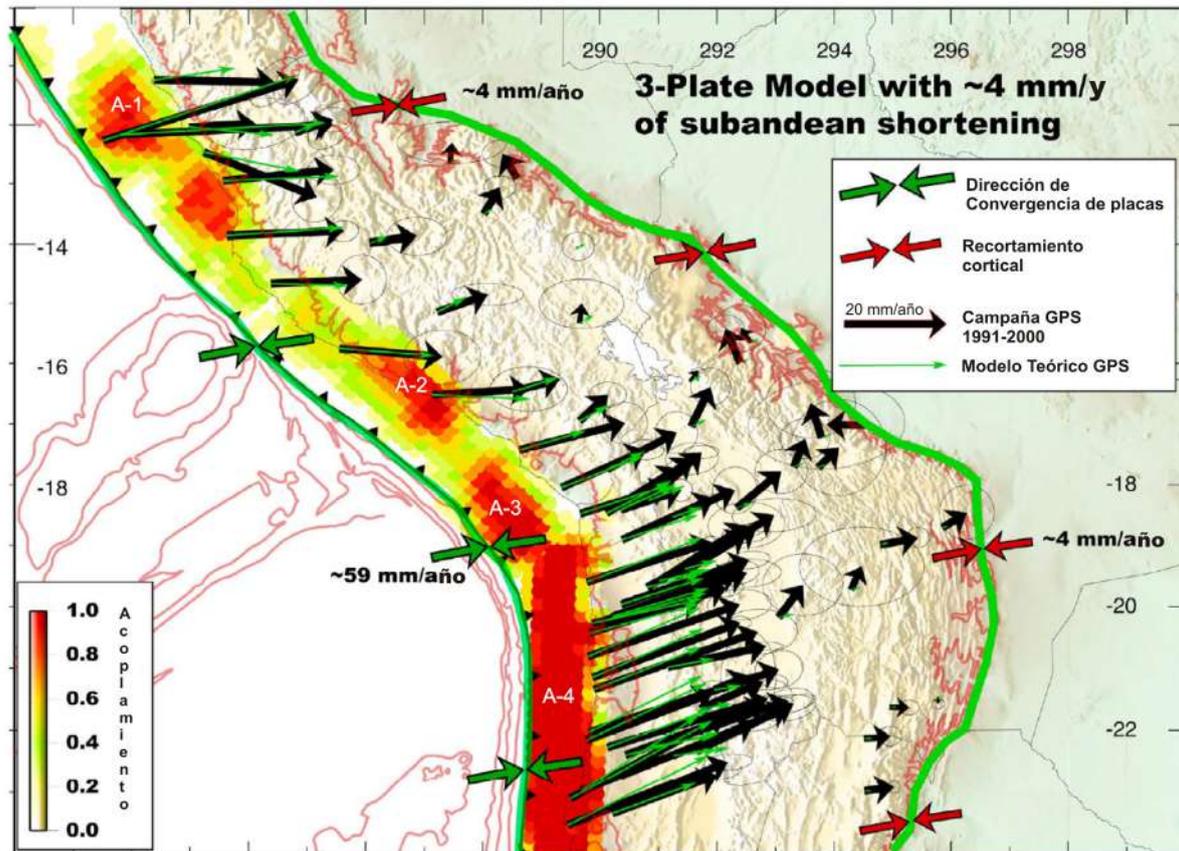
Mapas 3a: Intensidades regionales para el periodo histórico (1400-1900), y 3b: Intensidades regionales para el periodo instrumental (1961-2014).

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 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 el Mapa 4).

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, el mismo 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.

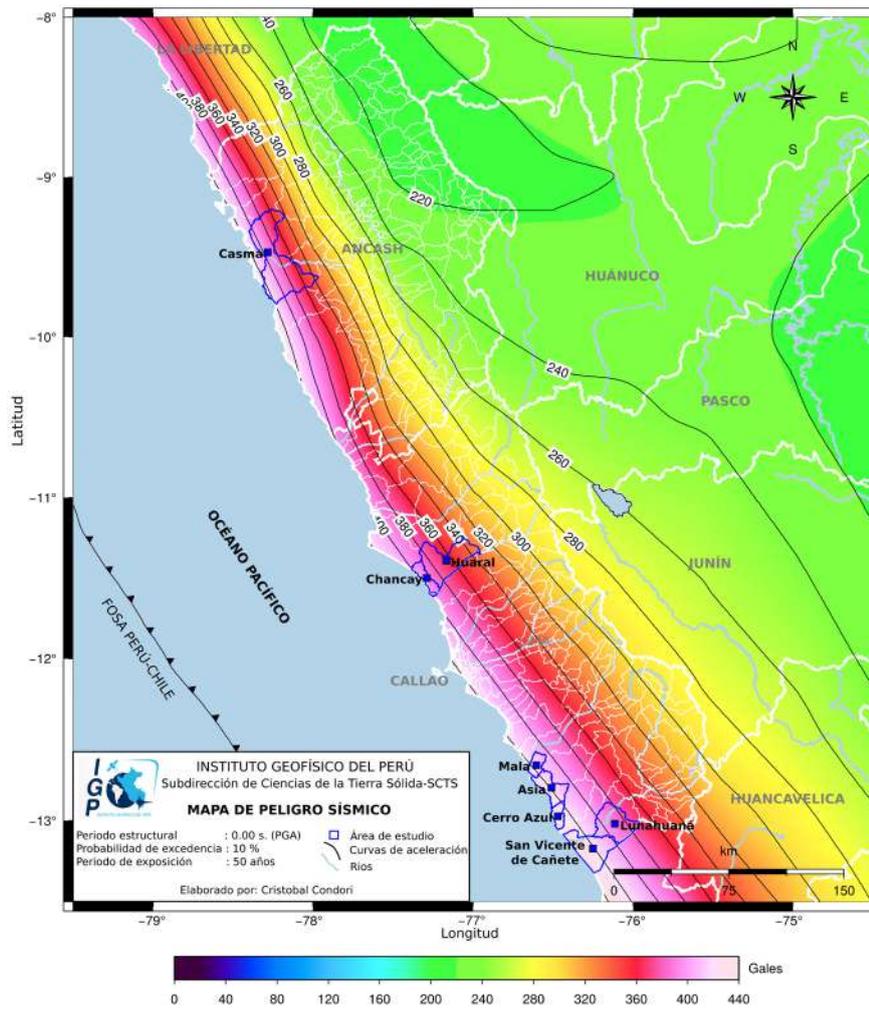


Mapa 4. Mapa de asperezas y/o zonas de acoplamiento sísmico en el borde occidental de Perú-Chile obtenido a partir de datos de GPS y sísmicos. Las flechas negras corresponden a las medidas GPS in situ y las verdes a las obtenidas con el modelo teórico. La buena correlación sugiere la existencia de hasta cuatro asperezas (Chlieh et al., 2011).

Peligro Sísmico

El peligro sísmico 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. 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 (Mapa 5), 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.



Mapa 5. Peligro sísmico para el borde occidental de la región central del Perú aun periodo de retorno de 50 años con el 10% de excedencia.

