



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 CHANCAY

(Comportamiento Dinámico del Suelo)

Responsable: Hernando Tavera

Lima - Perú

2016

# ZONIFICACIÓN SÍSMICA - GEOTÉCNICA DEL ÁREA URBANA DE LA CIUDAD DE CHANCAY

Provincia de Huaral - 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

Christian Chiroque

Kelly Pari

Segundo Ortiz

Liliana Torres

Roberth Carillo

Fabiola Rosado

Mariana Vivanco

Lizbeth Velarde

Pilar Vivanco

Luz Arredondo

Héctor Lavado

Javier Oyola

Julio Lara

Henry Salas

John Chahua

Orlando Hanco

Jesús Huarachi

Tsunamis: Julio Martínez

## 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 del área urbana de la ciudad de Chancay, distrito de Chancay, provincia de Huaral, 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. Asimismo, se propone los posibles escenarios a presentarse ante la ocurrencia de inundación por tsunamis.*

*Los resultados obtenidos para la ciudad de Chancay han permitido identificar, según la Norma de Construcción Sismorresistente (Norma E.030), la existencia de dos zonas sísmicas-geotécnicas correspondientes a suelos Tipo S1 y Tipo S4, este último asociado a condiciones excepcionales*

*El Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica para la ciudad de Chancay 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, este documento técnico debe constituirse 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.- LA CIUDAD DE CHANCAY

3.1.- Acceso

3.2.- Clima

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 de tsunamis

7.4.- Estudios geológicos y geotécnicos

7.5.- Estudios sísmicos y geofísicos

8.- ASPECTOS SISMOLÓGICOS

8.1.- Sismicidad

8.2.- Peligro Sísmico

8.3.- Tsunamis

9.- GEOMORFOLOGÍA, GEOLOGÍA y GEODINÁMICA

9.1.- Geomorfología

9.1.1.- Unidades Geomorfológicas

9.1.1.1.- Origen denudacional

9.1.1.2.- Origen deposicional

9.1.1.3.- Origen marino

9.1.1.4.- Origen tectónico

9.2.- Geología

9.2.1.- Geología regional

9.2.2.- Geología local

9.3.- Geodinámica

9.3.1.- Movimientos en masa

10.- GEOTÉCNIA

10.1.- Clasificación de suelos SUCS

10.2.- Ensayo de corte directo

10.3.- 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 ensayos de DPL

ANEXO 4: Fichas de posteo

ANEXO 5: Fichas de eventos geodinámicos

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 Ciencias de la Tierra Sólida 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, Geodinámica Superficial y Sismología 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 tipo de suelos identificados en la zona de 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 Chancay, provincia de Huaral, 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 de desastres ante la ocurrencia de 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 Plaza de Armas de la ciudad de Chancay*

### 3.- LA CIUDAD DE CHANCAY

El Distrito de Chancay es uno de los doce que conforman la Provincia de Huaral, ubicada en el Departamento de Lima. Sus límites son: por el oeste con el océano Pacífico; por el este con los distritos de Huaral y Aucallama; por el norte con la provincia de Huaura, y por el sur con el ya mencionado distrito de Aucallama. Su capital, la ciudad de Chancay, se encuentra a 76 km al norte de la ciudad de Lima y a una altitud de 43 msnm.

Históricamente, en la época prehispánica se desarrolló la cultura Chancay, ocupando la costa central del Perú. Esta cultura floreció entre 1300 y 1450 de nuestra era, luego pasa a integrar el imperio incaico. Chancay desarrolló grandes núcleos urbanos con edificaciones ceremoniales y administrativas, empleando el barro y la piedra como materiales de construcción. En la colonia, Chancay fue fundada por Luis Flores en el año 1562 con el nombre de Villa de Arnedo, por orden del virrey Diego López de Zúñiga y Velasco, Conde de Nieva. En 1757, la villa cambió su nombre por el de Chancay y según el censo de 1792, contaba con 2960 habitantes, entre españoles, esclavos negros, indios y mestizos.

Durante la época republicana, la población de Chancay apoyo lealmente a la causa de la Independencia, obteniendo por Ley del 16 de abril de 1828, el título de "fidelísima villa". Posteriormente, y por ley del 2 de enero de 1857 del gobierno del mariscal Ramón Castilla, fue creado el distrito de Chancay, como parte de la Provincia de Chancay. La ciudad de Chancay era la capital distrital y provincial a la vez. Durante la Guerra del Pacífico, el puerto y población de Chancay jugaron un rol importante, logrando el 13 de septiembre de 1880 hundir a la goleta chilena "Covadonga", frente a las playas de Chancay. Actualmente, permanece en el fondo de la bahía de Chancay, aunque algunas de sus piezas han sido extraídas y se exhiben en diversos museos.

Ya en pleno siglo XX, la zona de Chancay y todo el Norte Chico, junto con el área de Lima-Callao, sufrieron los embates de los terremotos de 1940 y 1966. Posteriormente, por Ley N° 21488 del 11 de mayo de 1976 dada por el gobierno de Francisco Morales Bermúdez, se creó la Provincia de Huaral, con capital en la ciudad de Huaral, y con distritos de las Provincias de Chancay y Canta. Uno de esos distritos era el distrito de Chancay. La capital de la nueva provincia quedó establecida en la

ciudad de Huaral, por lo que la ciudad de Chancay perdió su calidad de capital provincial. La vieja Provincia de Chancay cambió su nombre el 15 de septiembre de 1988, por la de Provincia de Huaral.



Figura 2: Ubicación geográfica de la ciudad de Chancay

### 3.1.- Acceso

La zona de estudio abarca un área de 15 km<sup>2</sup> aproximadamente y está conformada por los siguientes sectores: La Punta, El Puerto, Humedales de Santa Rosa, Pelavillo, AA.HH Miramar, Sarita Colonia, El Pacífico, Los Álamos todos ellos ubicados al sur del cerro Trinidad; mientras que, al centro y norte se encuentran la Zona Industrial, Punta El Castillo, Chacarilla, Fundo Santa Rosa y Aldea Campesina. Otros sectores como Buena Vista y 28 de Julio se encuentran ubicados al noroeste de la zona urbana de la ciudad.

El acceso a la ciudad de Chancay, desde la ciudad de Lima, se hace a través de la carretera Panamericana Norte hasta el kilómetro 80 por un tiempo de 1 hora aproximadamente, Figura 3.



Figura 3: Vista panorámica de la entrada a la ciudad de Chancay, Panamericana Norte ruta de sur a norte (Lima-Chancay), tomada desde el cerro Trinidad

### 3.2.- Clima

Según el “Estudio Geodinámico de la cuenca del río Chancay – Huaral” (INGEMMET, 1994), la ciudad de Chancay presenta un clima típico de la faja costera, caracterizado por ser desértico, templado y húmedo con leves lloviznas entre los meses de abril a diciembre, y con radiación solar intensa de enero a marzo. La temperatura máxima absoluta fluctúa entre 25°C a 26°C y la mínima entre 14°C y 15°C, llegando a un promedio de 18° C. La humedad relativa es mayor en el área de la costa próxima al litoral con un promedio de 83%, las precipitaciones anuales máximas son de 36 mm y en promedio anual de 18 mm.

#### 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 uno de los causantes directos 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 4). 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.

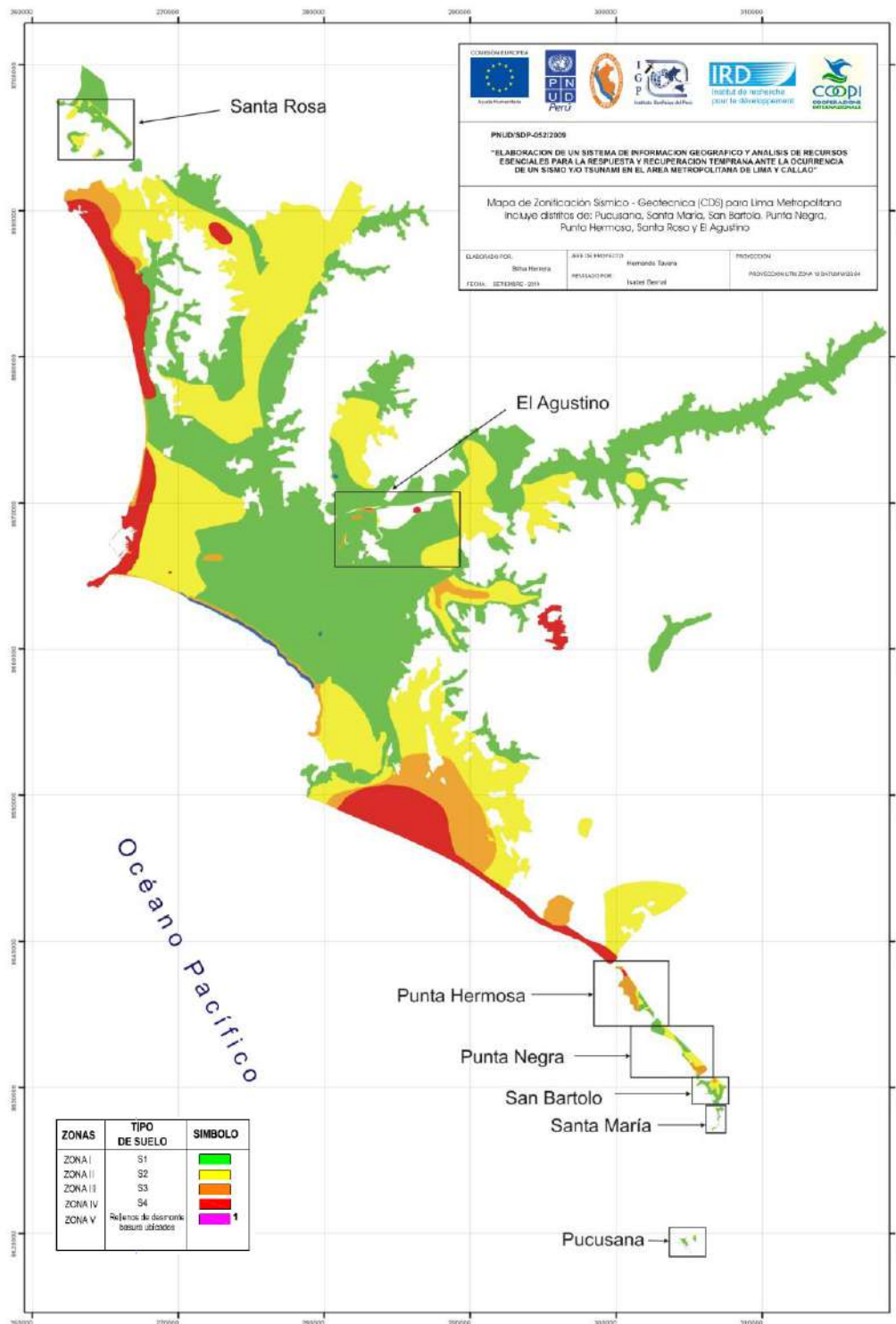


Figura 4: Mapa de Zonificación de suelos para Lima Metropolitana elaborado por el CISMID (APESEG, 2005) y complementado por el IGP (distritos en recuadro) dentro del proyecto PNUD (PNUD, 2010)

A partir del año 2012 y como parte 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 Huarney 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 Cocachacra, 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 Chancay son presentados en este informe bajo el siguiente título: **“Zonificación Sísmica – Geotécnica del área urbana de la Ciudad de Chancay”**.

#### **4.1.- Estudios previos**

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

***Autoridad Nacional del Agua (2011)*** - *“Evaluación de recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Chancay – Huaral”*. Este estudio tiene como objetivo determinar, cuantificar e identificar el comportamiento hidrológico de la cuenca del río Chancay-Huaral. Debido a las dimensiones del área en estudio, se consideró una escala regional (1:300,000).

***INDECI-PENUD (2007)*** - *“Mapa de Peligros de la Ciudad de Chancay”*. Se determina las áreas amenazadas por fenómenos naturales, identificando, evaluando y calificando los peligros. Asimismo, se determina el comportamiento de los suelos a través de estudios geotécnicos con la construcción de 20

calicatas. Este estudio ha permitido complementar el capítulo de geodinámica externa y los tipos de suelos en la zona de estudio.

**INRENA (2001)** - “Evaluación y ordenamiento de los recursos hídricos de la cuenca Chancay – Huaral”. El objetivo principal de este estudio es mejorar la gestión del agua en la cuenca y evitar la pérdida del recurso hídrico, para ello se realizó el inventario de puntos de agua, caracterizando las subcuencas que componen la cuenca de Chancay y Huaral.

**INRENA (1994)** - “Diagnóstico de la calidad del agua de la vertiente del Pacífico: Cuenca Chancay – Huaral”. Se describe la hidrografía e hidrología del río Chancay – Huaral a una escala de trabajo regional (1: 500,000).

**INGEMMET (1994)** Boletín N° 012: “Estudio Geodinámico de la cuenca del río Chancay – Huaral”. Se describe la geomorfología de la cuenca relacionándola con los procesos de geodinámica externa; además, se identifican las zonas de riesgo, se evalúan los fenómenos de geodinámica externa y la vulnerabilidad de las obras de infraestructura, centros poblados y terrenos de cultivo. En dicho documento no se especifica la escala de trabajo. El aporte principal del estudio se basa en la caracterización geomorfológica y datos de precipitaciones.

**VIVIENDA (2009)**. “Plan de desarrollo urbano del distrito de Chancay, 2008 – 2018”. El proyecto pretende organizar y orientar el desarrollo del distrito de Chancay hacia el 2018. Se evalúa su situación actual, su relación con los principales peligros naturales y el crecimiento de la ciudad y poblados del distrito. Plan propuesto por el Ministerio de Viviendas, Construcción y Saneamiento a la municipalidad distrital de Chancay.

## 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, geodinámicos, geotécnicos, sísmicos y geofísicos (Figura 5.a, b). 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, dependiendo de cada área de estudio, son los relacionados a tsunamis, inundación por crecida de los ríos y licuación de suelos. Estos escenarios son frecuentes en ciudades ubicadas en zonas costeras y otras en las regiones andinas y subandinas, próximos a zonas de alta pendiente y/o entorno a las riberas de ríos.



Figura 5a: Lado oeste del cerro Trinidad en el sector Túpac Amaru, afectado por procesos geodinámicos: caída de rocas

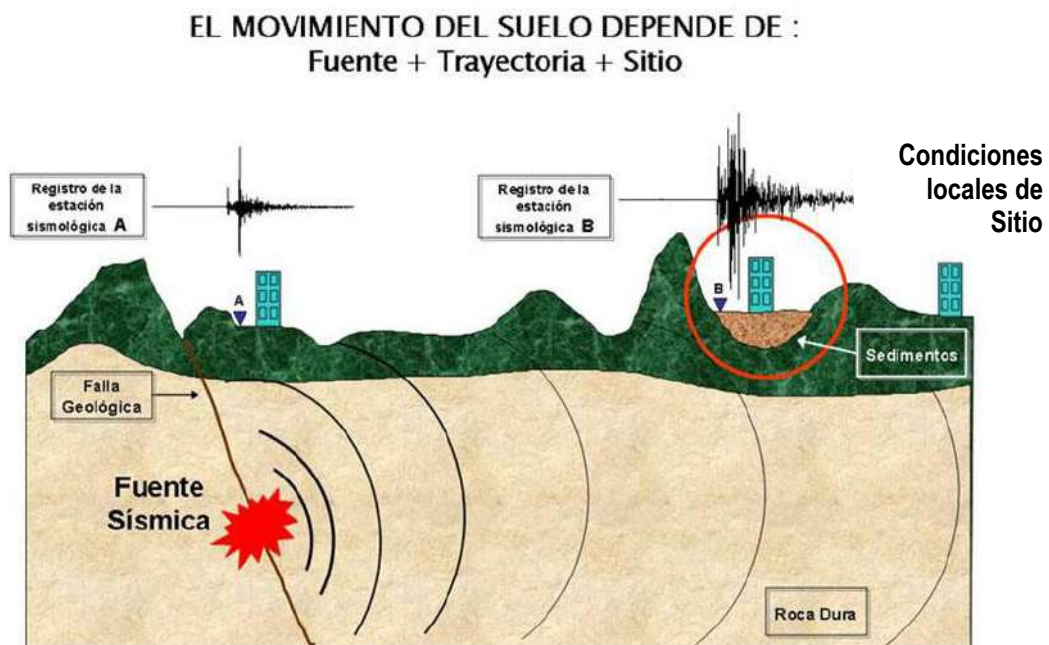


Figura 5b: Las condiciones locales de sitio controlan la amplificación del sacudimiento del suelo, puesto en evidencia con la amplitud del registro sísmico obtenido sobre roca y sedimentos.

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

En el 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. 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 500 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).** Corresponden a suelos que presentan velocidades de ondas de corte menor e igual a 180m/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 Norma E.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 1500m/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 500m/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 0.7 s, por lo que su comportamiento dinámico ha sido tipificado como suelo Tipo S3 de la norma sismorresistente peruana. En la zona la velocidad de las ondas de corte ( $V_s$ ) son menores a 180m/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 E.030, es un caso especial y/o condiciones excepcionales).

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

Esta zonificación condiciona el tipo de estructura que se debe construir; es decir, tipo de material, geometría y el número de pisos en las viviendas o de grandes obras de ingeniería. Se debe buscar que el periodo fundamental de respuesta de la

estructura no coincida con la del suelo a fin de evitar el fenómeno de resonancia y/o una doble amplificación sísmica.

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 Chancay 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**

Para conocer las características de la sismicidad en la región en donde se encuentra la ciudad de Chancay, se hace uso del catálogo y Mapa Sísmico del Perú (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 de tsunamis**

Considerando que la ciudad de Chancay cuenta áreas de playa, es necesario caracterizar el peligro relacionado con la ocurrencia de un tsunami debido a la ocurrencia de un sismo de magnitud 8.5 Mw (Figura 6). Conocido el modelo de fuente

sísmica y obtenida las cartas de batimetría y topografía con alta resolución, el modelado numérico del tsunami se realiza con el algoritmo TUNAMI-N2 desarrollado por investigadores de la Universidad Tohoku de Japón (Goto y Ogawa, 1992). Los resultados obtenidos permiten conocer las zonas de inundación, el tiempo de llegada y la altura de la primera ola de tsunami, información que permitirá orientar las medidas de gestión del riesgo en la zona de estudio.



*Figura 6: Playas de Chancay con acopio de población en las épocas de verano*

#### **7.4.- 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 7).

.- **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 7: Calicata elaborada en Chancay con el apoyo de la municipalidad. Extracción de muestras para conocer, por ejemplo, la densidad del 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 8).



Figura 8: Posteadora y muestras obtenidas en suelos de Chancay

**- 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 9).



Figura 9: 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.

## 7.5.- 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.

.- **Técnica 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 10).



Figura 10: Equipo sísmico utilizado para el registro de vibraciones ambientales en Chancay: sensores Lennartz (2N) y registrador CityShark

En la Figura 11, 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 CH-044 presenta bajos niveles de ruido; mientras que, la señal en CH-185, 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.

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 12), 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.

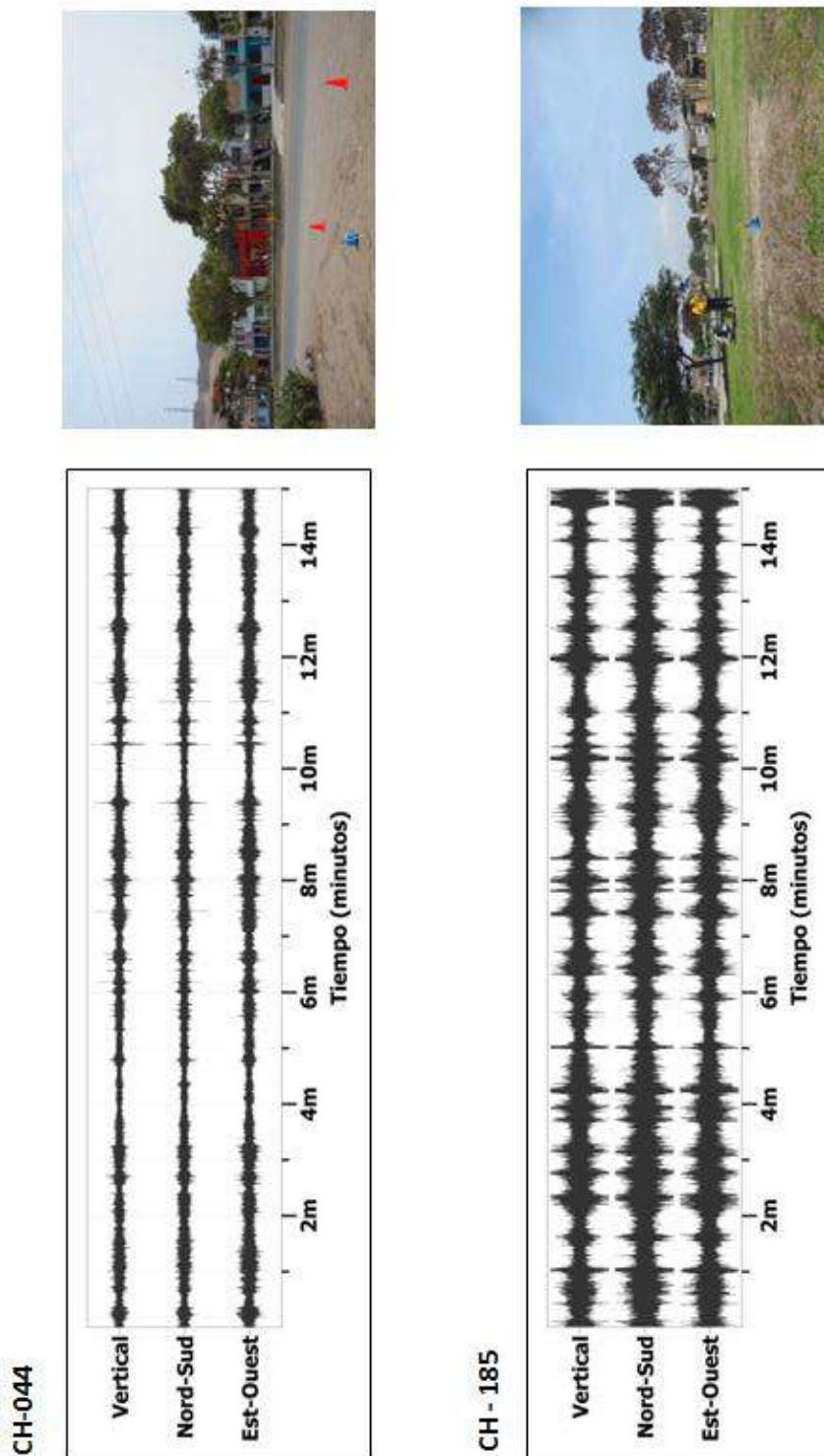


Figura 11: Ejemplos de la disposición del equipo sísmico para el registro de vibraciones ambientales. Ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos sobre un punto de registro sin presencia de ruido de fondo (CH-044) y otro con ruido transitorio (CH-185). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.