Geomorfología, Geología y Geodinámica

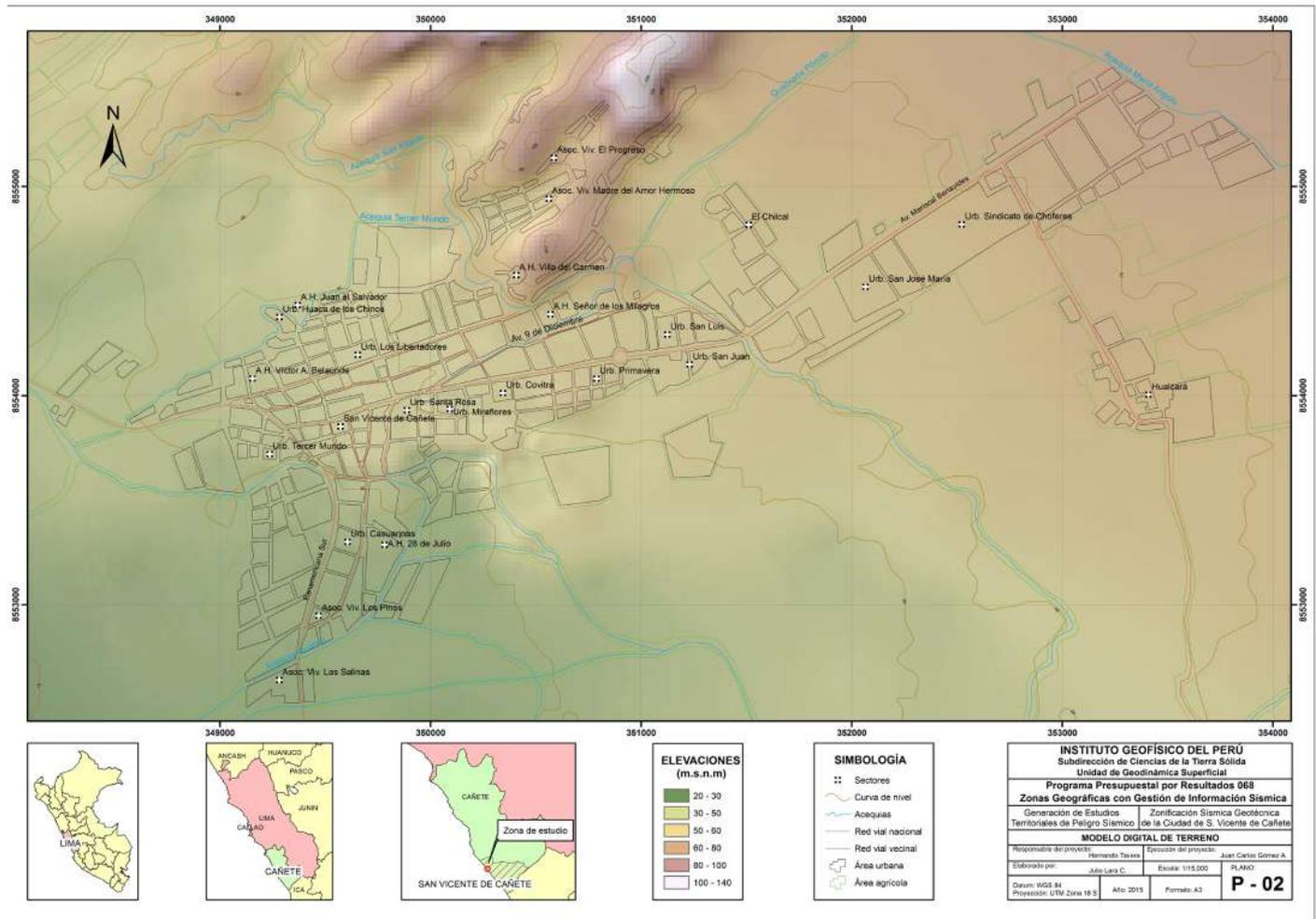
En esta sección se identificarán las características geomorfológicas, geológicas y geodinámicas de la zona de estudio.

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 verificadas y validadas 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 km², 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 (Mapa 6).



Mapa 6. Modelo digital del terreno (MDT) para la ciudad de San Vicente de Cañete y alrededores

Asimismo se identificaron los diferentes grados de desnivel del terreno, es decir, se identificaron las geoformas del terreno, las mismas que influyen en la formación de los suelos y condiciona el proceso erosivo. Cuanto más pronunciada sea la pendiente, la velocidad del agua de escorrentía será mayor, no permitiendo la infiltración del agua en el suelo (Belaústegui, 1999). Para ello se utilizó el archivo fuente de 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°.

En el área de estudio se identificaron las siguientes unidades geomorfológicas, cuyas principales características se describen a continuación:

Origen deposicional

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. Esta unidad ocupa el 91% de la superficie de estudio.

Origen denudacional

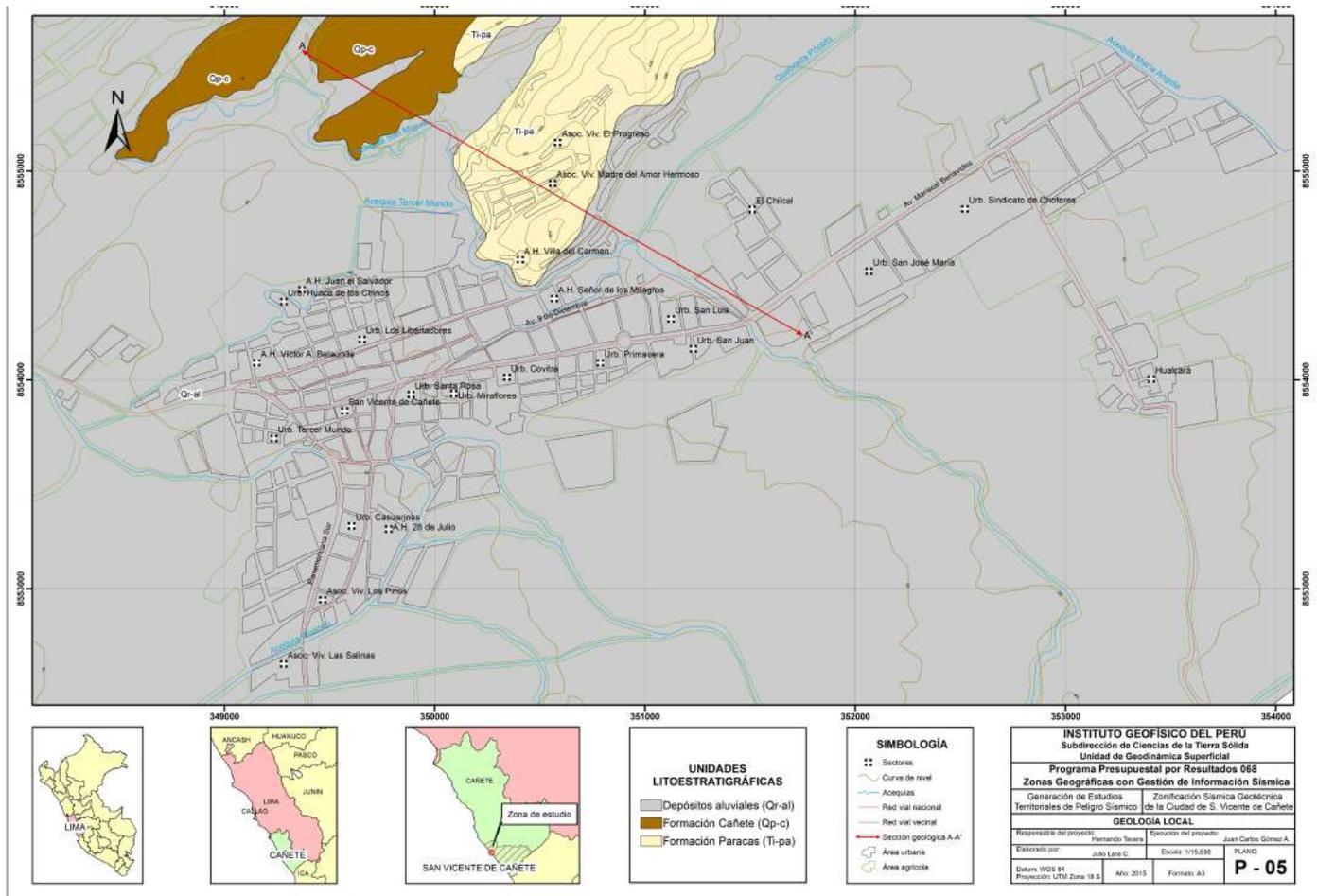
Todas las tierras emergidas, sean por procesos orogénicos o epirogénicos, constituyen el estado inicial de un gran ciclo de denudación, el mismo que comprende un conjunto de procesos (meteorización y/o erosión) que determinan la degradación o erosión de la superficie del terreno. Los procesos de denudación 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 San Vicente 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.
- **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.