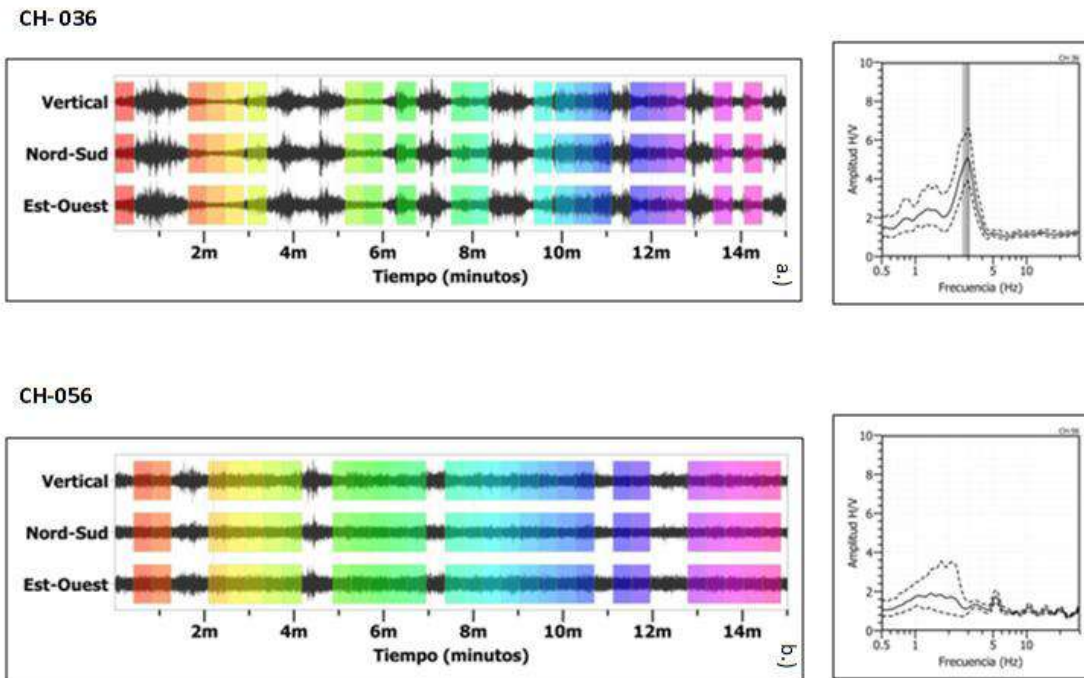


Figura 12: Ejemplo de selección de ventanas de registro de vibración ambiental (rectángulos de colores) y gráficos de H/V. CH-036: Registros y razón H/V donde se identifica la presencia de un pulso de frecuencia predominante de gran amplitud. CH-056: Registros y razón H/V en el cual se observa un posible pico predominante de pequeña amplitud. Las 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 13).

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.

.- **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 14).

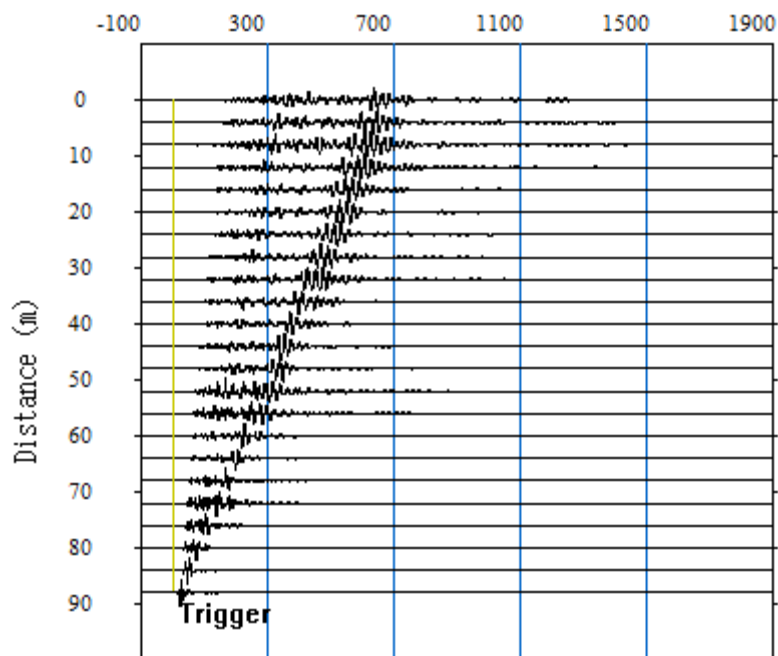


Figura 13: Disposición del equipo de refracción sísmica y trazas obtenidas en la ciudad de Chancay

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 14: Disposición del equipo de prospección eléctrica en la ciudad de Chancay

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.*

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

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

*.- 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 estos están referidos a suelos con presencia de agua, material orgánico, arcillas. Se debe considerar que el grado de salinidad del agua afecta los valores de resistividad, permitiendo que estos alcancen valores del orden del 0.2 Ohm.m., equivalente al agua de mar.*

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

La ciudad de Chancay se encuentra ubicada 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 futuros proyectos que consideren el desarrollo urbanístico.

### 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 Chancay (Figura 15).

Según información histórica, los sismos que causaron daño y destrucción en Chancay 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 del total de muertos en Cañete, Chancay y Pisco, sobre todo en este último lugar, que también fue inundado totalmente por el mar, a punto tal que después hubo de trasladarse y refundarse a una legua del mar.*

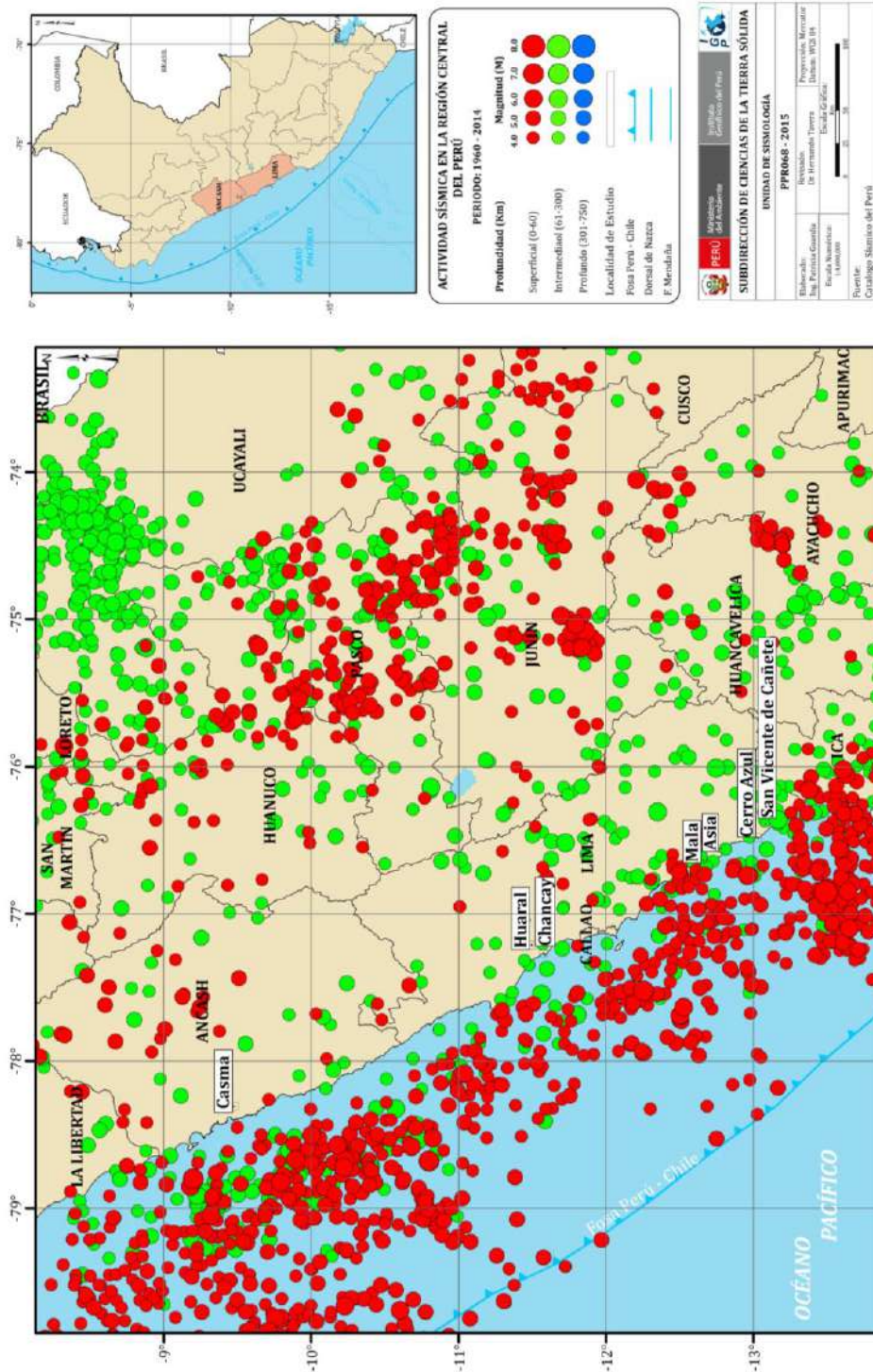


Figura 15: Mapa de sismicidad regional para el borde occidental de la región central del Perú. Los círculos en rojo corresponden a sismos de foco superficial y los verdes, a sismos de foco intermedio.

- El Terremoto de Lima de 1828 ocurrió el 30 de marzo de 1828 y devastó Lima, Callao, Chorrillos, Chancay y otras poblaciones costeras del centro del Perú, especialmente las situadas al norte de Lima (Norte Chico). Originó también un tsunami.
- La ciudad de Chancay, así como su área circundante sufrió los efectos del tremendo terremoto de 1940 y el subsiguiente tsunami (Figura 16).
- En 1966, otro terremoto frente a Chancay causó graves daños al llamado Norte Chico, y al área de Lima-Callao. En Chancay produjo 30 muertos y 4.000 damnificados. 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 (Figura 7).

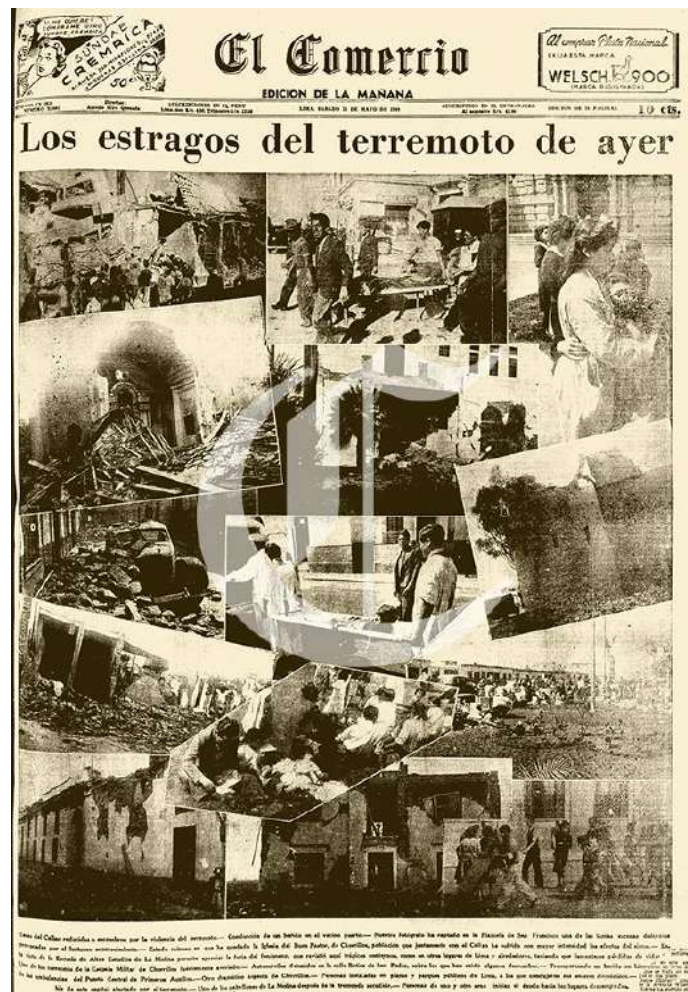


Figura 16: Noticias en el diario El Comercio sobre los daños producidos en la costa de la región central del Perú por el terremoto de 1940.

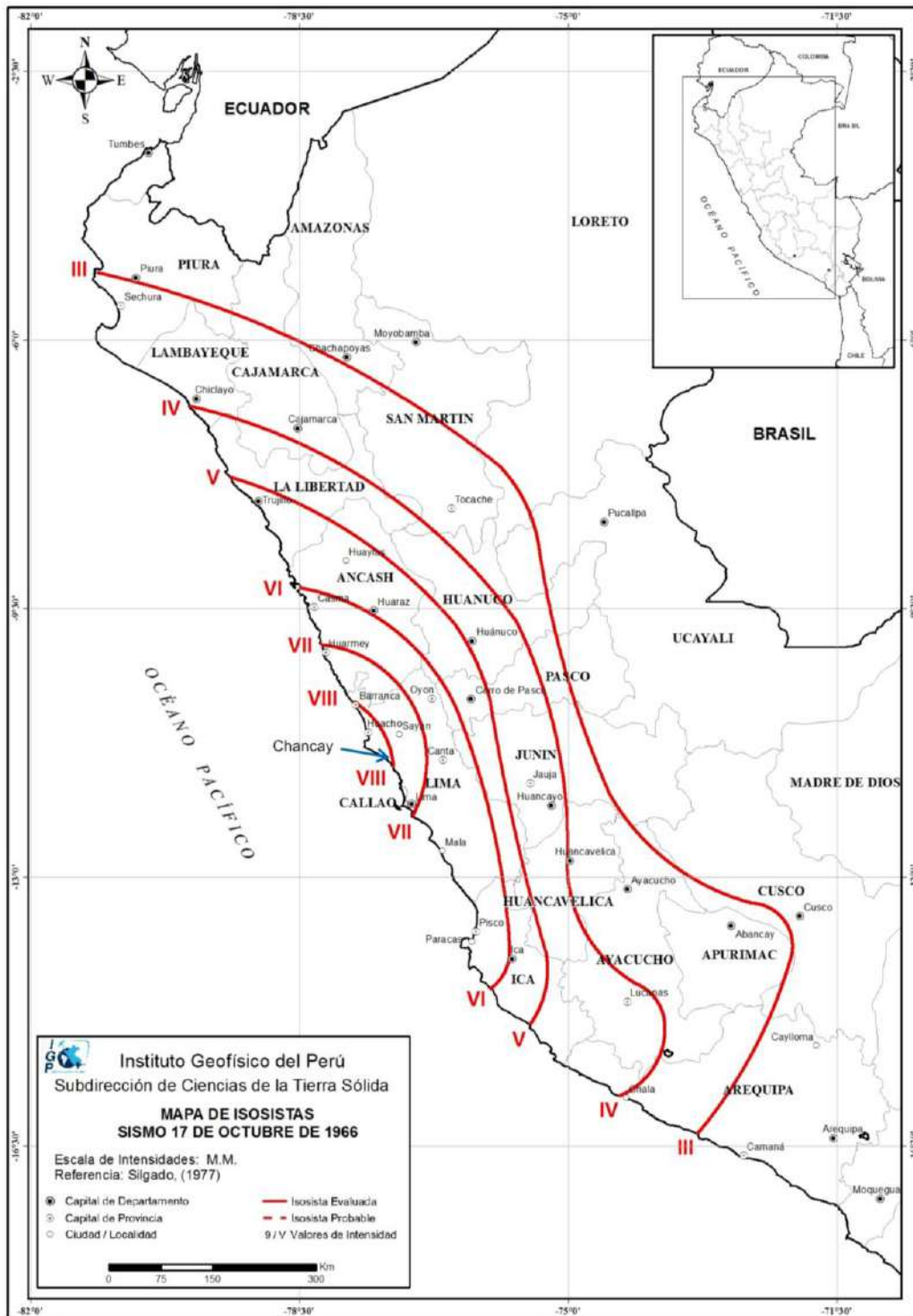


Figura 17: Mapa de isosistas para el terremoto del año 1966 que afectó a la ciudad de Chancay con intensidades del orden de VIII en la escala de Mercalli Modificada

Por otro lado, en la Figura 18 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, Chancay es una ciudad expuesta a alto riesgo para el caso de sismos y tsunamis.

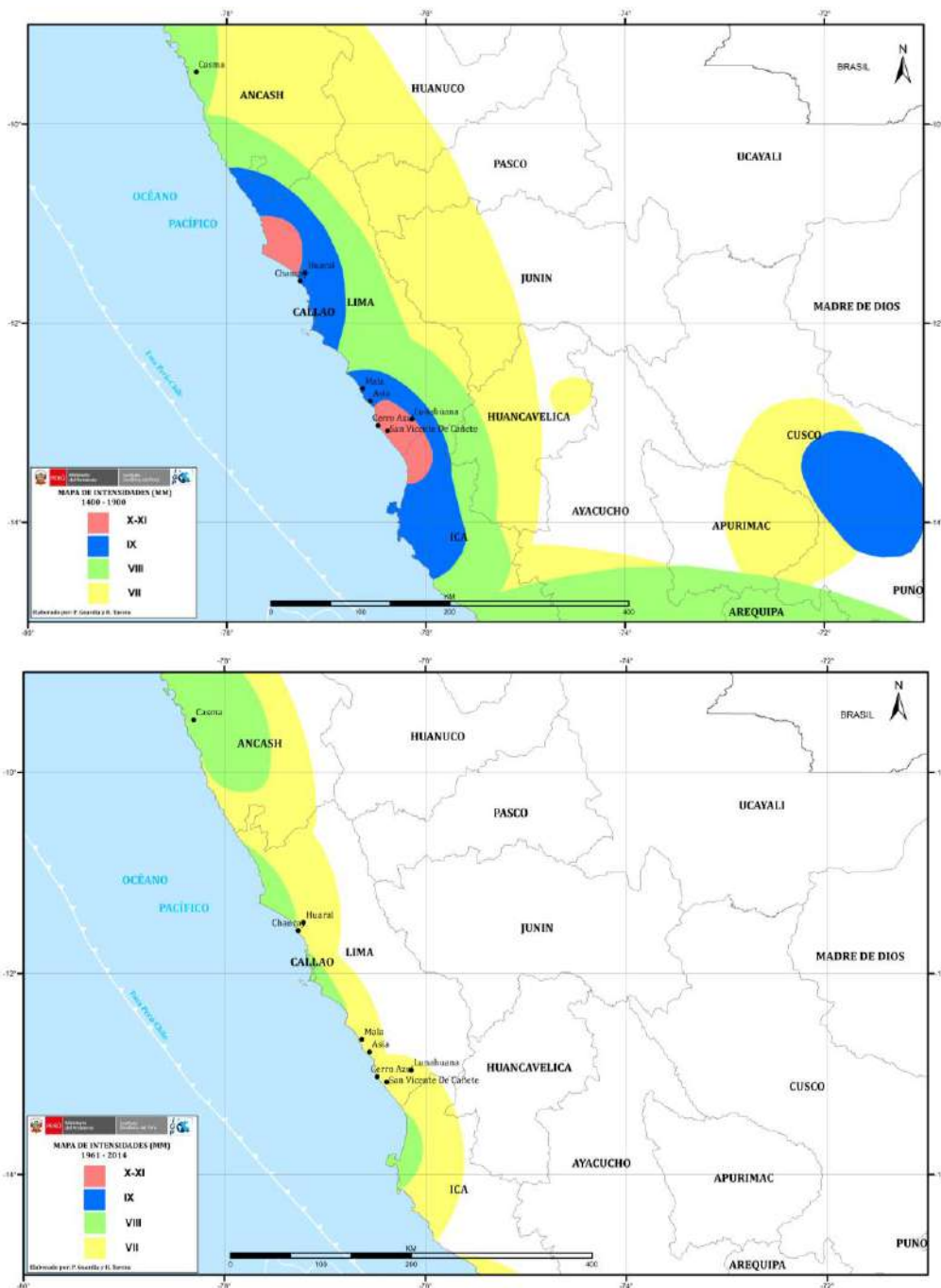


Figura 18: Mapas de isosistas (MM) correspondientes a sismos históricos (1400 – 1900) e instrumentales (1961 – 2014) ocurridos en el borde occidental de la región central del Perú

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 19). 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 afecto 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 Chancay 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 Chancay, se debe complementar este estudio con evaluaciones catastrales y estructurales.