Geología

En el presente estudio se hizo incidencia en el reconocimiento de las formaciones geológicas (litologías) y depósitos del cuaternario en la ciudad de San Vicente de Cañete y alrededores. 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.

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 km² aproximadamente (Mapa 7).



Mapa 7 Geología local de la ciudad de San Vicente de Cañete y alrededores

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.

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. 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.

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.



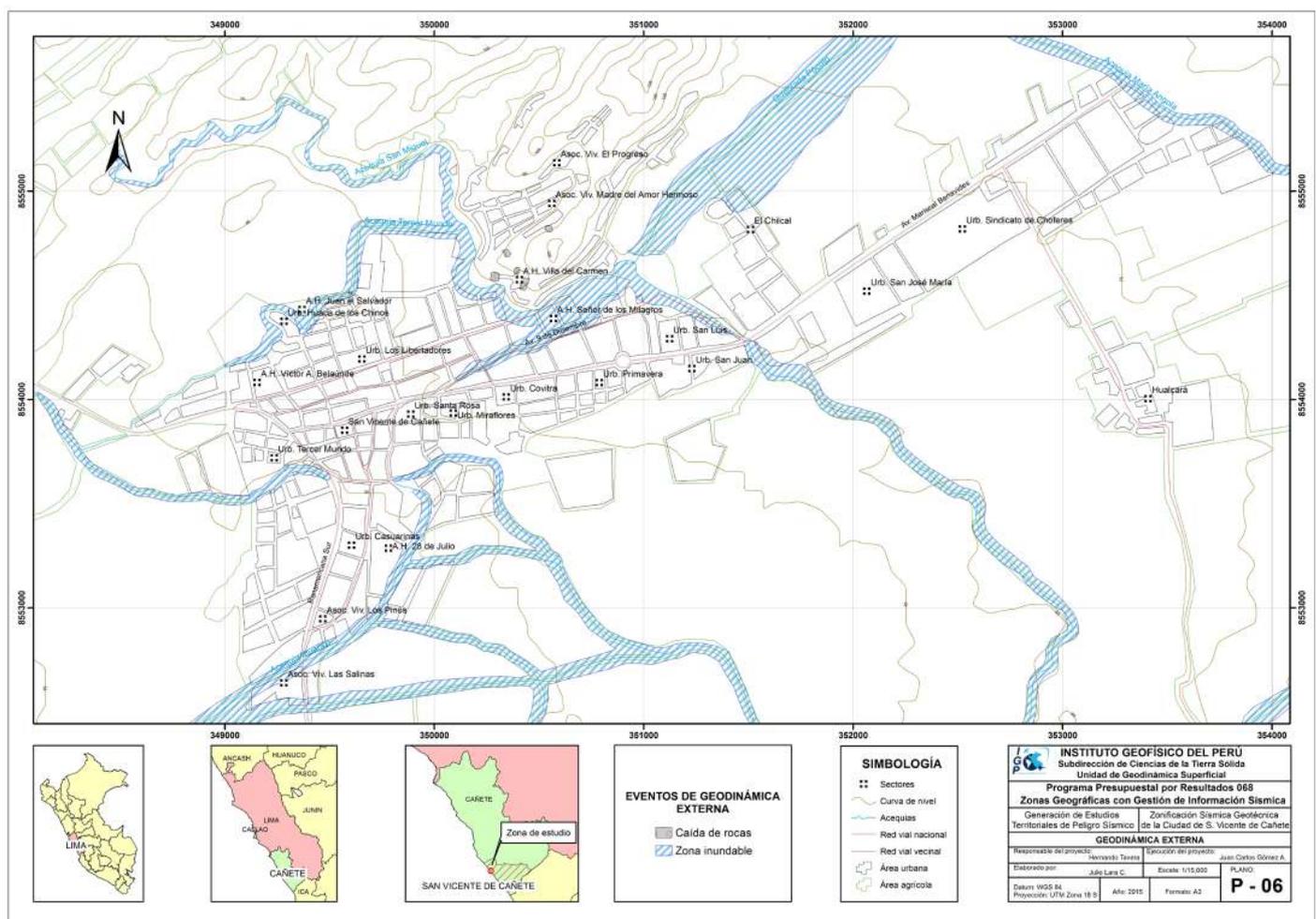
Figura 3. Depósitos aluviales en el sector El Chical al noreste de la ciudad de San Vicente de Cañete.

Depósitos aluviales (Qr-al)

Están conformados por cantos y gravas redondeadas a subredondeadas, envueltos en una matriz arenolimsa 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 (Figura 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 terrestre⁶. 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 desbordamientos de las acequias) y natural como las inundaciones por desborde de la quebrada Pócoto en épocas de lluvia (Mapa 8).



Mapa 8. Geodinámica local para la ciudad de San Vicente de Cañete y alrededores.

⁶La geodinámica se subdivide en interna y externa. La geodinámica interna tiene como principal fuente a la actividad sísmica dada por la interacción de las placas Sudamericana y Nazca, debido a la frecuencia de sismos y por dar origen a los eventos de mayor magnitud; la segunda fuente está constituida por 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). Por su parte la geodinámica externa, que estudia la acción de los procesos exógenos sobre la superficie de la Tierra, tiene como elemento de mayor incidencia a las precipitaciones pluviales, factor detonante de los movimientos en masas (MM), como los deslizamientos, derrumbes y caída de rocas.

Eventos geodinámicos de origen antrópico

Su origen obedece a la acción del hombre, y entre los más importantes se incluyen la caída de rocas e inundaciones causadas por los desbordes de las acequias.

- **Caídas de rocas:** Se han reconocido eventos asociados a caída de rocas de origen antrópico provenientes de los muros de contención (pircas) elaborados por la población sin criterio técnico, en todos los casos conforman la base de los terraplenes donde se asientan las viviendas. En la actualidad se encuentran deteriorados y causan caídas de rocas que afectan a las viviendas del asentamiento humano Villa del Carmen-Sector I.
- **Inundaciones por desbordes de acequias:** Producto del deficiente mantenimiento de las acequias por parte de la población. Estas se producen por el arrojado de desechos sólidos (basura, desmonte y otros) en las acequias de San Miguel, Tercer Mundo, Ihuanco y María Angola.

Eventos geodinámicos de origen natural

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

- **Inundaciones por desbordes de la quebrada Pócoto:** Esta quebrada nace en la localidad de Tauripampa y atraviesa el poblado de Pócoto, siguiendo la 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 km² 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 el 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 asentamiento humano Señor de los Milagros.

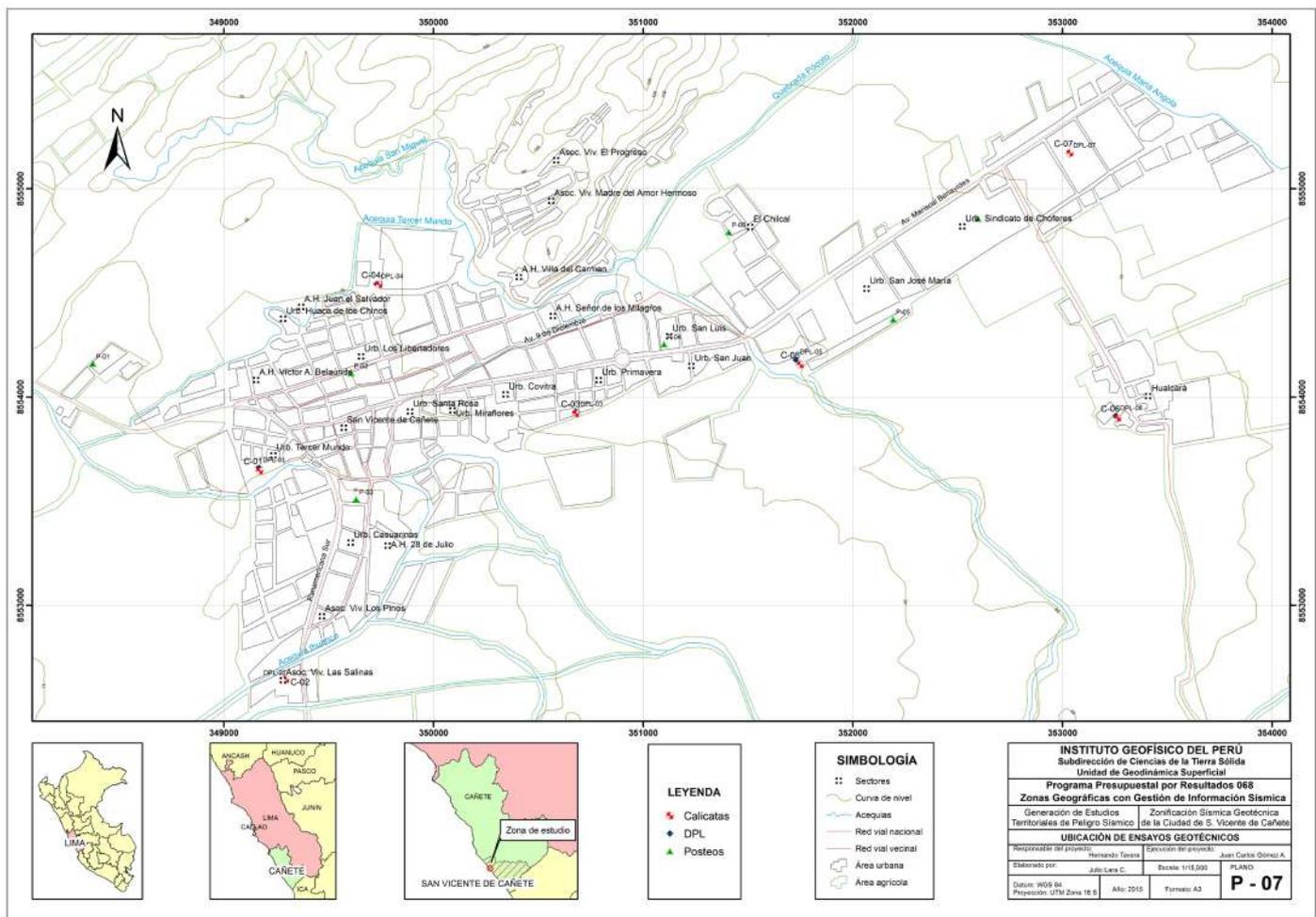
Geotecnia

Los estudios geotécnicos tienen por finalidad analizar y cuantificar las características físicas de los suelos, pues su comportamiento es relevante al momento de ser utilizado 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 utilizando 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.
- **Densidad de suelo in situ (Norma ASTM D1556):** En cada punto de exploración se realizó el ensayo de densidad de campo haciendo uso del método del cono a fin de conocer la densidad y el contenido de humedad del suelo en condiciones naturales. Los resultados obtenidos en cada punto de observación sirvieron para identificar las condiciones naturales del terreno (compactación y humedad).
- **Exploración con posteadora manual (Norma ASTM D1452):** A fin de completar la información geotécnica, se realizaron 7 muestreos adicionales de suelo utilizando una posteadora manual, siendo la máxima profundidad de observación de 2.5 metros y la mínima de 1 metro, 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.

- 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. Estos ensayos se realizaron hasta una profundidad máxima de 3.8 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 promedio de 28° y 40° en promedio. Asimismo se determinó que los suelos tipo arena limosa presentan valores de ángulo de fricción menores a los 40° y los suelos finos entre 26° y 33°.

En el mapa 9 se presenta la ubicación de las calicatas y puntos de posteo de suelos en la ciudad de San Vicente de Cañete.