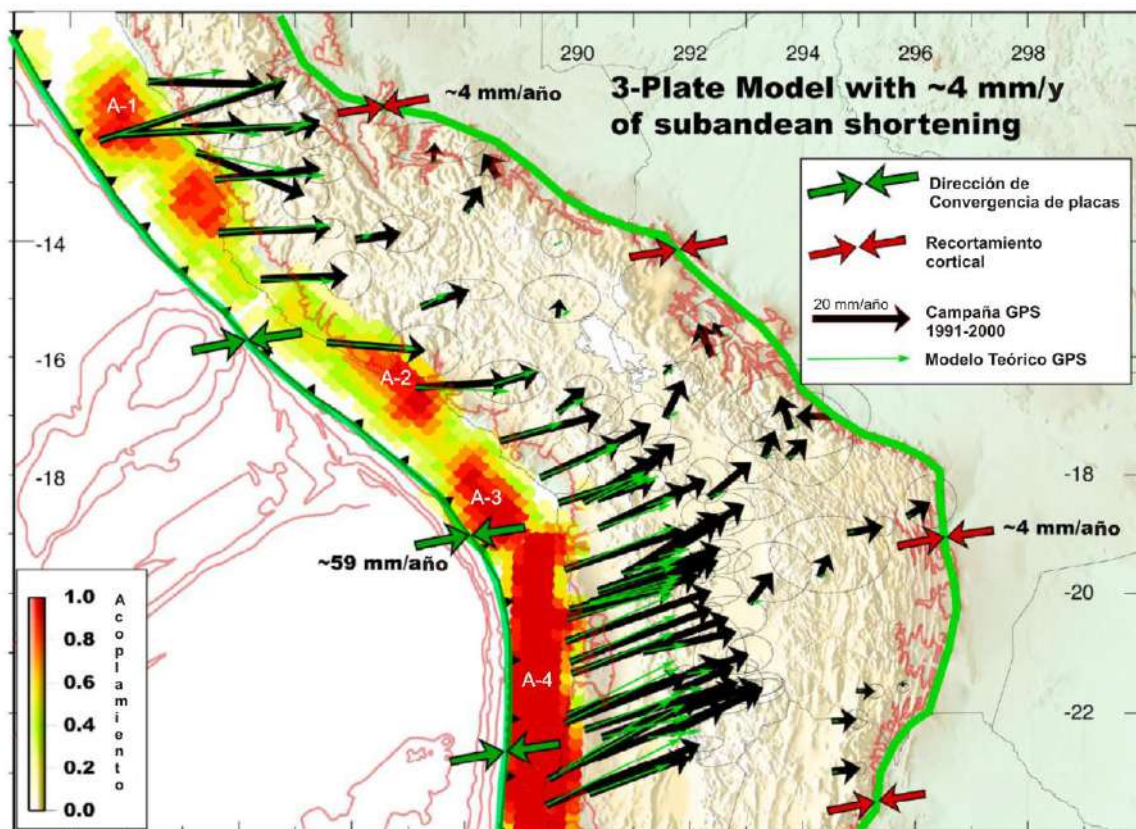


Figura 19: Mapa de asperezas y/o zonas de acoplamiento sísmico en el borde occidental de Perú-Chile obtenido a partir de datos de GPS y sísmicos. Las flechas negras corresponden a las medidas GPS in situ y las verdes a las obtenidas con el modelo teórico. La buena correlación sugiere la existencia de hasta cuatro asperezas (Chlieh et al, 2011).

## 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 Chancay se obtiene, para un periodo de retorno de 50 años con el 10% de excedencia, valores de aceleración entre 380 a 400 gals (Figura 20), 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, tal como ocurrió con el sismo de Lima del año 1966 (Silgado, 1978).

## 8.3.- Tsunamis

La información histórica sobre tsunamis ocurridos en la región central del Perú y que afectaron, en diferente grado, a las zonas costeras es bastante numerosa y puede ser consultada en Silgado (1978) y Carpio y Tavera (2002). En general, todos los sismos que generaron tsunamis presentaron magnitudes superiores a 7.0 Mw y llegaron a afectar toda la zona costera del departamento de Lima con olas de hasta 8 metros de altura. Según información histórica, los tsunamis inundaron las zonas de playa de Chancay sin producir mayores daños en razón que para los años de ocurrencia no se contaba con población cercana a la playa, situación que ha cambiado considerablemente al año 2016. A la fecha, en el extremo sur de la zona costera de Chancay se ha incrementado el número de fábricas y algunas viviendas a ambos extremos del Castillo de Chancay, situación que hace crítico cualquier escenario por tsunami

Para generar escenarios probables de tsunamis en la zona costera de la ciudad de Chancay, se considera la metodología de modelamiento numérico haciendo uso de la siguiente información:

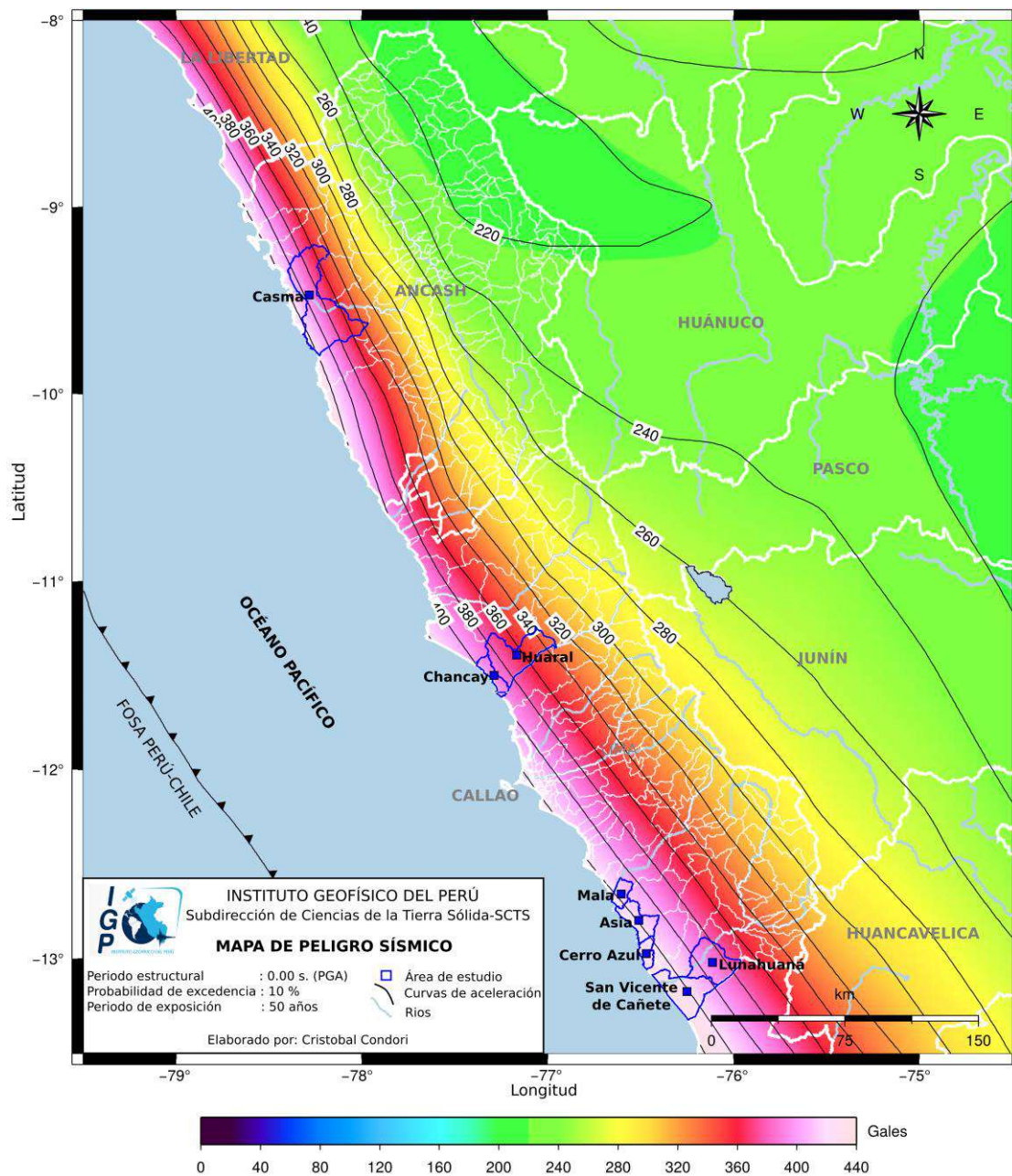


Figura 20: Peligro Sísmico para el borde occidental de la región central del Perú correspondiente a un periodo de retorno de 50 años con el 10% de excedencia.

- Datos topográficos y batimétricos: Los datos de batimetría local provienen de las cartas 222 y 223, además de sondajes realizados por la Dirección de Hidrografía de la Marina de Guerra del Perú (DHN), siendo su muestreo de 30 metros. La topografía local fue construida a partir del levantamiento topográfico in situ con una resolución de 10 metros.

*.- Modelo de fuente sísmica: Se considera como escenario un sismo de magnitud 8.5 Mw con epicentro frente a la zona costera de Chancay y sus parámetros, así como la orientación de la fuente sísmica, fueron tomados del sismo ocurrido en el año 1966 (sismo de Lima). Otros parámetros, como las dimensiones del área de ruptura fueron estimadas utilizando las relaciones de Papazachos (2004).*

*.- Modelado numérico de tsunamis, TUNAMI-N2: El proceso de modelado numérico requiere tener el conocimiento sobre los procesos físicos de las tres fases de un tsunami: generación, propagación e inundación. Para el modelado se utiliza el algoritmo TUNAMI-N2 (Goto y Ogawa, 1992). Para una determinada condición de la fuente sísmica, el modelo TUNAMI-N2 simula la generación, propagación e inundación del tsunami con una exactitud bastante alta (comparación con muchos tsunamis históricos). Así mismo, proporciona información sobre el tiempo de arribo de la primera ola y su altura en una determinada región costera, además de los niveles de inundación horizontal.*

Los resultados obtenidos en la simulación numérica del tsunami indican que las primeras olas llegarían en 22-24 minutos después de ocurrido el sismo y con alturas del orden de 7 metros en el puerto de Chancay, de 6 metros en las playas Chorrillos y Chancay, de 5 metros en la playa Chacra del Mar y de 4 metros, en la playa Cascajo (Figura 21).

En relación a los niveles de inundación, en la Figura 22 se observa que el tsunami alcanzaría distancias de 720 metros a la altura de los Humedales de Santa Rosa, de 550 metros a la altura de la playa Cascajo, y de 100 a 250 metros en las playas Chacra del Mar, Chancay y Chorrillos; además de la Bahía y el puerto de Chancay.

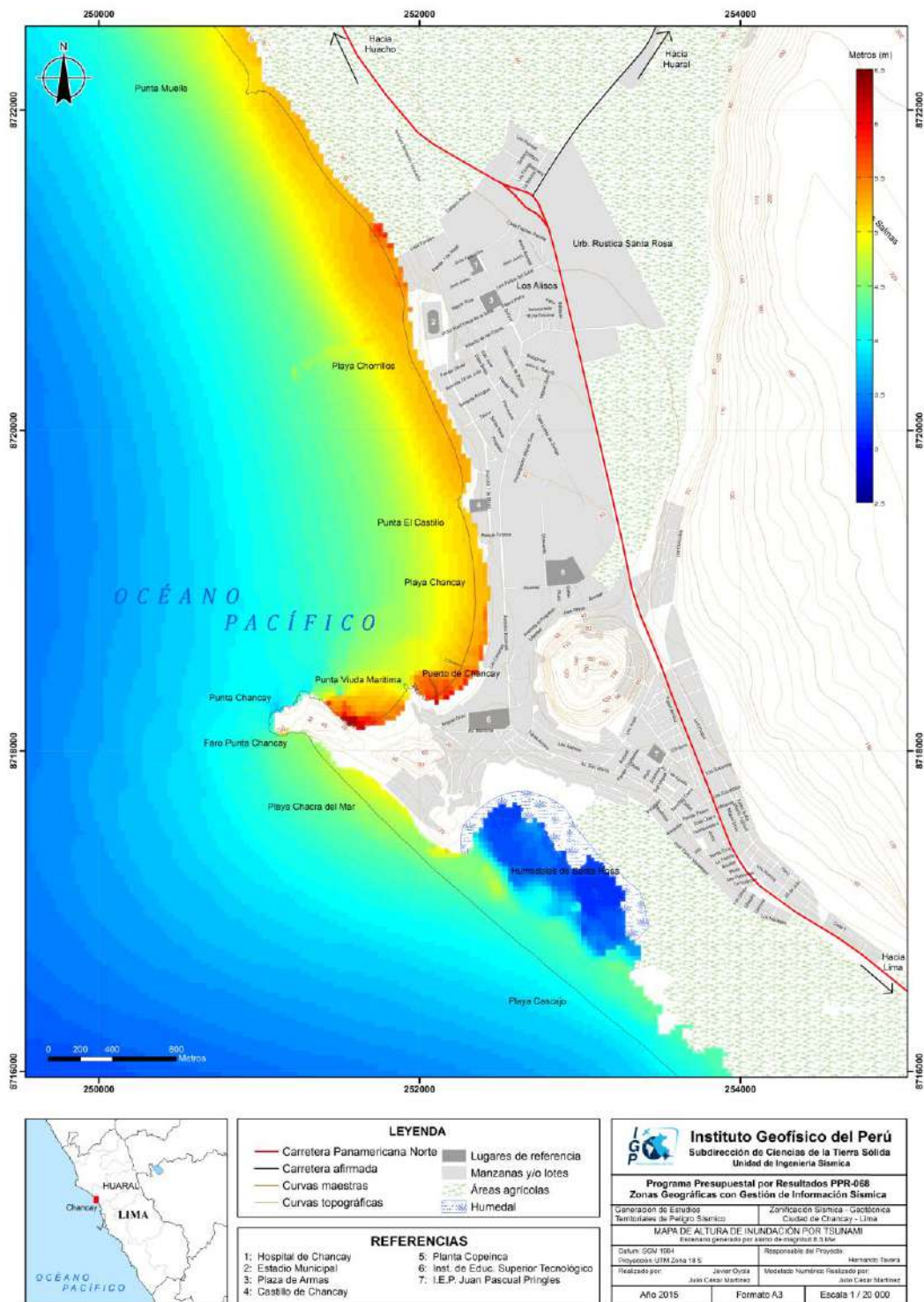


Figura 21: Altura de inundación por tsunami en la zona costera de la ciudad de Chancay

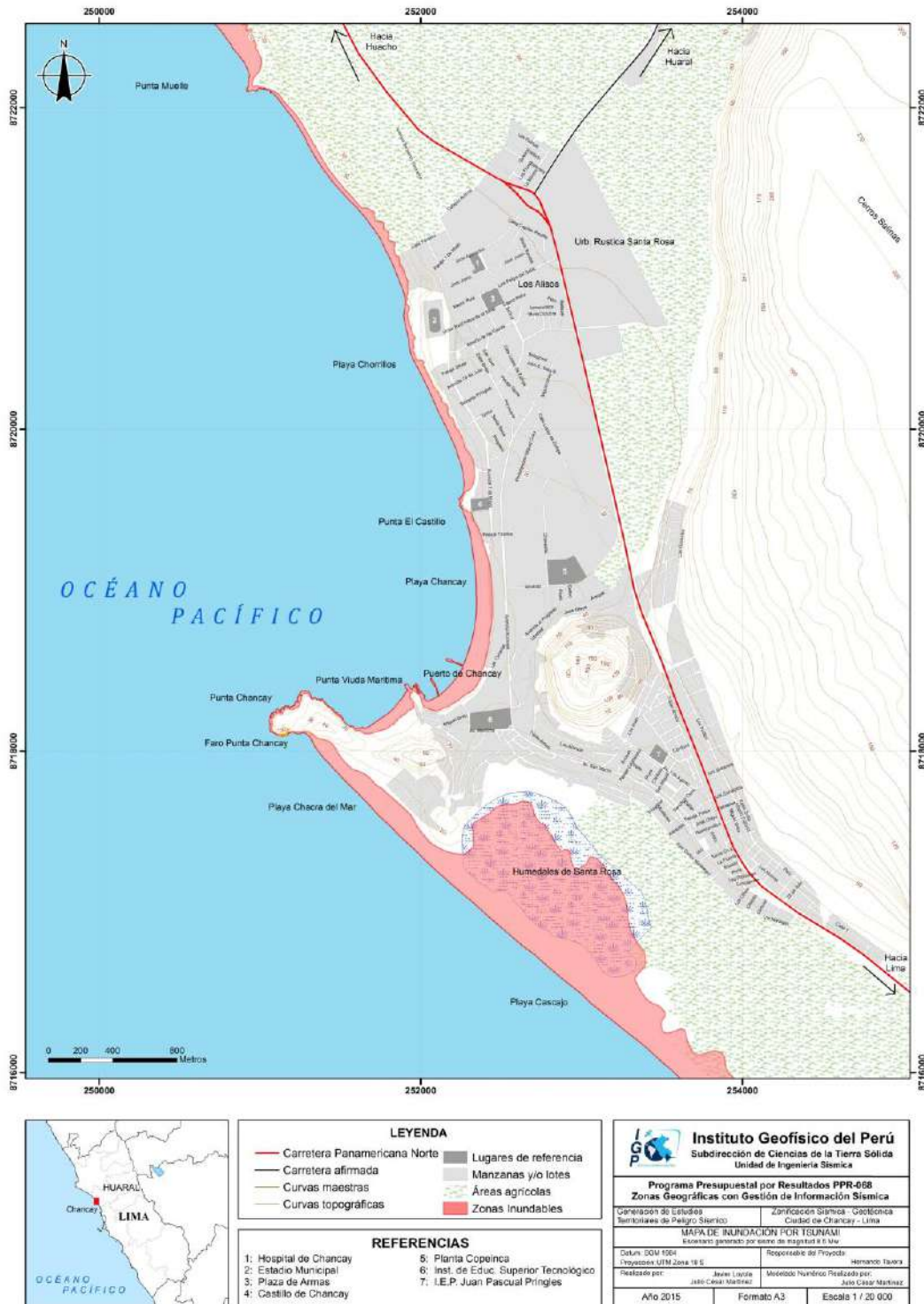


Figura 22: Inundación horizontal por tsunami en la zona costera de la ciudad de Chancay

## 9.- GEOMORFOLOGÍA, GEOLOGÍA Y GEODINÁMICA

### 9.1. Geomorfología

Los rasgos geomorfológicos presentes en la ciudad de Chancay 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 Chancay. El modelo digital del terreno (MDT), representa a una superficie en 3D construida para un área de 15 km<sup>2</sup>, y se concluye que la zona urbana de la ciudad de Chancay se asienta sobre una terraza aluvial con cotas que varían entre 15 y 45 msnm; mientras que, al sur y oeste se observan topografías con elevaciones que sobrepasan los 140 y 200 metros de desnivel con la zona urbana, cerros Trinidad y Los Álamos (Figura 23).

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 Chancay 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 Chancay se encuentra ubicada sobre terrenos cuyas pendientes van desde los 5° (centro urbano y zona industrial) hasta los 35° en Santa Rosa Sector Alto y Túpac Amaru (Figura 24).