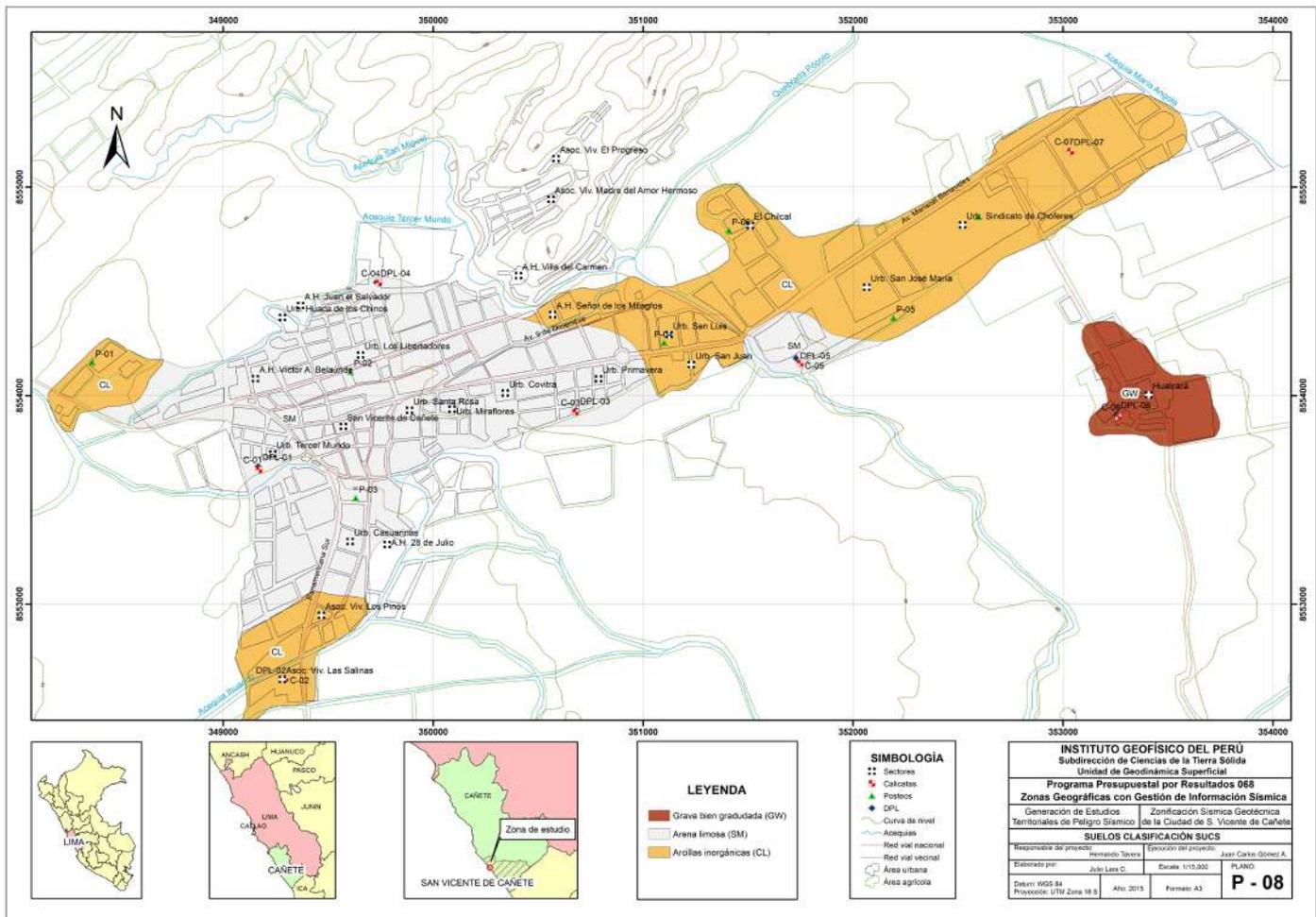
Mapa 9. Ubicación de calicatas y puntos de posteo de suelos en la ciudad de San Vicente de Cañete.

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 realizó la clasificación de suelos SUCS para la ciudad de San Vicente de Cañete. Se identificó la existencia de 3 tipos de suelos cuyas características se describen a continuación (Mapa 10).

- 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.
- 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.



Mapa 10. Clasificación SUCS de suelos en la ciudad de San Vicente de Cañete y alrededores.

Potencial de licuación de suelos

La licuación es un fenómeno por el cual un suelo completamente saturado, con arenas sin cohesión, generalmente limpias y 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, es en la zona de playa, donde existe probabilidad de la ocurrencia de 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 en 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 m y en Hualcará a 2.20 m.

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:

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

Donde,
Si $FL > 1$ No se produciría licuación de suelos
Si $FL < 1$ Se produciría licuación de suelos

Para la calicata C-02 ubicada en la Asociación de Viviendas Las Salinas, se obtuvo el resultado $FL = 0.10 / 0.3 = 0.333$; mientras que para la calicata C-06 ubicada en Hualcará, se obtuvo el 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 suelos⁷.

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 (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 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° , característico de suelos granulares como las arenas limosas y finas como la arcilla. En el caso de una de las calicatas, el ángulo de fricción interna es mayor a 35° , característico de suelos granulares como las gravas bien graduadas.

Capacidad de carga admisible

Los resultados obtenidos de los ensayos de corte directo (ángulo de fricción y la cohesión), permitieron 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 calculada para una profundidad de cimentación de 1.20 m y ancho mínimo de cimentación de 1.00 m.

La capacidad de carga admisible puede dividirse en los siguientes rangos: < 1 = muy baja, 1.0-2.0 = baja, 2.0-3.0 = media, y > 3 = alta. De acuerdo a esta división, y el análisis explicado líneas arriba, la ciudad de San Vicente de Cañete se asienta sobre suelos con la siguiente capacidad de carga admisible:

- 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.

⁷La información detallada sobre la metodología utilizada puede ser encontrada en la versión completa del informe "Zonificación sísmica-geotécnica de la ciudad de San Vicente de Cañete, descargable libremente de: <http://portal.igp.gob.pe/nuestros-productos>

- 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.
- Capacidad de carga admisible alta: Corresponde a suelos de grava bien graduada (GW), cuyo grado de compactación es alto. Abarca el 5% del área de estudio y se ha identificado en Hualcará.

Sísmica y Geofísica

Tal como se mencionó en la sección de metodologías, para la realización de este estudio se utilizaron diversos métodos sísmicos y geofísicos: razones espectrales (H/V), arreglos lineales (MASW) y tomografía eléctrica; todos ellos con el objetivo 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.

Estudio Sísmico con la técnica H/V

Para la aplicación de esta técnica se utilizó el mapa catastral de la ciudad de San Vicente de Cañete y alrededores, sobre el cual se definió 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 permitió disponer de buena cantidad de información para su posterior análisis. Esta información permitió 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 4 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.

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 dicho extremo. 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.

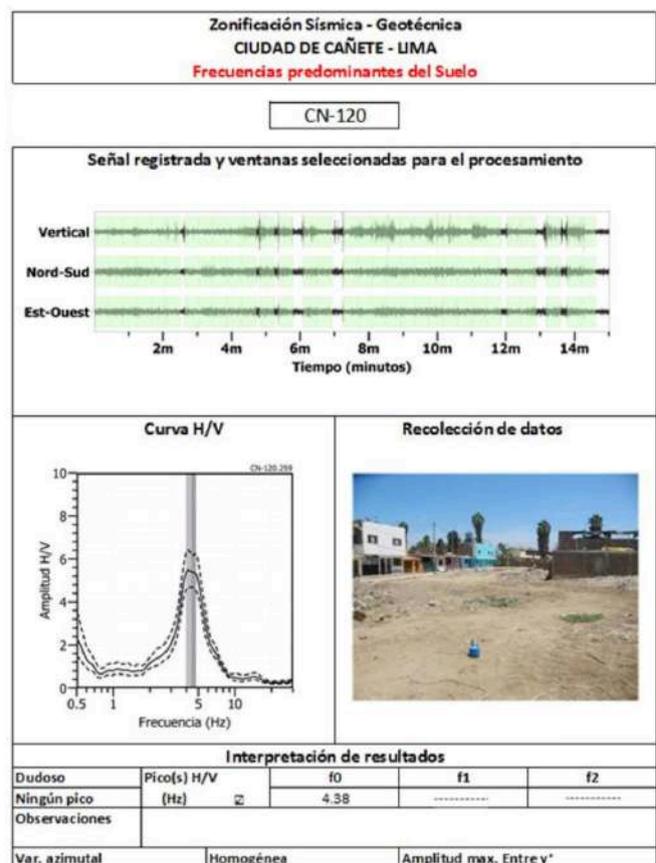


Figura 4. Ejemplo de la ficha H/V para el punto CN-120 en la cual se recopila la información registrada y analizada. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en línea discontinua. Abajo: resultados.

Estudios sísmicos con la técnica de arreglos sísmicos

La técnica MASW (Multichannel Análisis 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 información se utilizó 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 el Mapa 11 se presenta la distribución espacial de 12 líneas de refracción sísmica codificadas como: LS01-AQ..., LS10-AQ. 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

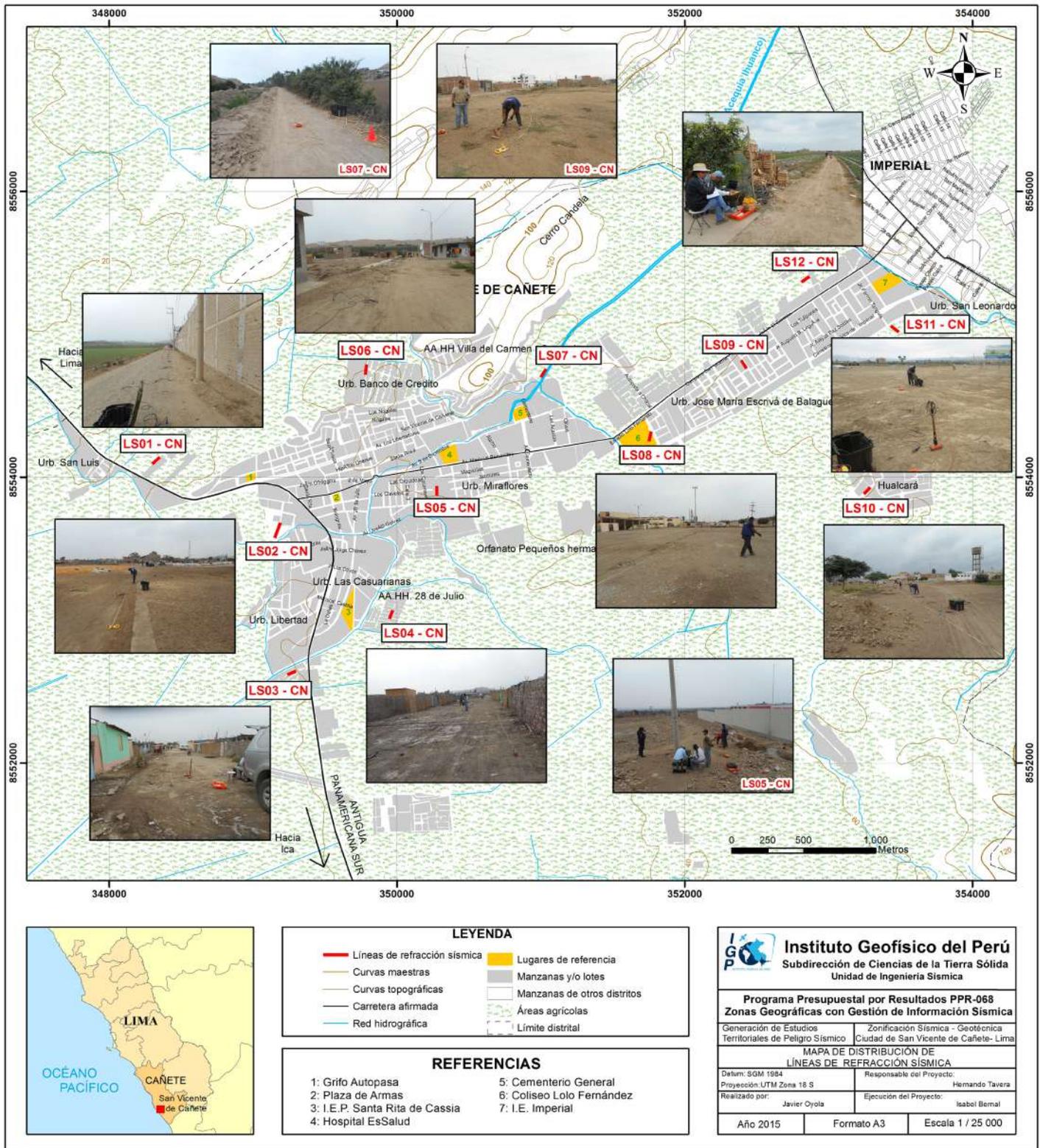
Los perfiles de suelos obtenidos con el método MASW para la ciudad de San Vicente de Cañete nos indican que la ciudad se encuentra emplazada sobre depósitos aluviales constituida por dos capas. La primera capa superficial, con espesores de 2 a 5 metros y velocidad entre 100 a 185 m/s, está constituida 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 compactación y contenido de humedad varía progresivamente. En la zona céntrica de la ciudad, las velocidades (V_s) de la capa más superficial varía de entre 200 y 300 m/s, siendo más compactos con respecto a lo observado en el resto de la ciudad.

Periodos dominantes

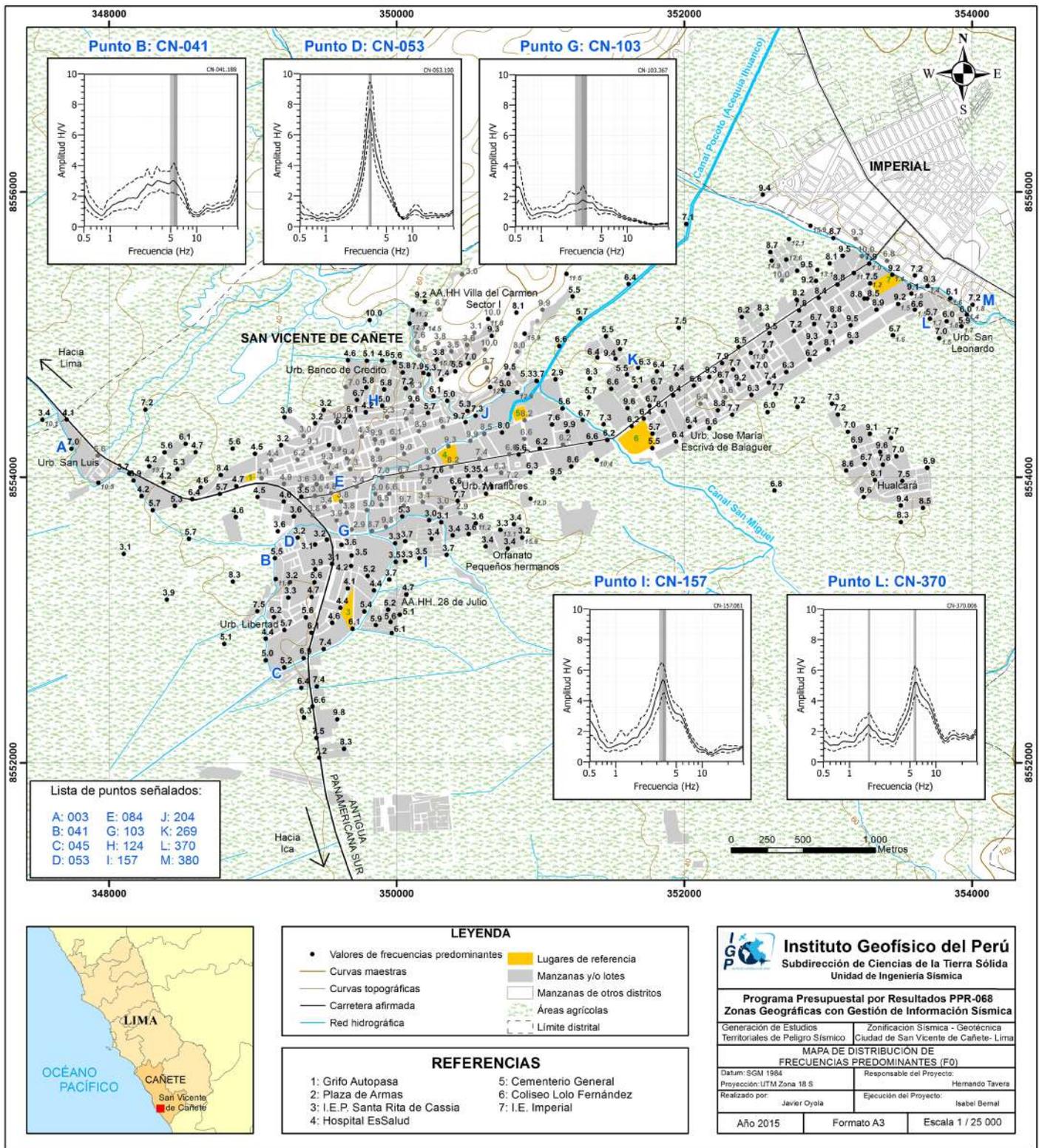
Para presentar los resultados finales obtenidos con la técnica H/V, los valores de frecuencias fueron transformados a periodos dominantes y para construir el mapa de periodos, se asignó a cada punto de medición un radio de confiabilidad de 10 metros, lo cual facilita los procedimientos seguidos para la zonificación de los suelos. En el Mapa 12 se muestra la distribución espacial de los valores de periodos dominantes en 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.