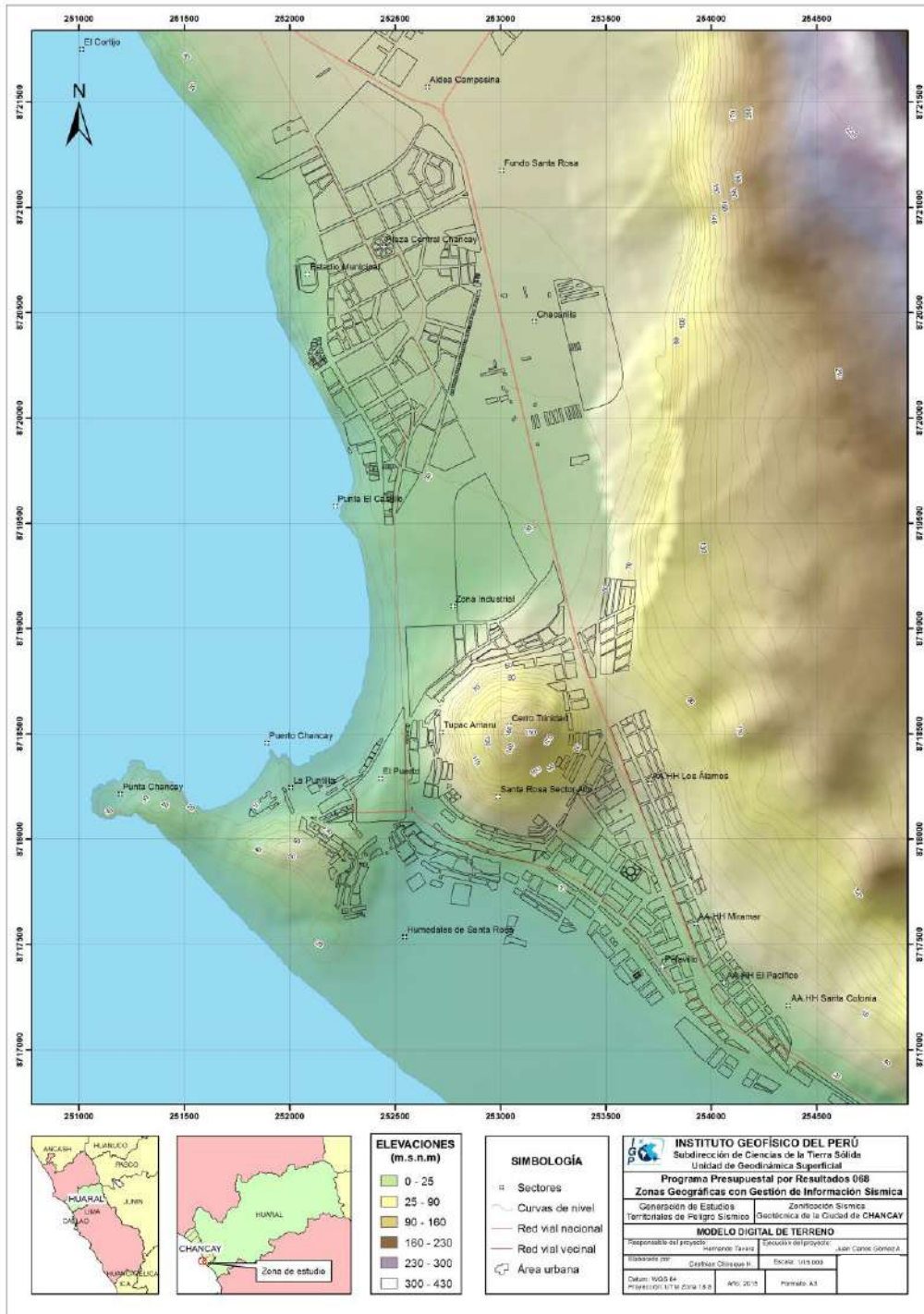


Figura 23: Mapa del modelo digital del terreno (MDT) para la ciudad de Chancay y alrededores

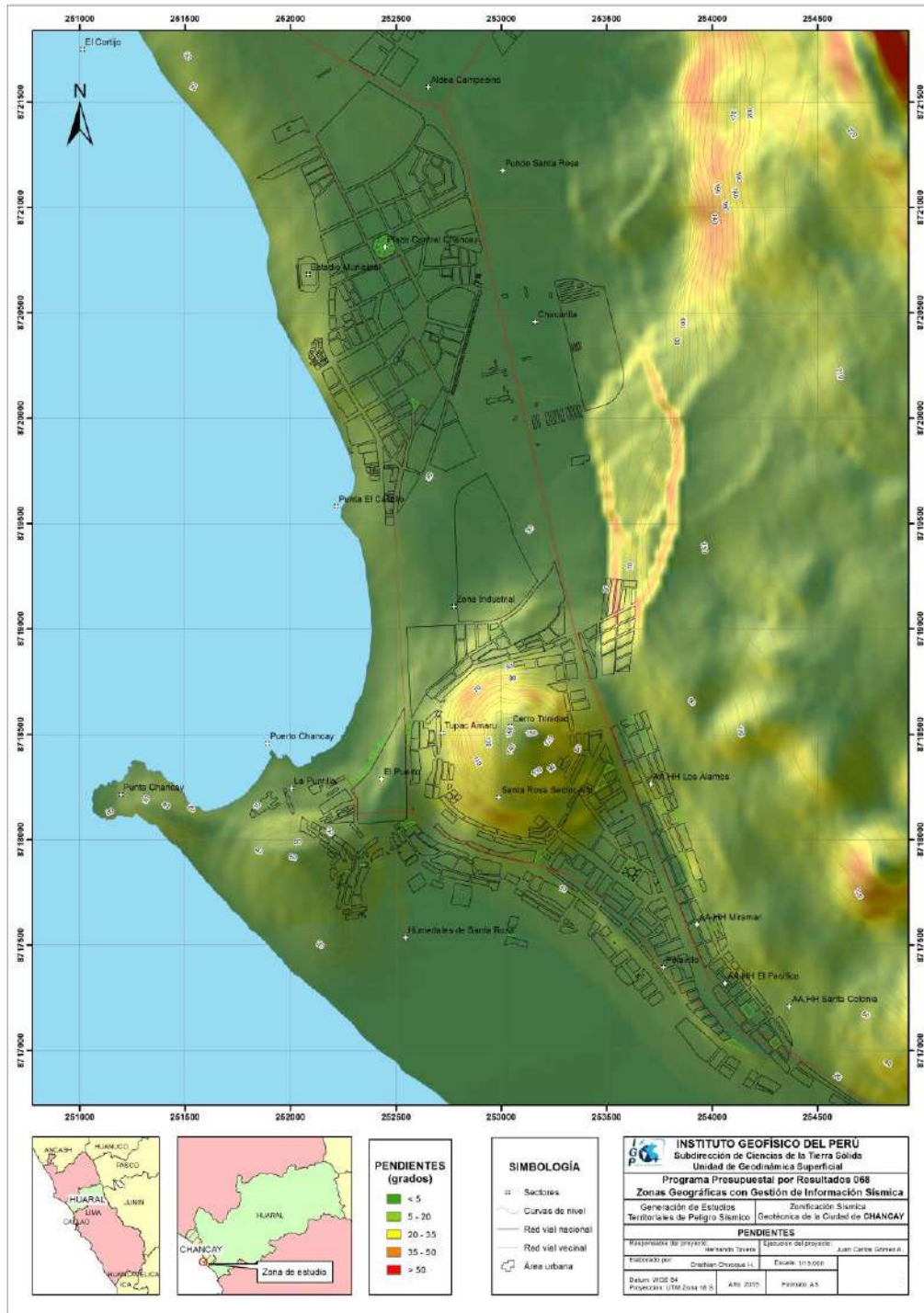


Figura 24: Mapa de pendientes para la ciudad de Chancay y alrededores

### 9.1.1. Unidades geomorfológicas

En el área sobre la cual se emplaza la ciudad de Chancay se ha identificado la existencia de 8 unidades geomorfológicas y sus principales características se describen a continuación (Figura 25):

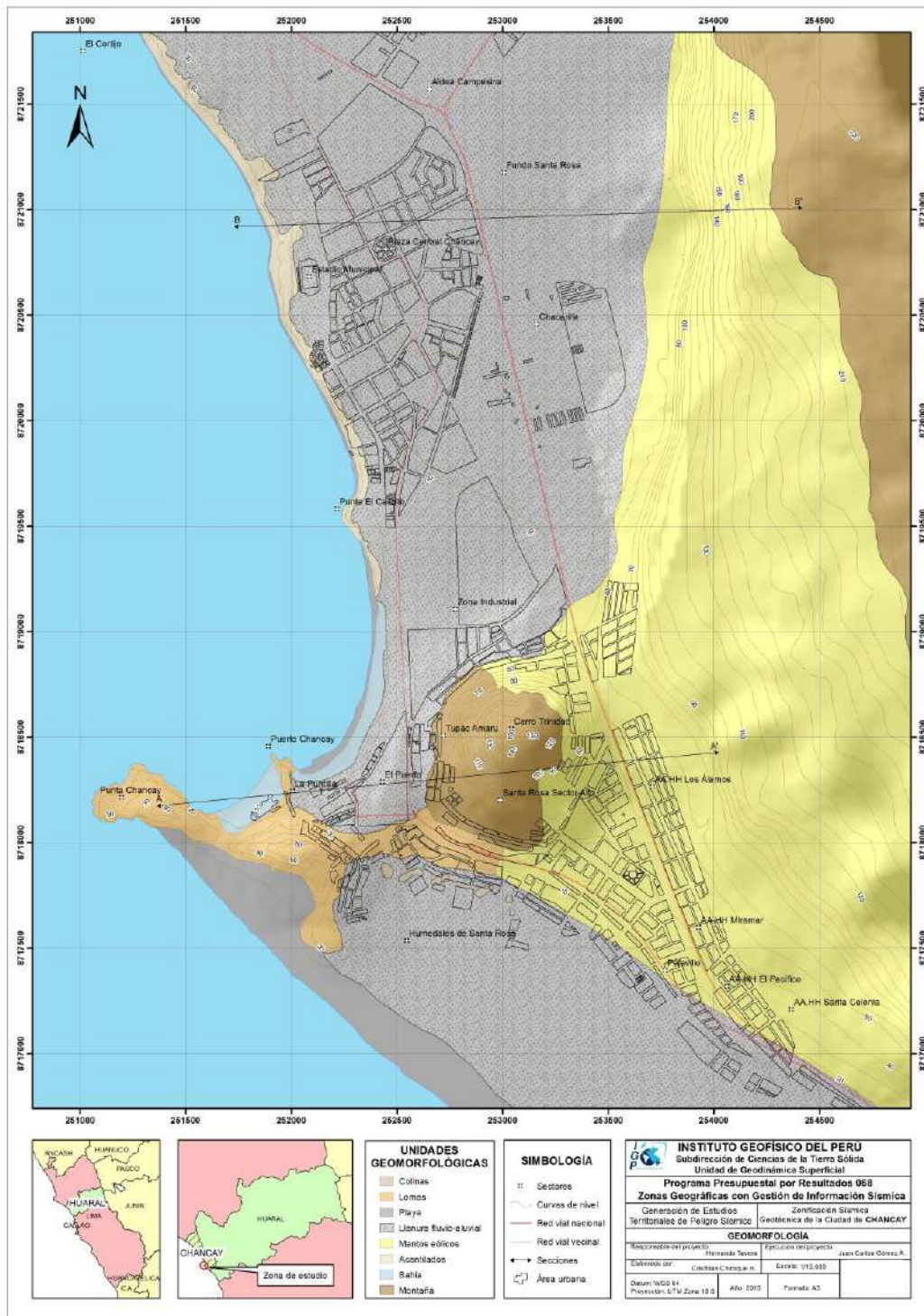


Figura 25: Mapa geomorfológico de la ciudad de Chancay y alrededores

### 9.1.1.1.- 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 Chancay se ha desarrollado el modelado de geformas como las colinas y lomadas ubicadas en el extremo sur del cerro Trinidad, y sus características se describen a continuación:

.- **Colinas:** Son elevaciones topográficas de altura intermedia con relieves que presentan pendientes menores a 25°. Se caracterizan por tener una configuración basal redondeada y vértices divergentes en todas las direcciones a partir de la cima o cumbre. Este tipo de geformas se observan en los alrededores de los humedales de Santa Rosa con alturas que no superan los 30 metros (Figuras 26 y 27).



Figura 26: En el sector de los Humedales de Santa Rosa se observa la presencia de colinas de cresta redondeada con alturas de hasta 25 metros.



Figura 27: En el sector de Santa Rosa, los cerros que rodean a los humedales tienen cubiertas compuestas por suelos areno-limosos; además, de escasa vegetación.

.- **Lomas:** Corresponden a elevaciones del terreno con cimas subredondeadas a planas y desniveles de terreno menores a 50 m y pendientes menores a 30°. Las lomas se caracterizan por presentar configuraciones basales alargadas y con dos vertientes que se inclinan en dirección opuesta, Figura 28. Esta unidad se encuentra distribuida entre el Sector Santa Rosa y La Punta Chancay.



Figura 28: Viviendas en el sector de Santa Rosa asentadas sobre lomas que se encuentran cubiertas por clastos y bloques sobre un basamento intensamente fracturado.

### 9.1.1.2.- Origen deposicional

Comprende geoformas resultantes de la deposición de fragmentos o sedimentos originados durante los procesos de erosión de rocas preexistentes y cuyos materiales han sido transportados y acumulados en áreas geográficas generalmente de baja pendiente. Entre las unidades geomorfológicas directamente relacionadas con la dinámica fluvial, eólica y marina se encuentran las siguientes:

*.- **Playa:** Corresponde a las superficies adyacentes al litoral costero con pendientes menores a 2°. Esta unidad se caracteriza por tener forma alargada y/o recta, estando constituida por depósitos marinos, fluviales o eólicos. En Chancay las playas ocupan una franja extensa de 30 km de longitud y hasta 40m de ancho, siendo en muchos casos interrumpida por la presencia de acantilados (Figura 19).*



Figura 29: En la ciudad de Chancay, las playas presentan depósitos de gravas redondeadas provenientes de los acantilados.

*.- **Llanura fluvio-aluvial:** La extensa llanura fluvio-aluvial ha sido formada por acción directa del río Chancay y por los procesos denudativos que erosionaron, transportaron y depositaron grandes volúmenes de sedimentos. El resultado de estos procesos ha dejado extensas áreas semiplanas con pendientes menores a 7°, consideradas en algunos casos como llanuras de inundación. En esta unidad*

los suelos están conformados por gravas redondeadas con arenas y limos, y abarca el 50% de la zona de estudio, Figura 30.



Figura 30: Llanura fluvio-aluvial ocupada en un 60% de su superficie por viviendas, colegios y postas médicas.

.- **Mantos eólicos:** La principal actividad eólica se produce en los sectores Pelavillo y San Rosa, zonas en donde existen mantos extensos de arena de grano fino y para los cuales no se conocen sus espesores (Figuras 31 y 32).



Figura 31: Los cerros Trinidad y Salinas ubicados al Sur y Este de la zona urbana de Chancay respectivamente. Estos cerros actúan como barreras naturales ante la dinámica eólica.

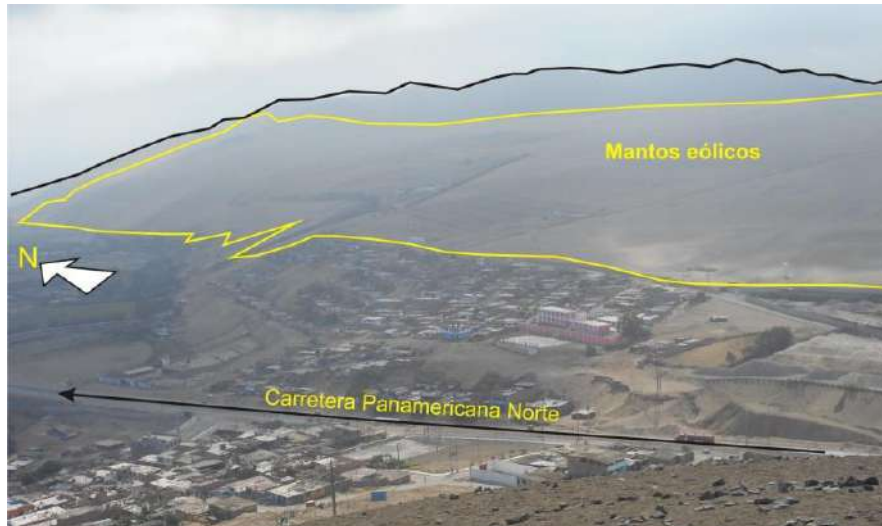


Figura 32: Parte baja y media del cerro Salinas conformadas por extensos mantos de arena sobre la cual se asientan las viviendas del AAHH Los Álamos.

### 9.1.1.3.- Origen marino

Los cambios en el nivel del mar se manifiestan a través del oleaje, proceso que se encarga de modelar los márgenes del litoral (costa). Los materiales que conforman estos márgenes están sujetos a erosión y por ende son desplazados por las mismas corrientes marinas, modificando el límite costero y formándose las bahías y acantilados con las siguientes características:

.- **Acantilados:** Corresponde a geoformas abruptas que limitan las costas, por tanto forman una marcada transición entre el continente y el mar (Figura 33). Los acantilados reciben constantemente la acción erosiva del oleaje y la actividad antrópica.



Figura 33: Los acantilados de la ciudad de Chancay están conformados rocas volcánicas con pendientes mayores a 35°

.- **Acantilados:** Definen superficies planas formadas por erosión marina en la zona costera asumiendo formas cóncavas o semicirculares generadas por el oleaje del mar hacia el continente. En la ciudad de Chancay estas geoformas estacionarias alcanzan longitudes de 600 m y ocupan solo el 2% del área (Figura 34).



Figura 34: La Bahía de Chancay se extiende aproximadamente sobre una longitud de 1000m, para luego ser interrumpida por un afloramiento volcánico sedimentario

#### 9.1.1.4.- Origen tectónico

Corresponden a geoformas formadas por la combinación de procesos endógenos (internos) y exógenos (externos), los cuales crean cambios significativos sobre la superficie terrestre. Sin la presencia de fuerzas internas, la tierra tendría una superficie uniforme sin relieve, pero es el tectonismo el encargado de desarrollar las geoformas más relevantes (Gutiérrez, 2008). En general estas geoformas están sometidas a procesos de erosión, denudación y meteorización que provocan el desgaste de las mismas. En la ciudad de Chancay se han reconocido como parte de este proceso a las montañas.

.- **Montañas:** Son geoformas que no superan los 600 m de altitud y se encuentran al sur y al oeste de la zona urbana de la ciudad. Una de estas montañas es el cerro Trinidad y sobre ella se encuentra el AA.HH. Los Álamos, principalmente sobre la superficie con pendientes menores a 38° grados, las mismas que se encuentran cubiertas por materiales detríticos conformados por clastos, gravas angulosas y material eólico (Figura 35).



Foto 35: El cerro Trinidad se encuentra al sur del centro urbano de Chancay, las laderas presentan pendientes menores a  $38^\circ$

## 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 Chancay.

### 9.2.1- Geología regional

Para describir las principales unidades geológicas, se tomó como base la información regional descrita por Palacios et al, (1992) a escala 1/100000. Estos autores describen las unidades aflorantes en las inmediaciones de la zona de estudio y que consisten en rocas de edades entre el Cretáceo Inferior hasta el Cuaternario Reciente, y en general conformadas por lutitas con niveles tobácepos, calizas y andesitas (Figura 36).

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS		
CENOZOICO	CUATERNARIO	Holoceno	Dep. Eólicos	Qh-e	
			Dep. Marinos	Qh-m	
		Pleistoceno	Dep. Marinos antiguos	Qpl-m	
			Dep. Aluviales antiguos	Qpl-at	
			Dep. Eólicos antiguos	Qpl-e	
MESOZOICO	CRETACEO	Medio Superior	Grupo. Casma	Volc. Quilmaná	Kms-q
				Volc. Huarangal	Kim-h
				F. Atocongo	Ki-at
		Inferior		F. Pamplona	Ki-pa

Figura 36: Columna cronolitoestratigráfica de las unidades aflorantes en la zona de estudio

### 9.2.2- Geología local

In situ, se procedió con el reconocimiento y cartografiado de las unidades litológicas aflorantes en la ciudad de Chancay a escala 1:15,000, sobre un área de 15 km<sup>2</sup> aproximadamente (Figura 37). A continuación se describen las principales características de estas unidades estratigráficas.