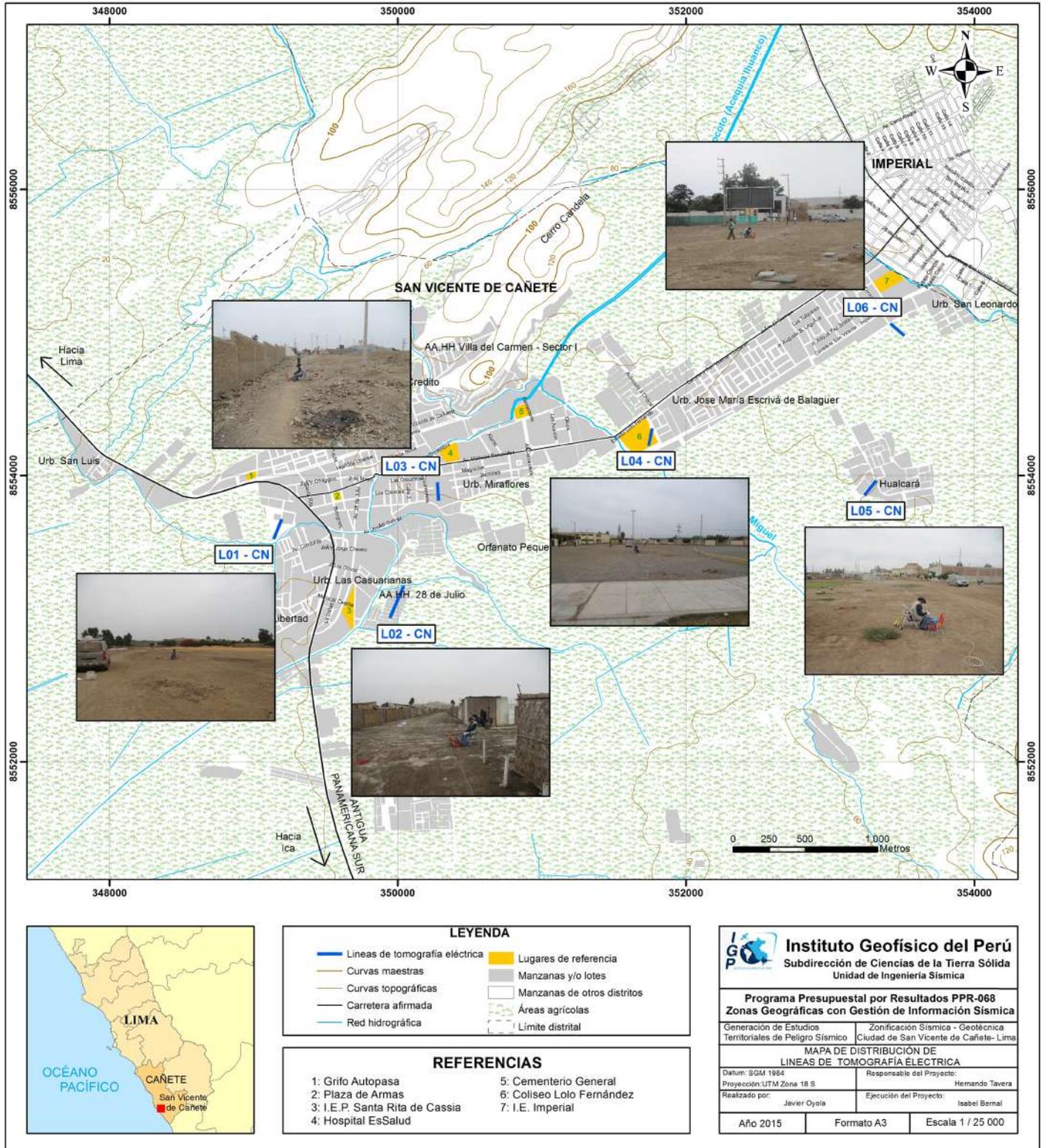
Los periodos dominantes que caracterizan a los suelos de la ciudad de San Vicente de Cañete, están relacionados por sus condiciones físico-dinámicas a través de la relación $T_0=4H/V_s$ (T_0 , periodo dominante; H , espesor del estrato y V_s , velocidad de onda de corte). Entonces, conocidos los periodos y la velocidad



Mapa 11: Distribución espacial de las líneas de refracción sísmica codificadas como: LS01-CN..., LS10-CN, en la ciudad de San Vicente de Cañete.



Mapa 12. Distribución espacial de los valores de periodos dominantes.



Mapa 12. Ubicación de las 6 líneas de tomografía eléctrica codificadas como: LE01-CN; ..., LE06CN.

de las ondas de corte (V_s), se puede proceder a calcular los espesores de las capas del suelo. Asumiendo, velocidades promedio 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 m. Estos valores son confirmados con los modelos de velocidad y espesores de capas obtenidos con los métodos geofísicos.

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 y superficies con mayor o menor contenido de agua. En la ciudad de San Vicente de Cañete se tendieron 6 líneas de tomografía eléctrica con el dispositivo polo-dipolo, la distribución de 25 electrodos a fin e alcanzar tendidos de 120, 144 y 240 metros, lo cual permitió tener alcances en profundidad del orden de 24 y 40 metros (Mapa 13).

En la Figura 5, se observan algunas líneas eléctricas tendidas en suelos con presencia de agua a 0.5 metros de profundidad y otras con contenidos de sales.