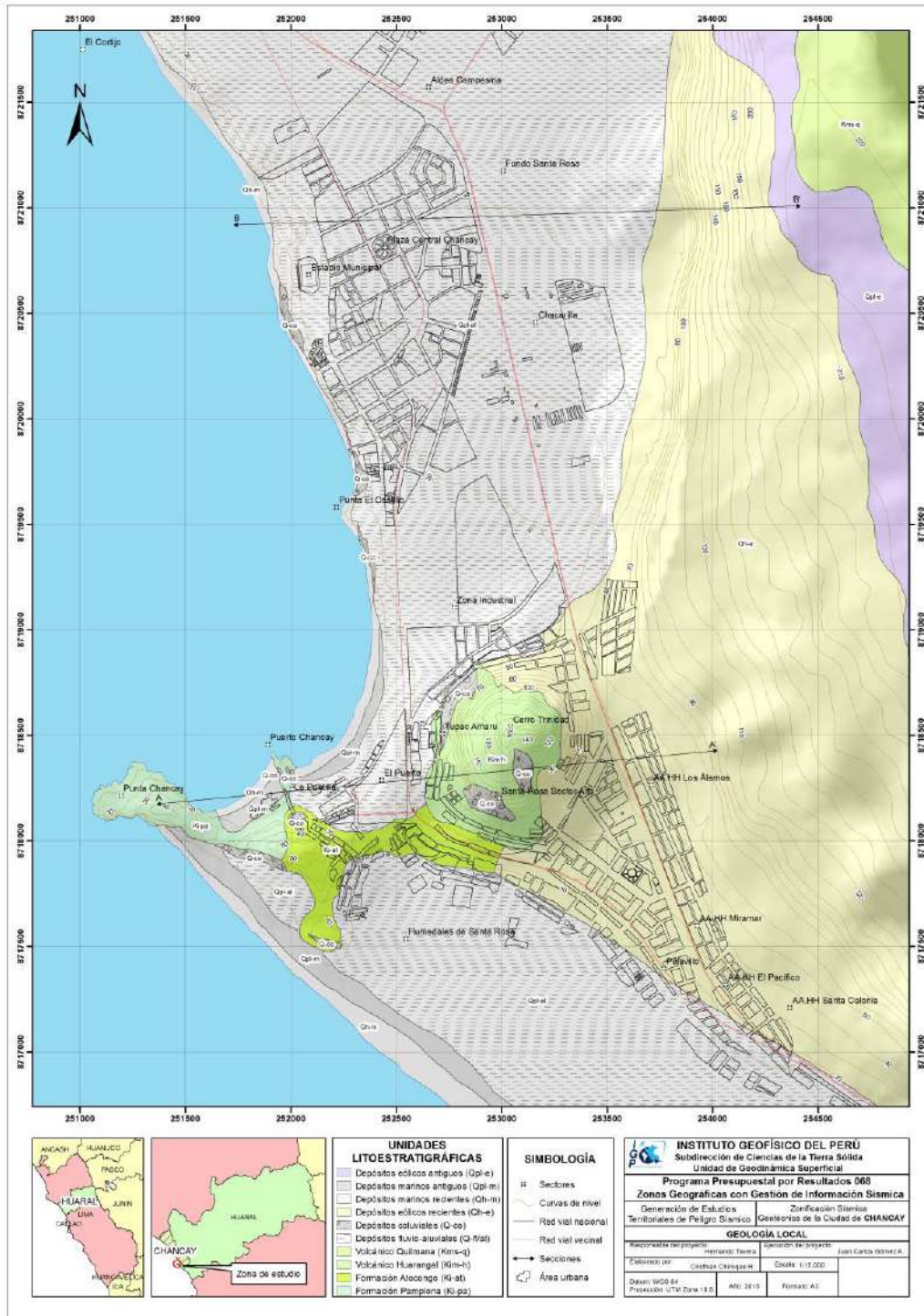


Figura 37: Mapa geológico local de la ciudad de Chancay y alrededores

**Formación Pamplona (Ki-pa):** Constituida por calizas grises con intercalaciones de lutitas y limolitas de color amarillo rojizo. En algunos sectores se observan niveles tobáceos y margas gris verdosas con características litológicas que permiten se comporten como una unidad plástica. Durante los trabajos de campo se ha observado microplegues de arrastre y estructuras de sobre carga, además de esquistosidad de fractura. Esta formación también presenta calizas con estratificación delgada que al oxidarse dan coloraciones rojizas, intercaladas con lutitas gris verdosas. Este tipo de afloramientos han sido identificados en el sector La Puntilla y La Punta Chancay, ambos ubicados a 2.5 km de la Plaza central de Chancay (Figuras 38 y 39).



Figura 38: En el sector de La Punta se han cartografiado la presencia de estratos de calizas rojizas intercaladas con lutitas



Figura 39: Los planos de estratificación de las calizas se encuentran intensamente diaclasadas y erosionadas debido a la acción del oleaje

.- **Formación Atocongo (Ki-at):** Esta formación presenta un contacto normal y gradacional con la Formación Pamplona. En la zona de estudio se encuentra entre el sector La Punta y el Cerro Trinidad al sur de la zona urbana de la ciudad de Chancay (Figura 40). La litología característica en la zona de estudio para dicha formación está conformada por:

- Calizas margosas en capas de 5 a 10 cm finamente laminadas.
- Calizas gris plomizas en capas de 10 a 30 cm en estratos gruesos y masivos.
- Calizas metamórficas con tonalitas oscuras.



Figura 40: En un corte de talud se aprecian calizas margosas en contacto con tonalitas oscuras bien compactas

.- **Grupo Casma:** Este grupo marca regionalmente el inicio del ciclo sedimentario-volcánico, el cual se encuentra ampliamente desarrollado al norte de Lima. En la zona de estudio se reconocieron afloramientos rocosos correspondientes al Volcánico Huarangal y Quilmaná.

**Volcánico Huarangal (Kim-h):** La secuencia típica del volcánico Huarangal se caracteriza por estar conformada por andesitas piroclásticas, lavas dacíticas gris verdosas (Figura 41). Este tipo de litología constituyen a las montañas (cerro Trinidad) y su edad ha sido relacionada a la Formación Atocongo por su posición concordante con ésta.



Figura 41: Andesitas diaclasadas y meteorizadas del volcánico Huarangal que afloran en el cerro Trinidad

**Volcánico Quilmaná (Kms-q):** Está constituido por derrames andesíticos masivos poco estratificados, de textura porfírica de color gris a gris verdoso, Figura 42. A lo largo de su desarrollo, del Batolito, ha sido metamorfozando formándose meta andesitas de color oscuro con partes silicificadas.



Foto 42: Andesitas masivas observadas en el AA.HH 28 de Julio cubiertas por mantos de arena fina

.- **Depósitos cuaternarios:** Suprayaciendo al substrato rocoso conformado por rocas volcánicas, se encuentran los depósitos Cuaternarios de edad Holocena, principalmente de origen volcánico, eólico, coluvial, fluvial, aluvial, etc. Las características de estos materiales se describen a continuación:

**Depósitos eólicos antiguos (Qpl-e):** Este tipo de depósitos están conformados por extensas acumulaciones de arena que en la actualidad se

encuentran estabilizados y conformando colinas, lomas y extensos mantos eólicos. Probablemente, estas arenas presentaron estructuras tipo dunas, las cuales desaparecieron debido al proceso de estabilización. Las superficies se caracterizan por presentar un modelado suave con coloraciones beige y blanquecinas, Figuras 43 y 44.



Figura 43: En el sector 28 de Julio se observa la presencia de grandes bancos de arena semicompactos y estables con espesores de hasta 3 metros



Figura 44: En el sector norte de 28 de Julio, los bancos de arena están siendo ocupados por los pobladores para construcción de viviendas

**Depósitos marinos antiguos (Qpl-m);** Son materiales pleistocenos formados como resultado de la abrasión marina, dando origen a las terrazas marinas. En Chancay el levantamiento de la costa debido a movimientos verticales, ha expuesto en superficie estos depósitos conformados por areniscas de grano medio de color gris con restos fragmentados de conchuelas y gravas subredondeadas, Figura 45.



Figura 45: Los materiales que conforman este tipo de depósitos se encuentran bien cementados y en contacto con los depósitos fluvio-aluviales que constituyen los acantilados de Chancay

**Depósitos marinos recientes (Qh-m):** Estos depósitos están conformados por arenas de grano fino a medio de color amarillo a gris oscuro, debido al contenido de cuarzos, micas, ferromagnesianos y escasa proporción de limos, Figura 46. Estos depósitos son acumulaciones de materiales re trabajados y distribuidos por corrientes a los largo del borde litoral, producto de la erosión y disgregación de las rocas que constituyen los acantilados de la ciudad de Chancay.



Figura 46: Depósitos marinos recientes formados por arenas sobre una franja de 40 a 60 m de ancho

**Depósitos eólicos recientes (Qh-e):** Están conformados por arenas finas distribuidas en los sectores Santa Rosa, Pelavillo y cerro Salinas (Figura 47). La fuente principal de estas arenas es la playa, movilizadas por vientos

procedentes del mar al continente con dirección S-SO. En la zona de estudio solo se ha identificado la presencia de colinas en el sector de Los Humedales, algunos de estos con cubiertas de arenas finas.



Figura 47: Laderas del cerro Salinas cerca al sector 28 de Julio, las mismas que presentan una cubierta eólica activa y superficie puesta en evidencia por la presencia de rizaduras sobre las arenas

**Depósitos coluviales (Q-co):** Son materiales que se encuentran distribuidos en algunos sectores de la playa, están conformados por gravas redondeadas producto de la erosión y acción de la gravedad, para luego ser transportados por el agua (Figura 48). En el sector La Punta Chancay, los cerros están cubiertos por gravas y clastos angulosos debido a que la roca se encuentra intensamente diaclasada (Figura 49).



Figura 48. Los materiales conformados principalmente por gravas se han desprendido debido al factor antrópico, construcción de viviendas en el borde del acantilado



Figura 49: El AA.HH. La Punta se asienta sobre rocas fracturadas con materiales coluviales

**Depósitos fluvio-aluviales (Q-fl/al):** Los materiales que conforman el valle de la ciudad de Chancay están constituidos por gravas y limos que han sido transportados por la dinámica y evolución del curso y cauce actual del río Chancay-Huaral. La importancia de este tipo de depósitos es que constituyen el acuífero que abastece del recurso hídrico al valle, siendo el soporte de la actividad agricultura en la zona (Figura 50). Los depósitos aluviales están conformados por conglomerados, conteniendo gravas de diferente tipo y tamaño, de origen intrusivo y volcánico, la matriz está constituida por arenas de diferente granulometría y en menor porcentaje por limos y arcillas.



Figura 50: El 80% de las viviendas e infraestructura se asientan sobre este tipo de materiales de origen fluvio-aluvial

### 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.*

La geodinámica interna y externa presente en la zona de estudio (ver Anexos), es la responsable de modelar la superficie, creando geoformas que han sido objeto de estudio en capítulos anteriores. A continuación, se analiza los procesos dinámicos que se desarrollan en la ciudad de Chancay (Figura 51).

#### 9.3.1.- Movimientos en masa

Son movimientos que por efecto de la gravedad, ladera abajo, trasladan laderas abajo, rocas, detritos o tierras (Cruden, 1991). Para proceder a la clasificación de los movimientos en masa en la ciudad de Chancay, se hace uso de las tablas propuestas por Varnes (1958, 1978) y Hutchinson (1968, 1988). Estas tablas tienen en cuenta el tipo de movimiento y el tipo de material. En cuanto al primero, se

considera 5 clases: caídas, volcamientos, deslizamientos, flujos y propagación lateral. Dentro de los materiales se consideran: rocas y suelos, estos últimos subdivididos en detritos y tierras. El trabajo de campo realizado en la ciudad de Chancay y alrededores, ha permitido identificar procesos de caída de rocas, siendo sus características las siguientes:



Figura 51: Mapa geodinámico local para la ciudad de Chancay y alrededores

**.- Caídas de rocas:** En este tipo de eventos, los clastos o fragmentos de rocas preexistentes se desprenden de una ladera, como resultado de procesos de erosión y meteorización, ya sea de origen natural o antrópico. Estos movimientos en masa, se observan en el flanco oeste y sur del cerro Trinidad y en el sector denominado La Puntilla ubicados a 2.3 y 2.7 km al suroeste de la plaza central de Chancay respectivamente, Figuras 52, 53 y 54.



Figura 52: Cerro Trinidad, sector La Punta, con flancos que presentan pendientes superiores a 60°. Los materiales que se desprenden se depositan en el límite con la playa



Figura 53: El lado oeste del cerro Trinidad, sector Túpac Amaru, es afectado por caída de rocas



*Figura 54: En el sector denominado La Puntilla se observa la presencia de clastos y gravas angulosas que han caído de las partes altas*

## 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 Chancay se recolectó información según las siguientes técnicas:

**.- Exploraciones a cielo abierto** (calicatas, Norma ASTM D420): En la ciudad de Chancay se construyeron 8 calicatas (Tabla 1 y Figura 55), siendo la profundidad máxima de observación del orden de 3.3 metros y la mínima de 1.9 metros (ver Anexos) debido al material mayormente arenoso, las paredes de la excavación tenían escasa estabilidad lo cual no permitía seguir profundizando la calicata.

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 A (m)
CHA-01	252469	8721623	55	3.00	N.P.
CHA-02	252138	8720755	40	3.00	N.P.
CHA-03	253213	8720862	50	3.10	N.P.
CHA-04	252558	8719381	25	3.20	N.P.
CHA-05	253227	8719607	35	3.30	N.P.
CHA-06	253399	8718046	30	1.90	N.P.
CHA-07	254059	8723135	45	3.10	2.20
CHA-08	254542	8723056	50	2.00	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.

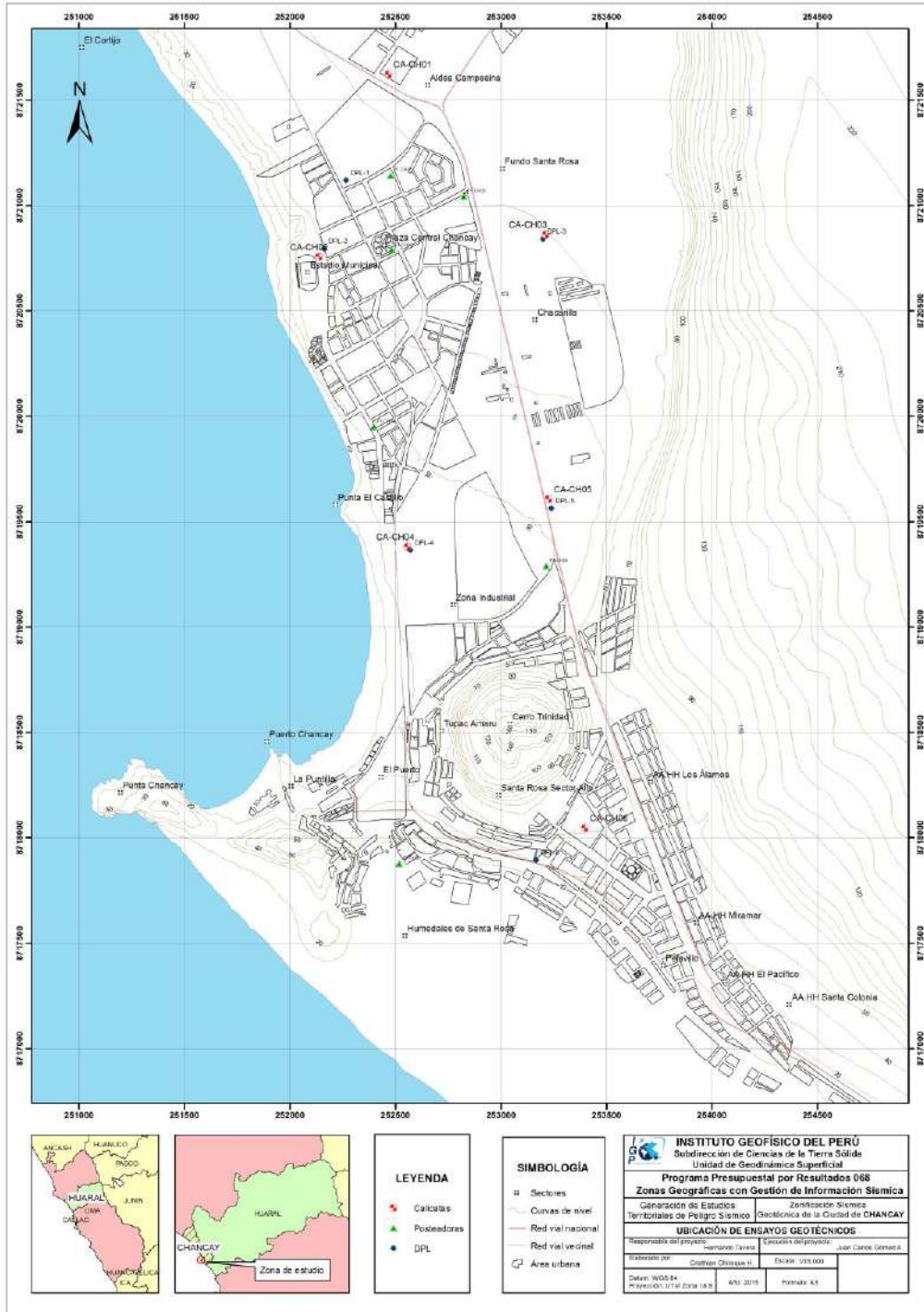


Figura 55: Mapa de ubicación de calicatas y posteos de suelos en la ciudad de Chancay

Tabla 2: Valores de densidades de suelo in situ obtenidas para la ciudad de Chancay

CALICATA	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	DENSIDAD HUMEDA (gr/cm <sup>3</sup> )	DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )
CHA-01	DC-CHA-01	3.00	1.98	1.95
CHA-02	DC-CHA-02	3.00	2.12	1.96
CHA-03	DC-CHA-03	3.10	1.65	1.95
CHA-04	DC-CHA-04	3.20	1.60	1.84
CHA-05	DC-CHA-05	3.30	1.50	1.95
CHA-06	DC-CHA-06	1.90	1.71	1.95
CHA-07	DC-CHA-07	3.10	1.69	1.95
CHA-08	DC-CHA-08	2.00	1.65	1.86

**- 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 1.00 metro en la zona de Los Humedales y la mínima del orden de 0.20 cm (ver Anexos), debido principalmente a que los suelos están constituidos por gravas arenosas. 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 Chancay.

Tabla 3: Coordenadas UTM para la identificación de los posteos en la ciudad de Chancay

POSTEO	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	PROFUNDIDAD (m)	TIPOS DE SUELOS (SUCS)	NIVEL FREÁTICO A (m)
POST-CH01	252478	8721142	47	0.40	SM	N.P.
POST-CH02	252481	8720789	42	0.20	SP	N.P.
POST-CH03	252825	8721042	50	0.50	SM	N.P.
POST-CH04	252397	8719947	29	0.30	SM	N.P.
POST-CH05	253215	8719289	30	0.30	SM	N.P.
POST-CH06	252519	8717877	7	1.00	SM	1.00
POST-CH07	254410	8723234	50	0.30	SM	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 Chancay (Tabla 4). Estos ensayos se realizaron hasta una profundidad máxima de 2.56 metros y mínima de 0.17 metros debido a que los suelos están conformados por gravas que presentan ángulos de fricción de 36° y 39° en promedio, característicos de suelos granulares de consistencia alta (ver Anexos).

La correlación de estos datos con los obtenidos con DPL muestran la presencia de suelos de mayor resistencia formados por gravas con ángulos de fricción por encima de  $36^\circ$ , los cuales abarcan gran parte de la zona urbana de la ciudad de Chancay.

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

DPL	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.n.s.m)	PROFUNDIDAD (m)	NÚMERO DE GOLPES	$\phi$
DPL-01	252478	8721652	44	0.17	40	38.5
DPL-02	252163	8720795	40	0.30	38	38
DPL-03	253199	8720840	50	0.12	45	39.7
DPL-04	252572	8719364	22	1.00	37	37.7
DPL-05	253239	8719562	30	1.36	30	36
DPL-06	253167	8717893	20	2.56	35	37.3
DPL-07	254060	8723146	48	2.09	43	39.2

Dónde:  $\phi$  = 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 Chancay. Se ha identificado la existencia de 6 tipos de suelos cuyas características se describen a continuación (Figura 56 y Tabla 5):

*.- Suelos tipo GP: Estos suelos están conformados por gravas arenosas mal gradadas. Su contenido de humedad es menor a 3%, su permeabilidad es de media a alta, son suelos compactos que no presentan plasticidad. Su capacidad de carga admisible fluctúa entre 4.34 y 4.61 Kg/cm<sup>2</sup>, los materiales granulares sobrepasan el 40% en promedio; mientras que, los finos no superan el 20%. Los suelos conformados por paquetes de gravas ocupan el 50 % del área de estudio. Este tipo de suelos han sido identificados en la mayor parte de la zona urbana de Chancay (Calicatas: CH-1, CH-2, CH-3, CH-4 y CH-5) y en los sectores de Zona Industrial, Punta Castillo, Chacarilla, Fundo Santa Rosa, Estadio Municipal, Plaza central y Aldea Campesina.*

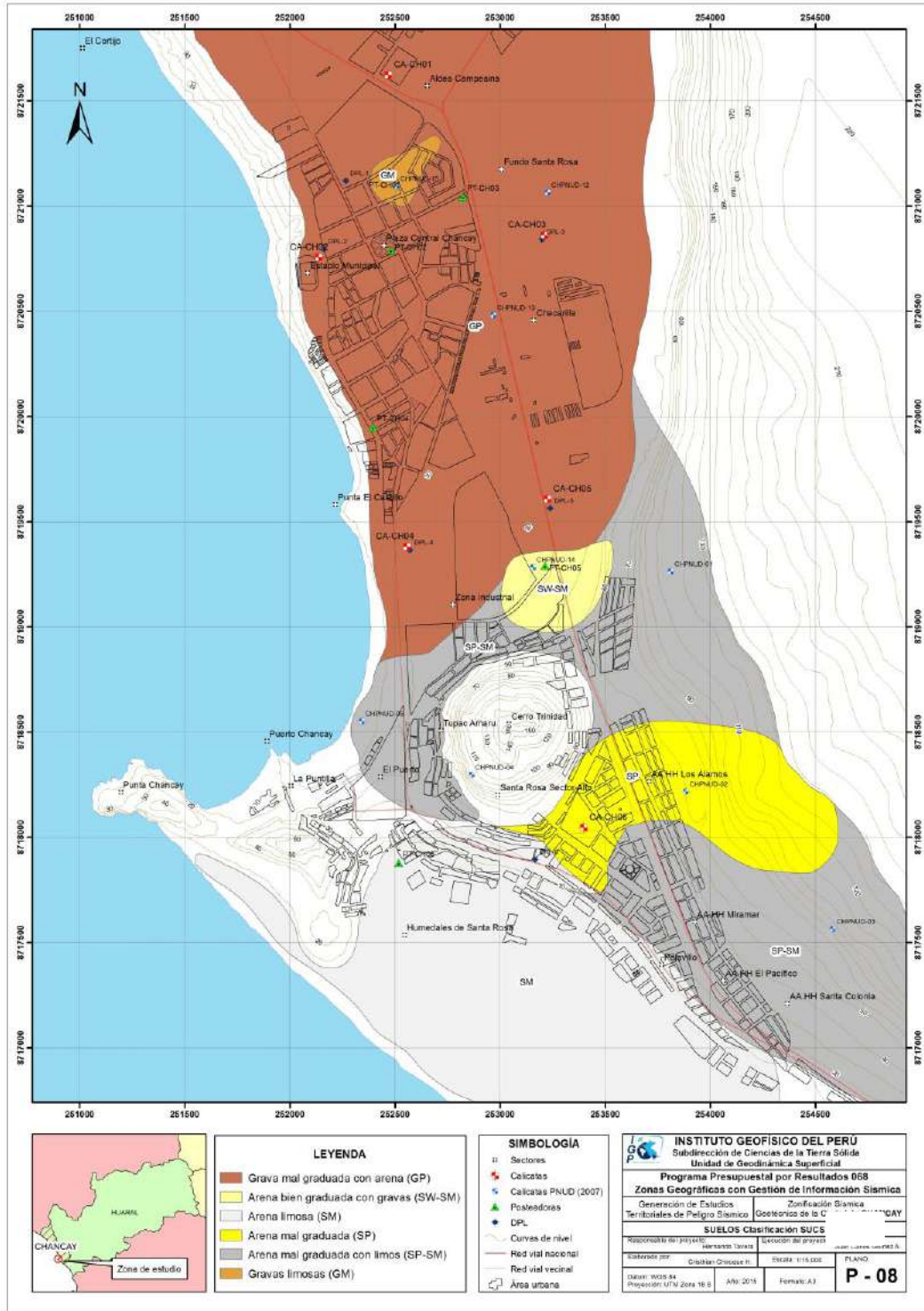


Figura 56: Mapa de clasificación SUCS de suelos en la ciudad de Chancay

Tabla 5: Valores obtenidos en la clasificación de suelos en la ciudad de Chancay

CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO (m)	GRAVAS % (>4.76 mm)	ARENAS % (>0.074 mm, <4.76 mm)	FIOS % (<0.074 mm)	LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	CLASIFICACIÓN SUCS	DENOMINACIÓN
CHA -01	3.00	N.P.	80	19	1	N.P.	N.P.	N.P.	1.94	GP	Grava pobremente graduada
CHA -02	3.00	N.P.	78	19	3	N.P.	N.P.	N.P.	2.20	GP	Grava pobremente graduada
CHA -03	3.10	N.P.	78	20	2	N.P.	N.P.	N.P.	3.96	GP	Grava pobremente graduada
CHA -04	3.20	N.P.	76	22	2	N.P.	N.P.	N.P.	0.42	GP	Grava pobremente graduada
CHA -05	3.30	N.P.	75	22	3	N.P.	N.P.	N.P.	1.77	GP	Grava pobremente graduada
CHA -06	1.90	N.P.	12	83	5	N.P.	N.P.	N.P.	2.22	SP	Arena fina limosa
CHA -07	3.10	2.20	69	27	4	N.P.	N.P.	N.P.	2.54	GW	Grava bien graduada
CHA -08	2.00	N.P.	17	80	3	N.P.	N.P.	N.P.	0.38	SW	Arena bien graduada

*.- Suelos tipo SW-SM: Están conformados por arenas bien graduadas con presencia de gravas, el contenido de humedad no supera el 3%, por lo que se consideran materiales con permeabilidad moderada. Estos suelos se presentan inconsolidados o sueltos, sin plasticidad. Su capacidad de carga es menor a 2 Kg/cm<sup>2</sup>. Estos suelos abarcan el 5% de la zona urbana de la ciudad y han sido identificados en el Posteo Post-05, cerca de la carretera Panamericana.*

*.- Suelos tipo SM: Están conformados por arenas limosas. Su contenido de humedad es menor a 1%, constituyen suelos con grado de compactación bajo, no presentan plasticidad. Estos suelos representan el 15% del área de Chancay identificados con el posteo 06 (PT-06), en la zona de los Humedales de Santa Rosa y Pelavillo. Se tomó datos del estudio de PNUD (2007).*

*.- Suelos tipo SP: Este tipo de suelos están conformados por arenas mal graduadas y contenido de humedad menor a 1%, constituyen suelos con grado de compactación medio abajo y no presentan plasticidad. Estos suelos representan el 10 % de la zona de estudio identificado en la calicata 06 (CH-06). En la zonificación realizada por PNUD (2007), se identifican este tipo de suelos en la calicata 02 (CHPNUD-02). Los sectores Santa Rosa y AA.HH Los Álamos se asientan sobre este tipo de suelos.*

*.- Suelos tipo SP-SM: Estos suelos están conformados por arenas mal graduadas con bajo contenido de limos, el contenido de humedad es menor a 3%, constituyen suelos con grado de compactación medio a abajo, no presentan plasticidad. Estos suelos representan el 15 % de la zona de estudio. Se han tomado datos del estudio de PNUD (2007) para delimitar este tipo de suelos. Se extienden en los sectores El Puerto, Túpac Amaru, Miramar, AA.HH El Pacífico y Sarita Colonia.*

*.- Suelos tipo GM: Están conformados por gravas con contenidos bajos de limos y arenas, el porcentaje de humedad es menor a 2%, constituyen suelos con grado de compactación medio, no presentan plasticidad. Estos suelos representan el 5% de la zona de estudio. Se han tomado datos del estudio de PNUD (2007) para delimitar este tipo de suelos. Se encuentran a 350 m de la Plaza Central de Chancay.*

## 10.2.- 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 ocho (8) muestras extraídas de campo se muestran en la Tabla 6. Los resultados obtenidos muestran que los suelos de la zona urbana de Chancay no presentan cohesión; mientras que, los ángulos de fricción interna superan los  $36^\circ$ , característico de suelos granulares conformados por gravas.

Tabla 6: Resultados del ensayo de corte directo

MUESTRA	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA DEL SUELO ( $\Phi$ )	COHESIÓN APARENTE DEL SUELO ( $T_n/m^2$ )	DENSIDAD NATURAL ( $gr/cm^3$ )
CHA-01	37.34	0.00	1.98
CHA-02	35.28	0.00	1.88
CHA-03	37.08	0.00	1.97
CHA-04	36.52	0.00	1.99
CHA-05	38.58	0.00	1.76
CHA-06	30.60	0.10	---
CHA-07	32.64	0.00	1.87

## 10.3.- 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 Chancay, 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 ocho puntos analizados se presentan en la Tabla 7 y Figura 57.

Tabla 7: Capacidad de carga admisible de ocho (08) muestras extraídas en la ciudad de Chancay

MUESTRA	CAPACIDAD DE CARGA ÚLTIMA (Tn/m <sup>2</sup> )	CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE (Kg/cm <sup>2</sup> )
CHA-01	184.58	4.61
CHA-02	168.39	4.22
CHA-03	173.58	4.34
CHA-04	181.31	4.11
CHA-05	185.43	4.58
CHA-06	64.83	2.16
CHA-07	179.66	3.89
CHA-08	188.94	4.13

Considerando la clasificación de la Tabla 8, se ha determinado que gran parte del área urbana de la ciudad de Chancay se asienta sobre suelos con capacidad de carga admisible alta (>3 Kg/cm<sup>2</sup>), teniéndose el máximo en la calicata CHA-01 (4.61 Kg/cm<sup>2</sup>). El detalle de los resultados obtenidos se describe a continuación:

Tabla 8: 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

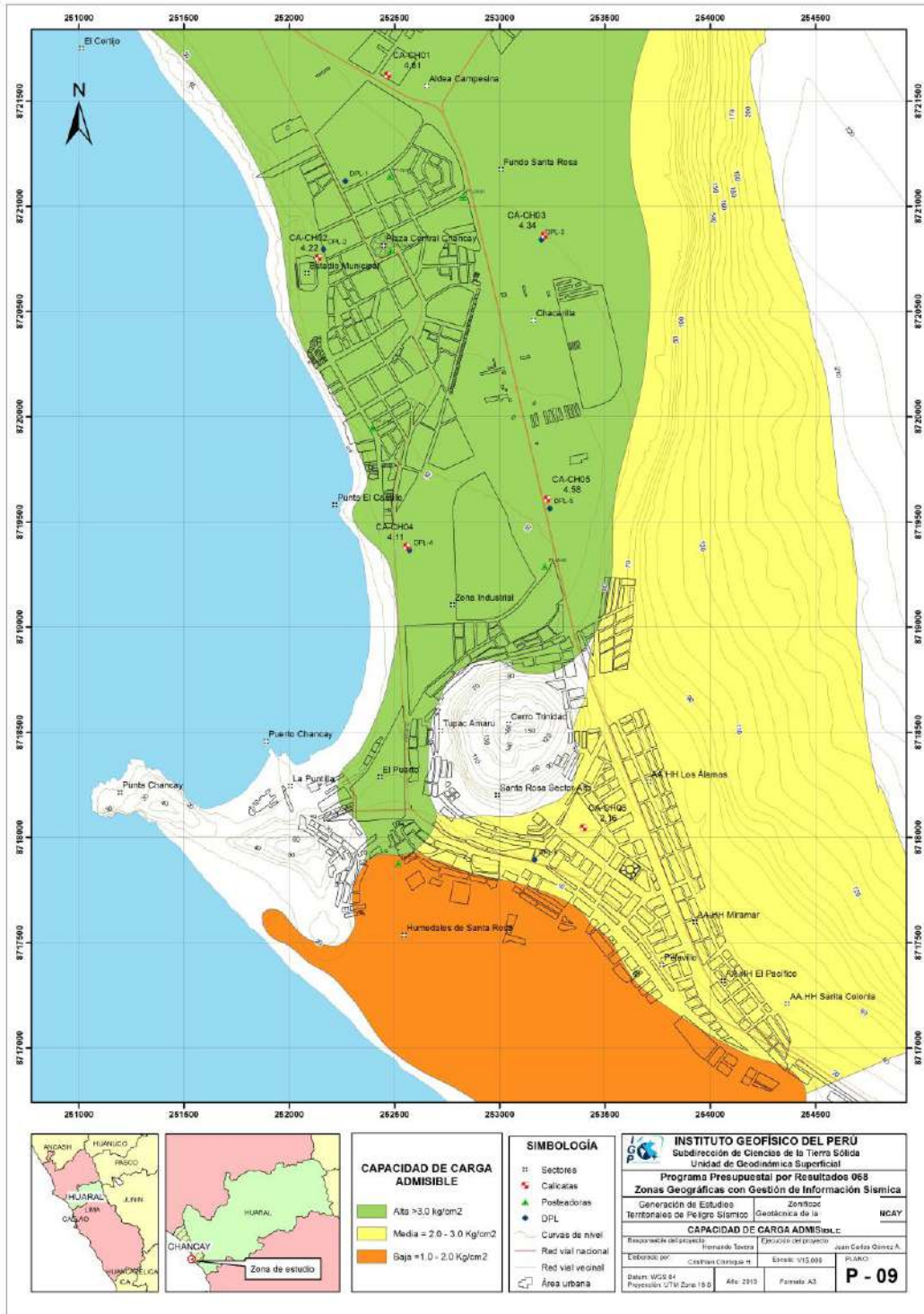


Figura 57: Mapa de capacidad de carga admisible en la ciudad de Chancay

**- Capacidad de carga admisible baja:** Comprende rangos de capacidad de carga admisible entre 1.00 - 2.00 kg/cm<sup>2</sup>, y corresponde al tipo de suelo arenoso con limoarcillas (SM-SC) cuyo grado de compactación es bajo. Abarca el 15% de

la zona de estudio, en los Humedales Santa Rosa, zona donde el nivel freático se encuentra a 1m de profundidad debido a su corta distancia al litoral.

**.- Capacidad de carga admisible media:** Comprende rangos de capacidad de carga admisible entre 2.00 - 3.00 kg/cm<sup>2</sup>, y comprende suelos conformados por arenas limosas con gravas (SP), arena bien graduada (SW) y arena limosa (SM), cuyo grado de compactación es bajo a medio. Representa el 30% del área de estudio, estando presentes en los sectores de Santa Rosa Alto, Pelavillo, AA.HH Sarita Colonia, El Pacífico Miramar y Los Álamos.

**.- Capacidad de carga admisible alta:** Comprende rangos de capacidad de carga admisible mayores a 3.00 kg/cm<sup>2</sup>, y se encuentran conformados por: gravas mal graduadas (GP) y bien graduadas (GW) con un grado de compactación alto. Representa el 55% del área de estudio y se encuentra cubriendo el centro urbano de Chancay: El Puerto, Zona Industrial, Punta el Castillo, Chacarilla, Estadio Municipal, Plaza Central, Fundo Santa Rosa y Aldea Campesina.

## 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 Chancay.

### 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 Chancay 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 58 se muestra la distribución espacial de los 288 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 59 se muestra, como ejemplo el procedimiento seguido para el punto CH-280. 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 1.2 Hz a 10.5 Hz con amplificaciones relativas de hasta 4 veces con respecto al nivel de referencia. Este procedimiento de análisis se aplica al total de la información obtenida en campo.

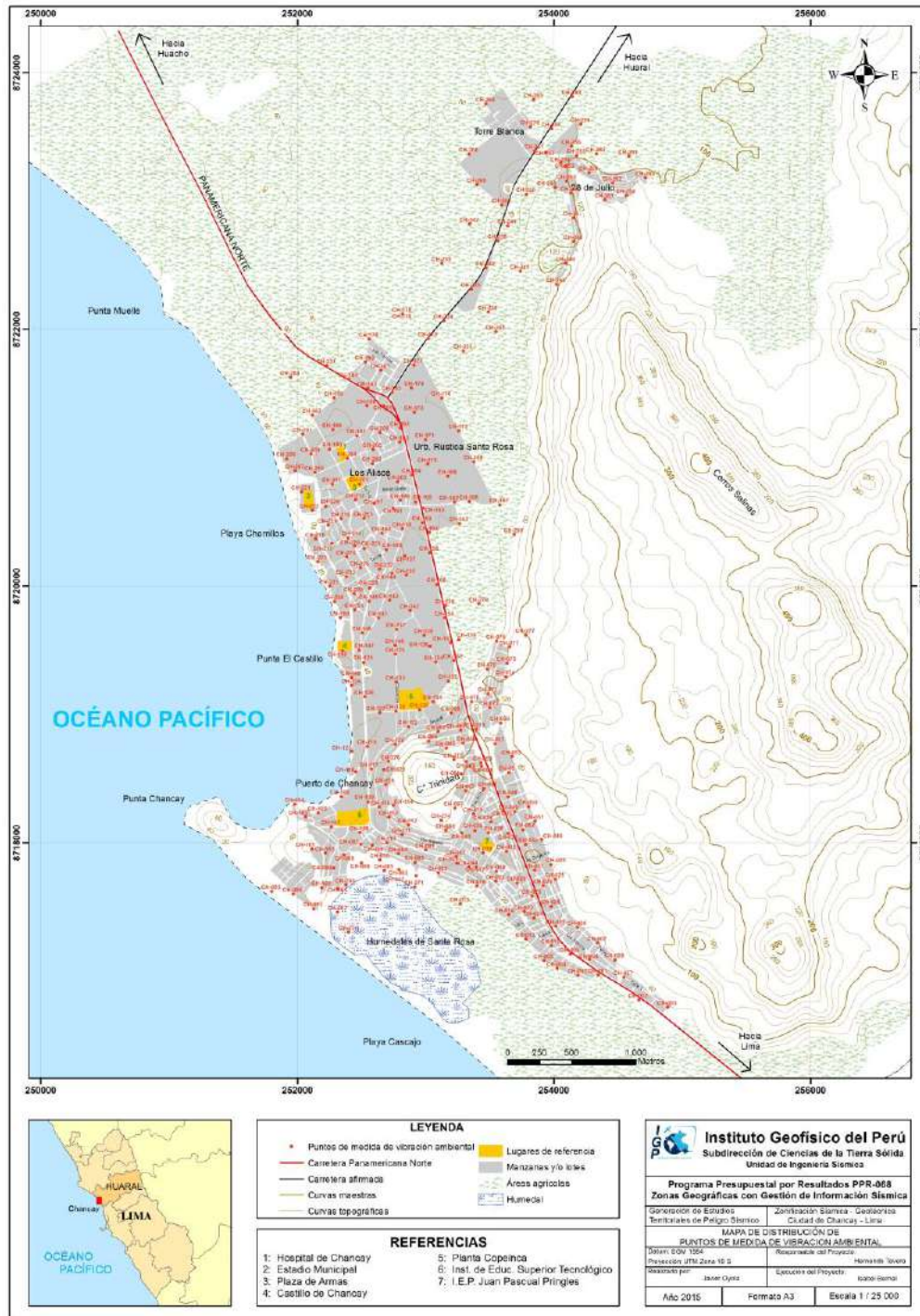


Figura 58: Mapa de la ciudad de Chancay y distribución de puntos de registro de vibración ambiental

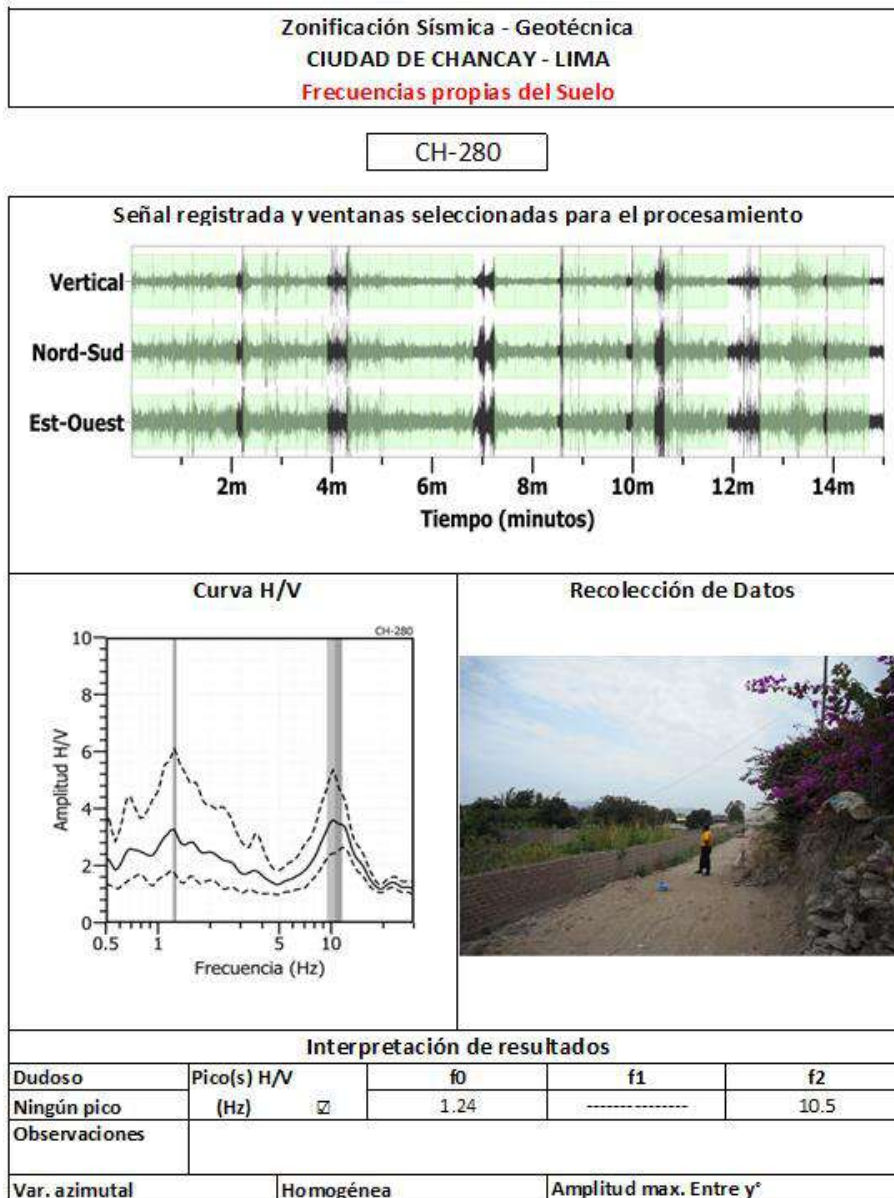


Figura 59: Ejemplo de la ficha H/V para el punto CH-280 en la cual se recopila la información registrada y analizada. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en línea discontinua. Espectrograma y Abajo: resultados.