Figura 5. Líneas eléctricas en suelos con napa freática y b. Con contenido de sales.

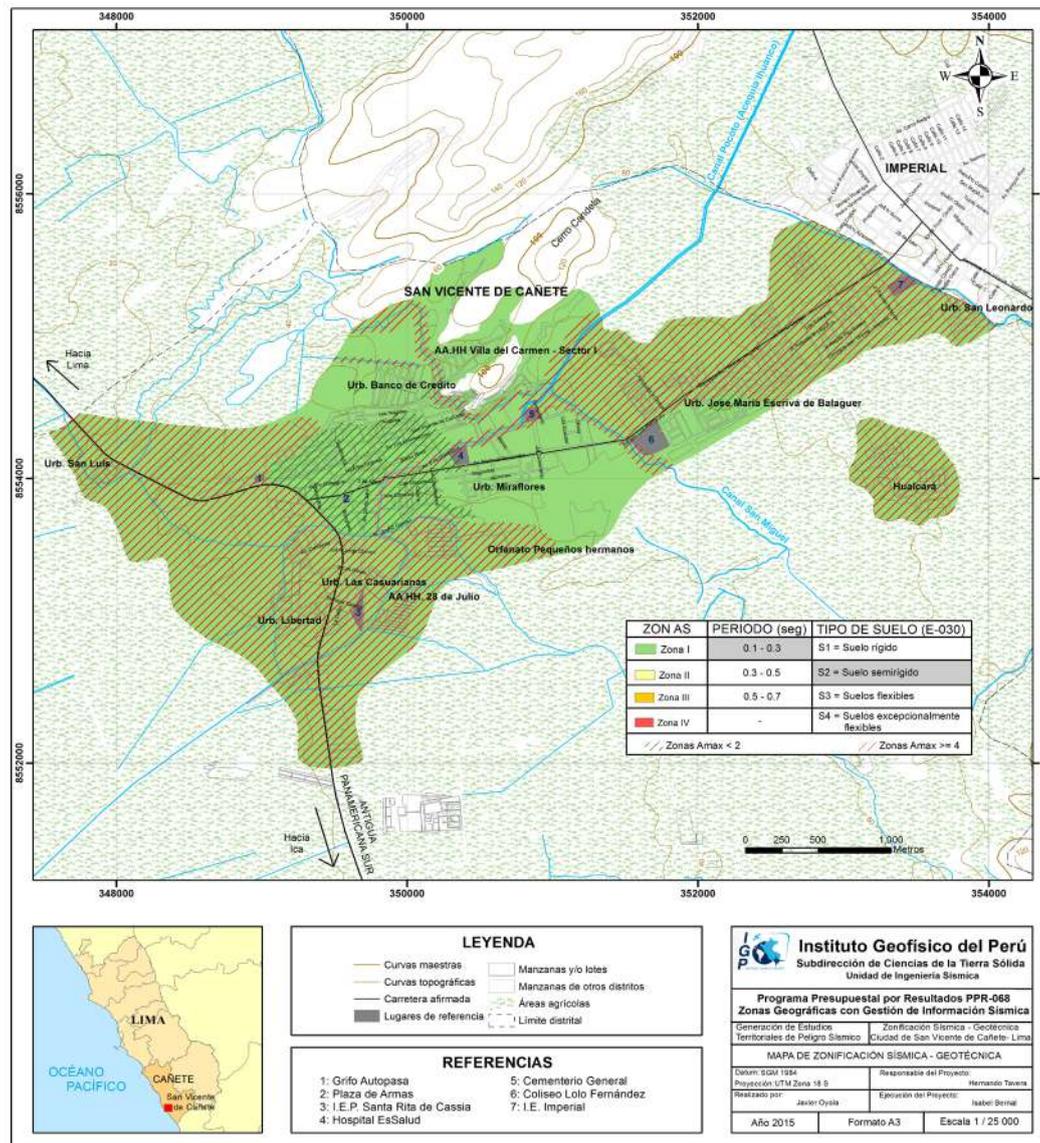
En general, en el área de estudio predominan valores moderados a bajos resistivos, evidenciando la presencia altos niveles freáticos. En el sector oeste, SO, NE y SE de la ciudad de San Vicente de Cañete predominan valores bajos resistivos, asociados al alto nivel freático que presentan dichas zonas 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 (desmonte) con espesores entre 6 y 20 metros.

Zonificación sísmica - geotécnica

Para obtener la zonificación sísmica-geotécnica en este estudio (Mapa 14), se consideró el análisis e interpretación de la información geológica, geomorfológica, geodinámica, geotécnica, sísmica y geofísica. Así, 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 E030), la existencia de suelos Tipo S2, es decir suelos medianamente rígidos, por lo que para la ciudad de San Vicente de Cañete se propone la siguiente zonificación sísmica-geotécnica:

- **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/cm².

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/cm².



Mapa 14. Zonificación Sísmica-Geotécnica para la ciudad de San Vicente de Cañete

Conclusiones

Los estudios de zonificación sísmica-geotécnica (comportamiento dinámico del suelo) son indispensables para realizar la proyección adecuada del crecimiento de las ciudades, y el mapa de zonificación sísmica-geotécnica debería ser un elemento indispensable para ingenieros, urbanistas, planificadores y autoridades en general.

Para el caso de la ciudad de San Vicente de Cañete podemos concluir que 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 sustrato 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 al A.H. Villa del Carmen-Sector I. Las inundaciones por desborde de las acequias San Miguel, Tercer Mundo y María Angola afectan a las urbanizaciones 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 Pócolo en épocas lluviosas, afecta a los A.H. Señor de los Milagros y El Chilcal.

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.*
- APESEG (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 (1995): *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, México. Tesis de Maestría en Ciencias, UNAM, pag. 130.*
- Bernal, I. (2006): *Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Tlaxcala – México. Tesis de Maestría, II-UNAM, México.*
- 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., Cisternas, 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-PNUDPER/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, Chíncha, Tantará 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 realtions between seismic fault parameters and momento magnitude of eathquakes*. 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 rio Llobregat*. Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Cataluña
- Silgado, E. (1978): *Historia de los sismos más notables ocurridos en el Peru entre 1513 y 1974*. Instituto Geológico Minero del Perú, Lima, Perú, 120 pag.
- Tavera, H., Buforn, E. (2001): *Source mechanism of earthquakes in Peru*. Journal of Seismology 5: 519–539, 2001.
- Tavera, H., Bernal, I., Gómez, J-C. (2010): *Zonificación Sísmico-Geotécnico para el Distrito del Callao (Comportamiento Dinámico del Suelo)*. Informe Técnico COOPI-IRD.
- Tavera, H., Bernal, I., Gómez, 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*. Instituto Geofísico del Perú.
- Tavera, H., Buforn, E., Bernal, I., Antayhau, Y., and L. Vilcapoma (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*. Instituto Geofísico del Perú.
- 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.



© Instituto Geofísico del Perú
Calle Badajoz 169, Urb. Mayorazgo IV Etapa, Ate, Lima, Perú
Central Telefónica: (511) 317 2300
<http://www.igp.gob.pe>

 /igp.peru

 /igp_peru

 /c/igp_videos

ISBN: 978-612-47606-1-7



9 786124 760617