**- 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 dos rangos de frecuencia: **F<sub>0</sub>** ( $F < 2.0\text{Hz}$ ), **F<sub>1</sub>** ( $2.0 \geq F < 10\text{Hz}$ ) y **F<sub>2</sub>** ( $F \geq 10\text{Hz}$ ), en razón que en varios puntos de medición sobresalen dos y hasta tres picos de frecuencias con diferentes amplificaciones. A continuación, se describe y analiza la distribución espacial de las frecuencias predominantes identificadas en la ciudad de Chancay.

***.- Frecuencias predominantes F<sub>0</sub>:** Según la Figura 60, para este rango de frecuencias predominantes, los valores fluctúan entre 0.8 y 1.9 Hz, y están presentes en un 25% de los puntos medidos, todos distribuidos de manera dispersa en la ciudad de Chancay. En la Figura 61, se muestra ejemplos de razones espectrales característicos para este rango de frecuencias: puntos CH-113, CH-153 y CH-193. En estos gráficos sobresalen frecuencias alrededor de 1.2 Hz con amplificaciones relativas de hasta 7 veces, aunque con desviaciones estándar muy altas. Asimismo, en los gráficos se identifica un segundo pico de menor amplitud a frecuencias de 7.5, 12.0 y 5.2 Hz respectivamente.*

***.- Frecuencias predominantes F<sub>1</sub>:** De acuerdo a la Figura 62, este rango de frecuencias representa el 65 % de los puntos donde se tomaron datos de vibración ambiental, distribuyéndose en gran parte de la ciudad de Chancay. En la Figura 63, se muestra ejemplos de razones espectrales característicos para las diversas zonas identificadas: En los puntos CH-206, CH-208 y CH-248, ubicados en el extremo Norte del área de estudio, sobresale un solo pico a frecuencias de 5.1, 5.3 y 3.8 Hz, todos con amplificaciones relativas de 3.0, 4.0 y 5.2 veces respectivamente.*

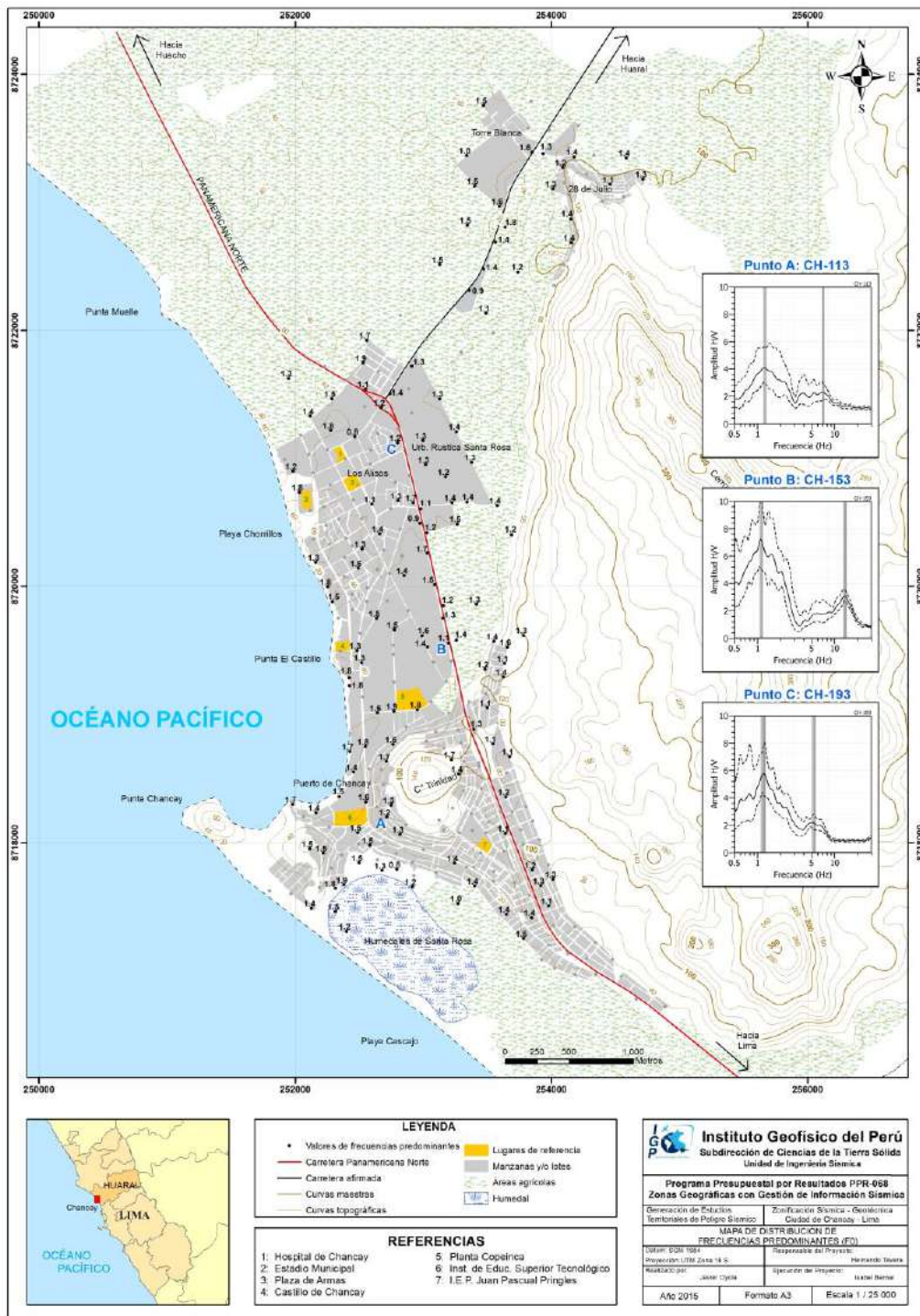
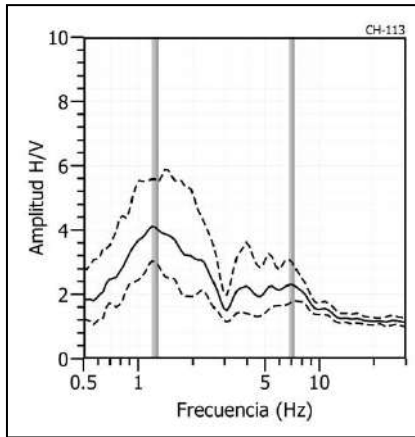
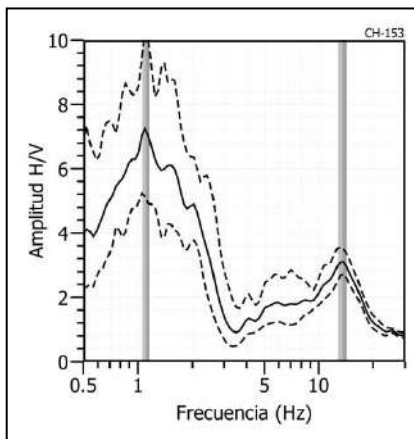


Figura 26: Mapa del área de estudio y la distribución espacial de las frecuencias predominantes en el rango de  $F_0$  ( $F_0 < 2.0\text{Hz}$ ).

**CH - 113**



**CH - 153**



**CH - 193**

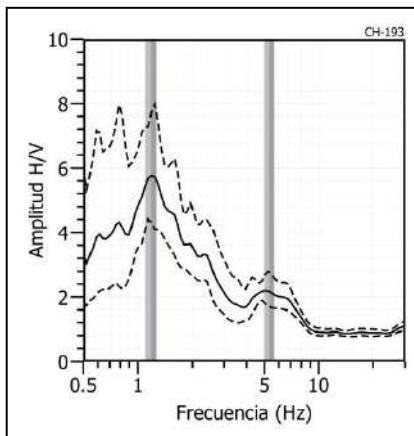


Figura 61: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango  $F_0$  ( $F < 2.0\text{Hz}$ ). Para los puntos CH-113, CH-153 y CH-193. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

*En el punto CH-054, ubicado al Este del Cerro Trinidad presenta un pico de frecuencia a 2.3 Hz con amplificaciones de 3.4. Para el caso de CH-140, ubicado al Este del Castillo, sobresalen dos picos a 2.4 y 10 Hz ambos con amplificaciones de 3 veces. Para el punto CH-227 ubicado al NE del Castillo se identifica un pico bien definido a 7.7Hz con amplificaciones de hasta 3 veces y un segundo pico a 2 Hz con mínimas amplificaciones, pudiendo evidenciar la presencia de suelos dentro de una zona de transición.*

*En los puntos CH-066, CH-106 y CH-148, ubicados en la ladera del cerro Trinidad, el Puerto y El Castillo de Chancay respectivamente, sobresale en el primero un pico bien definido a 4.5 Hz con amplificaciones de 5 veces, en el Puerto sobresalen dos picos a 1.5 y 3.3 Hz con amplificaciones de hasta 4.8 veces y en el punto ubicado próximo al Castillo, sobresale un pico a 8 Hz con amplificaciones de hasta 10 veces; y con menor amplificación (2.8 veces) un segundo pico a 1.8 Hz. Las altas amplificaciones a frecuencias mayores se asocian al alto contenido del nivel freático por encontrarse en zona de playa.*

*En los puntos CH-013, CH-088 y CH-095, ubicados hacia el extremo Sur del área de estudio, los dos primeros próximos a los Humedales de Santa Rosa y el tercero a la línea de costa, sobresalen diferentes rangos de frecuencias. En el punto CH-013, se identifica dos picos de frecuencias a 8.8 y 1.5 Hz, en el punto CH-088 los picos están a frecuencias de 4.5 y 8.2Hz; y en el punto CH-095, sobresale un único pico a 2.5 Hz, todos con amplificaciones de 3 veces y de 8 veces para los dos últimos puntos. Los valores altos de amplificación se asocian a la baja consistencia de los suelos y el alto nivel freático que experimentan dichas zonas.*

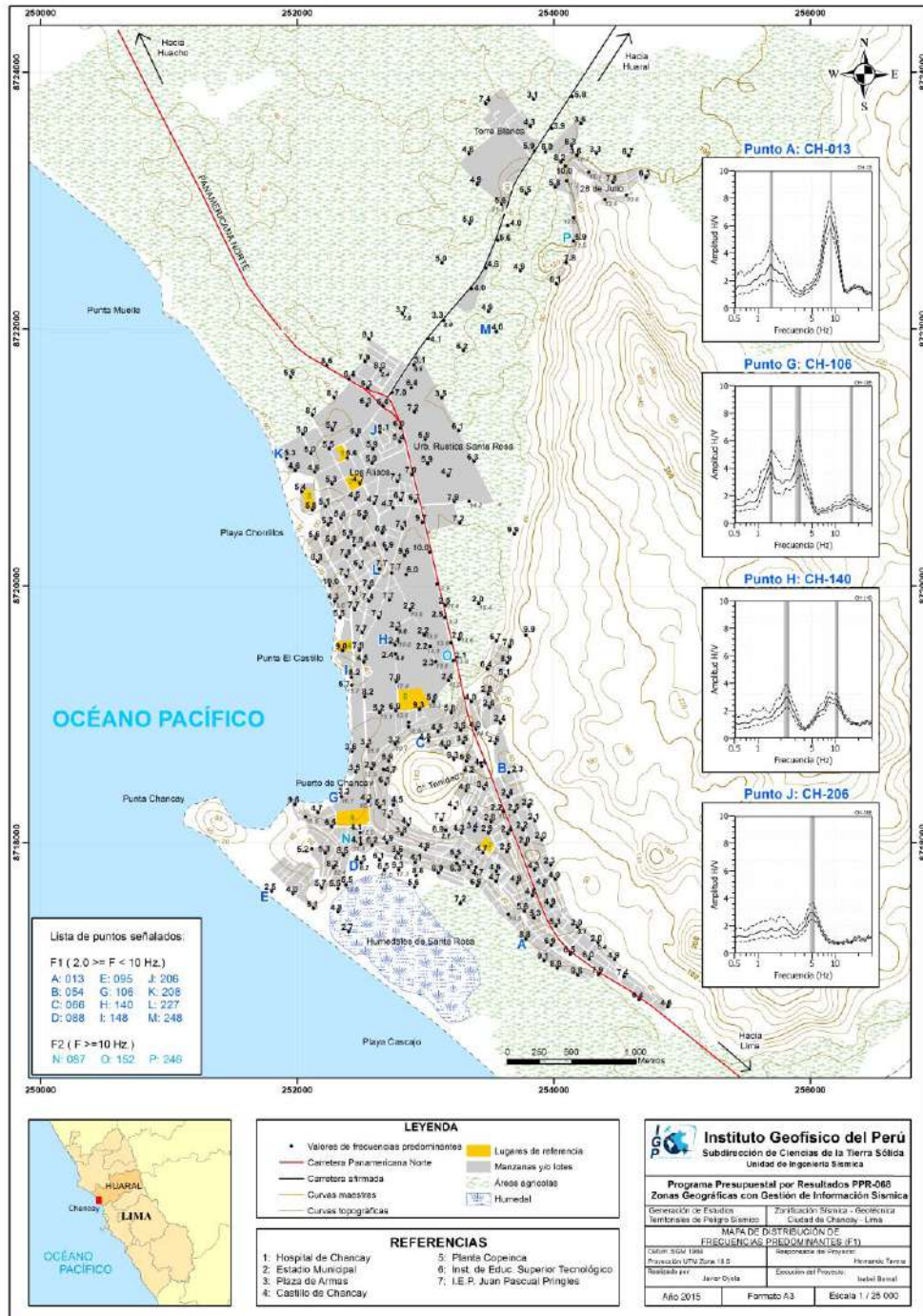
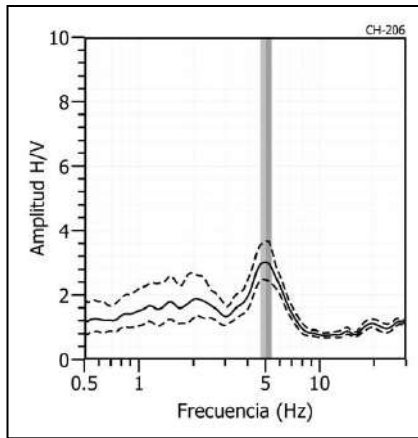
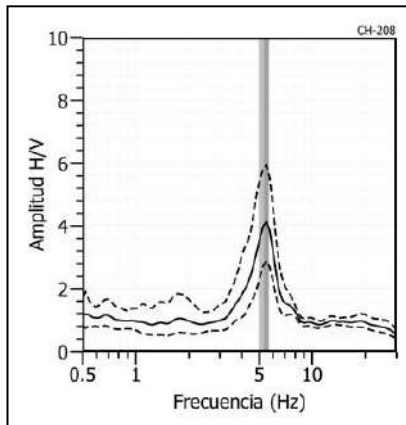


Figura 62: Mapa del área de estudio y la distribución espacial de las frecuencias predominantes. Números en negro para el rango de F1 ( $2.0 \text{ Hz} \geq F < 10 \text{ Hz}$ ) y en gris para el rango de F2 ( $F \geq 10 \text{ Hz}$ ).

**CH - 206**



**CH - 208**



**CH - 248**

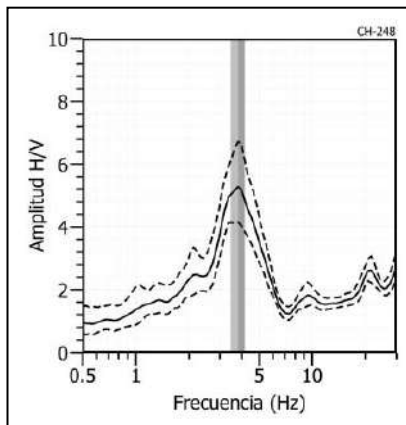
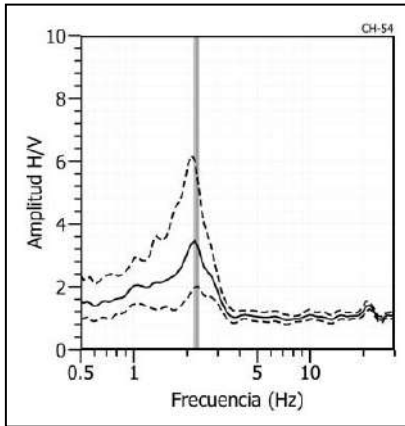
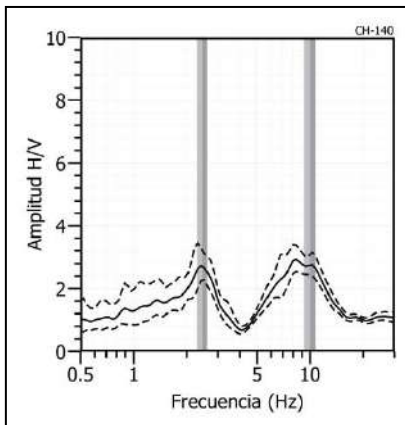


Figura 63: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ( $2.0 \geq F < 10$ Hz). Para los puntos CH-206 (J), CH-208 (K) y CH-248 (M), ubicados en el extremo Norte del área de estudio. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

**CH - 054**



**CH - 140**



**CH - 227**

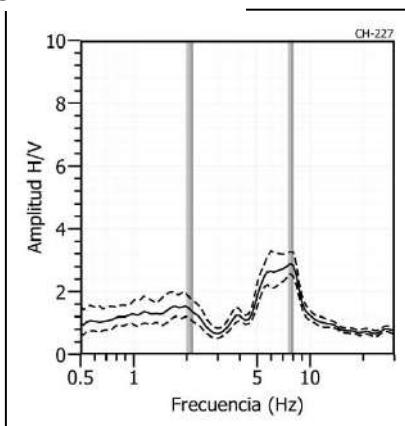
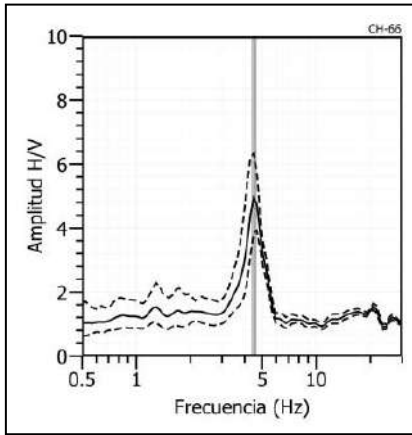
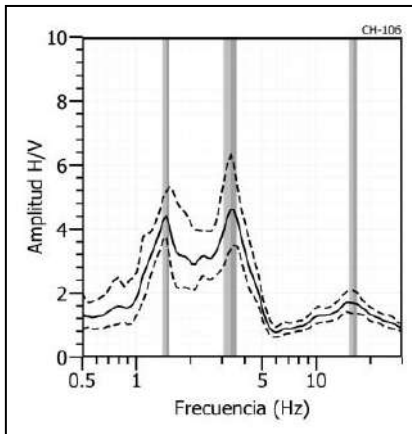


Figura 63: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ( $2.0 \geq F < 10\text{Hz}$ ). Para los puntos CH-054 (B), CH-140 (H) y CH-227 (L), ubicado el primero al Este del Cerro Trinidad y los dos siguientes, al E y NE de El Castillo de Chancay. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

**CH - 066**



**CH - 106**



**CH - 148**

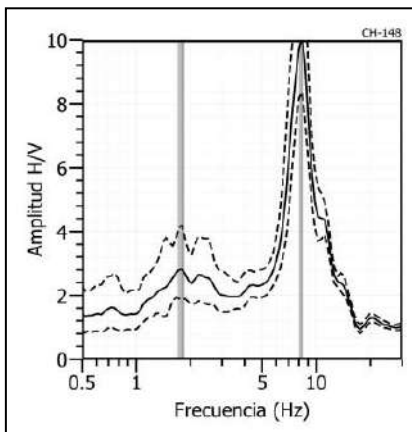
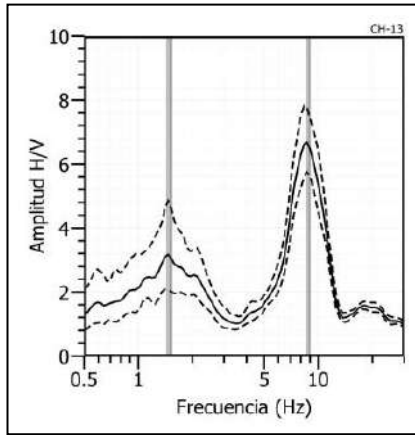
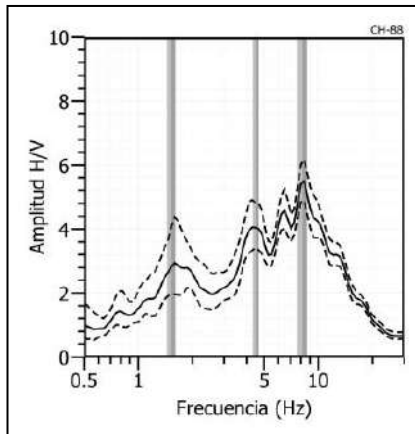


Figura 63: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ( $2.0 \geq F < 10$ Hz). Para los puntos CH-066 (C), CH-106 (G) y CH-148 (I), ubicados en la ladera del cerro Trinidad, el Puerto y El Castillo de Chancay respectivamente. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

**CH - 013**



**CH - 088**



**CH - 095**

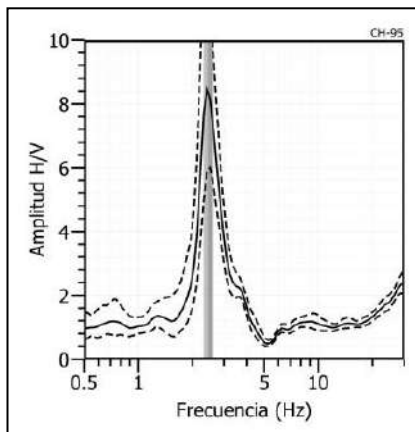


Figura 63: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ( $2.0 \geq F < 10$ Hz). Para los puntos CH-013 (A), CH-088 (D) y CH-095 (E), los dos primeros ubicados próximos a los Humedales de Santa Rosa y el último a la línea de costa. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

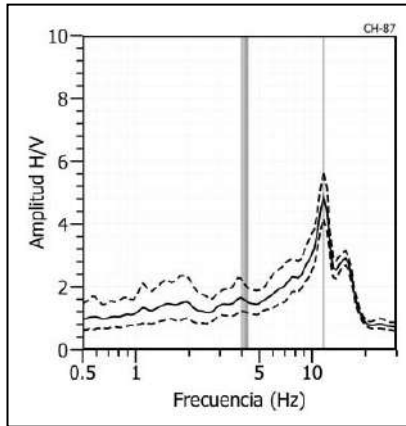
**.- Frecuencias predominantes F2 ( $F > 10\text{Hz}$ ):** Este rango de frecuencias se presenta en un 10% de puntos en los cuales se recolectó datos y todos están agrupados principalmente en dos áreas, la primera entre La Punta, El Castillo y la Panamericana Norte; y la segunda entre el Cerro Trinidad y los Humedales de Santa Rosa (Figura 62). En estos puntos, sobresalen dos picos de frecuencias con valores menores y mayores a 10 Hz, estos últimos pueden ser considerados como frecuencias secundarias.

En la Figura 64, se muestran ejemplos de razones espectrales para los puntos CH-087, CH-155 y CH-246, donde sobresalen frecuencias a 12, 14 y 12.5 Hz con amplificaciones relativas de 5, 4 y 7 veces. Asimismo, en estos puntos, con menor amplificación, sobresalen las frecuencias de 2.0 y 1.5 Hz. Los picos mayores a 10 Hz se asocian a la respuesta de las capas del suelo más superficial y quizás conformado por material de relleno.

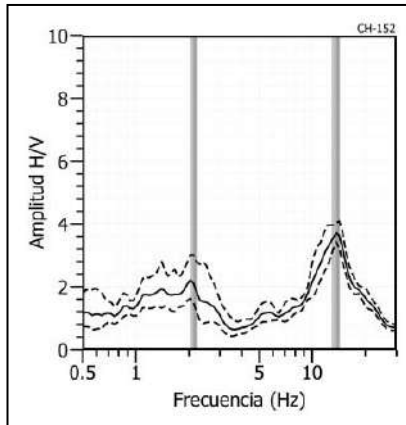
Los resultados obtenidos con la técnica H/V evidencian que los suelos de la ciudad de Chancay son dinámicamente heterogéneos. En general, se observa el predominio de frecuencias en el rango de 2.0 a 5.0 Hz próximos al Cerro Trinidad y de 5.0-9.0 Hz en la zona céntrica de la ciudad (Plaza de armas). La distribución espacial de estos valores evidencia la presencia de una posible zona de transición. Por otro lado, se observa que las altas amplificaciones se concentran principalmente en el Puerto de Chancay y alrededor de los humedales de Santa Rosa, todos asociados al alto contenido del nivel freático debido a su proximidad a la línea de costa que produce la infiltración del agua.

Finalmente, se ha identificado la presencia de dos áreas donde predominan dos picos de frecuencias, la primera ubicada entre La Punta-El Castillo y la Panamericana Norte; y la segunda, entre el Cerro Trinidad y los Humedales de Santa Rosa, con picos de frecuencias menores y mayores a 10 Hz. Los picos mayores a 10 Hz, se asocian a la respuesta de las capas más superficiales del subsuelo compuestas por rellenos y escombros.

**CH - 087**



**CH - 152**



**CH - 246**

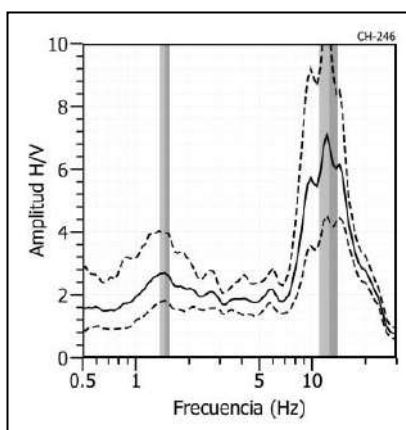


Figura 64: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango de frecuencias  $F_2$  ( $F \geq 10.0\text{Hz}$ ) para los puntos CH-087, CH-152 y CH-264, el primero ubicado entre el Cerro Trinidad y Humedales de Santa Rosa, el segundo en el extremo NE de Cerro Trinidad y el tercero en el extremo SO de la Urbanización 28 de Julio. 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 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 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 65, se presenta el mapa de la ciudad de Chancay con la distribución espacial de 9 líneas de refracción sísmica codificadas como LS01-CH,....., LS09-CH, y en la Tabla 9 las coordenadas y los parámetros de registro de cada línea. En la Figura 66, se presenta imágenes de la toma de datos en campo y un ejemplo de los registros obtenidos. 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.

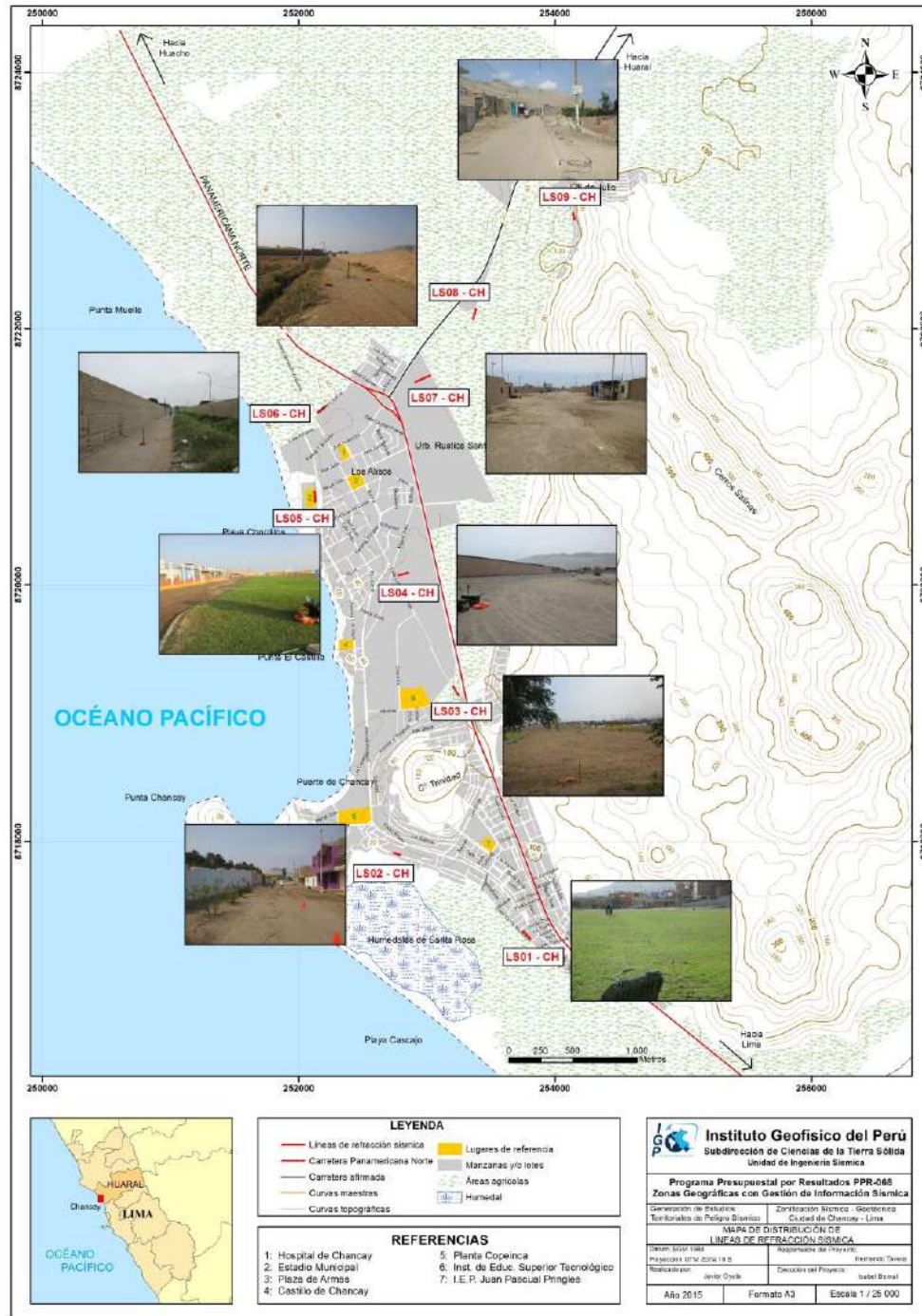


Figura 65: Mapa de la ciudad de Chancay y distribución espacial de las líneas de refracción sísmica codificadas como: LS01-CH..., LS09-CH.

Tabla 9: Coordenadas y parámetros utilizados en cada línea sísmica

Línea Sísmica	Este (m)	Sur (m)	Cota (m)	Espaciamiento entre geófonos (m)	Longitud total de registro (m)
LS01-CH	253810	8717810	39	4	92
	253748	8717302	36		
LS02-CH	252798	8717891	35	3	69
	252731	8717911	35		
LS03-CH	253204	8719210	44	4	96
	253250	8719132	47		
LS04-CH	252860	8720097	45	4	92
	252771	8720071	43		
LS05-CH	252128	8720643	55	4	92
	252121	8720732	55		
LS06-CH	252213	8721398	48	4	92
	252138	8721339	47		
LS07-CH	252903	8721580	66	6	138
	253029	8721638	65		
LS08-CH	233384	8722155	84	4	92
	253358	8722066	84		
LS09-CH	254152	8722845	101	3	69
	254139	8722914	100		



Figura 66. Trabajos de campo. Imagen superior izquierda, línea LS01-CH (depósitos de arena). Imagen superior derecha línea LS03-CH (pozo con nivel freático a 10 m). Imagen inferior izquierda, línea LS04-CH (material arcilloso sobre depósitos fluviales). Imagen inferior derecha, línea LS09-CH (depósitos eólicos y material aluvial).

Para el análisis de los resultados obtenidos en este estudio se considera la clasificación que la Norma E.030 establece para cada tipo de suelo; sin embargo, para una mejor clasificación de los suelos, se ha visto por conveniente agregar una subdivisión para los "suelos duros" a fin de considerar dos clasificaciones adicionales, "suelos moderadamente duros" y "suelos duros", según el siguiente detalle:

- Suelos blandos, velocidades  $V_s < 180$  m/s
- Suelos duros, velocidades  $V_s$  180 a 500 m/s
  - . Suelos moderadamente duros, velocidades 180 a 350 m/s
  - . Suelos duros, velocidades 350 a 500 m/s
- Suelos muy duros o roca blanda, velocidades  $V_s$  500 a 800 m/s
- Rocas moderadamente duras, velocidades  $V_s$  800 a 1500 m/s

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 Chancay (Figura 67).

**- Línea Sísmica LS01-CH y LS02-CH:** Estas líneas sísmicas se realizaron en el extremo sur de la ciudad de Chancay, próximos a los Humedales de Santa Rosa (sobre la Av. Túpac Amaru y Av. José Carlos Mariátegui, respectivamente). Los perfiles de velocidad muestran la presencia de suelos conformados por dos capas, la primera con un espesor de 4 metros y velocidades de 256 m/s y 233 m/s, correspondientes a suelos moderadamente duros. La segunda capa presenta un espesor de 7 metros y velocidades de 370 m/s y 369 m/s, correspondientes a suelos duros. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades entre 543 m/s y 570 m/s y corresponde a suelos muy duros o roca blanda (Figuras 67a y 67b).

**- Línea sísmica LS03-CH:** Esta línea sísmica se realizó en el extremo NE del cerro Trinidad, próximo a la Planta Copeinca. El perfil de velocidad muestra la presencia de suelos conformados por una capa superficial de 4 metros de espesor y velocidades  $V_s$  de 241 m/s correspondiente a suelos moderadamente duros, asentada sobre una capa con espesor de 5 m y velocidades  $V_s$  de 324 m/s correspondiente a suelos duros. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades  $V_s$  de 458 m/s, valores que sugieren la presencia de suelos duros (Figura 67c).

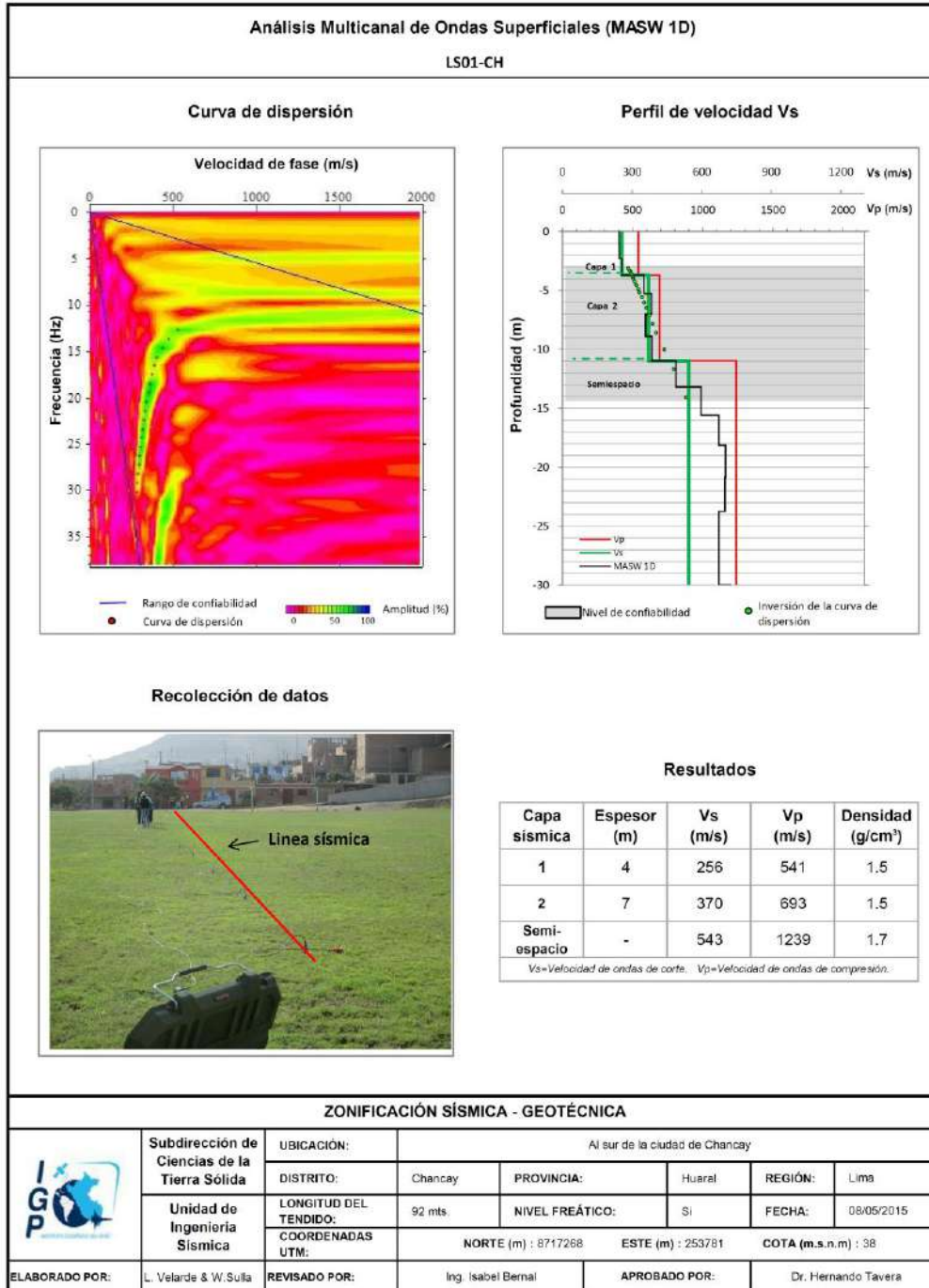


Figura 67 a: Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS01-CH.

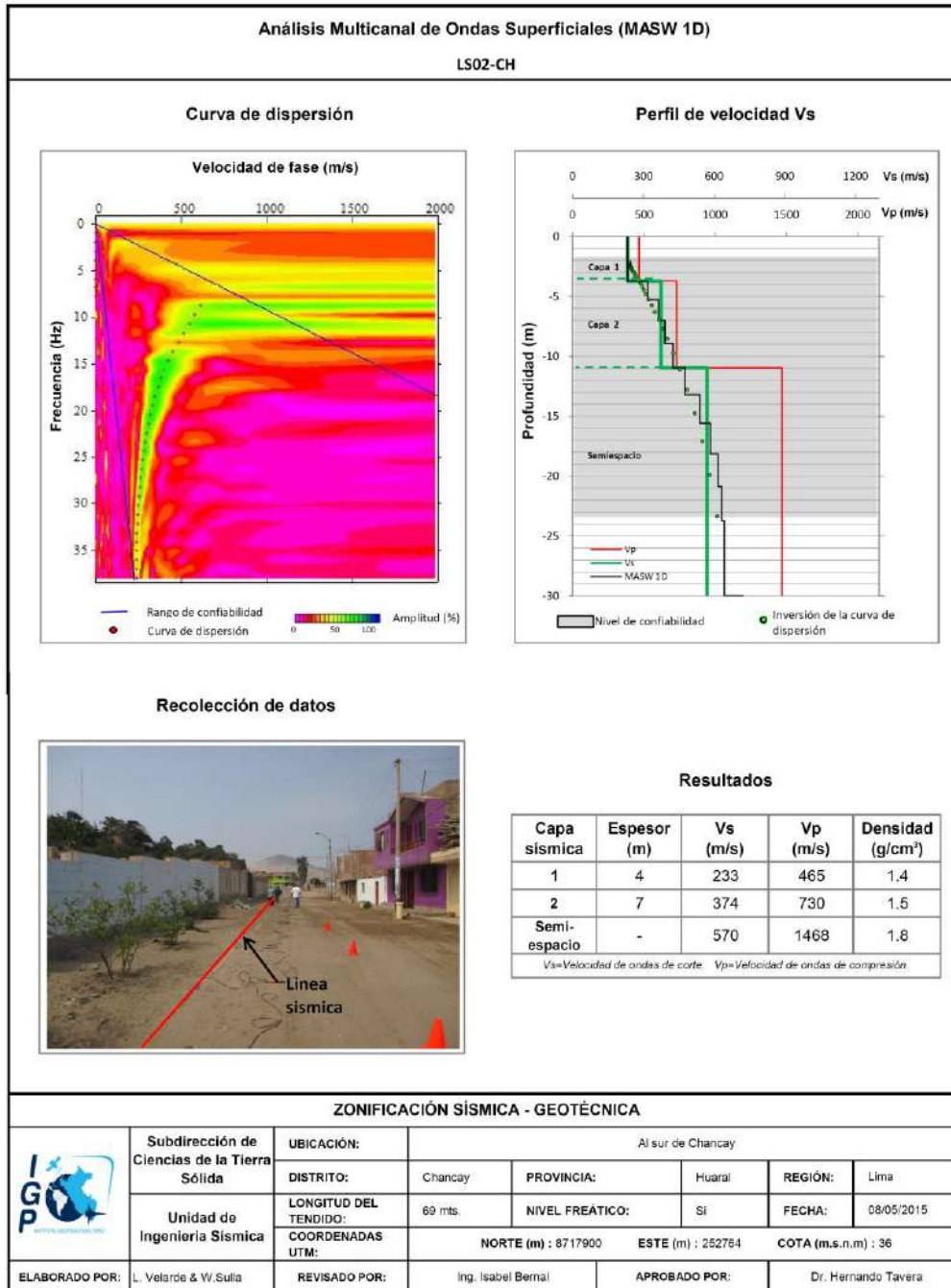


Figura 67b: Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS02-CH.

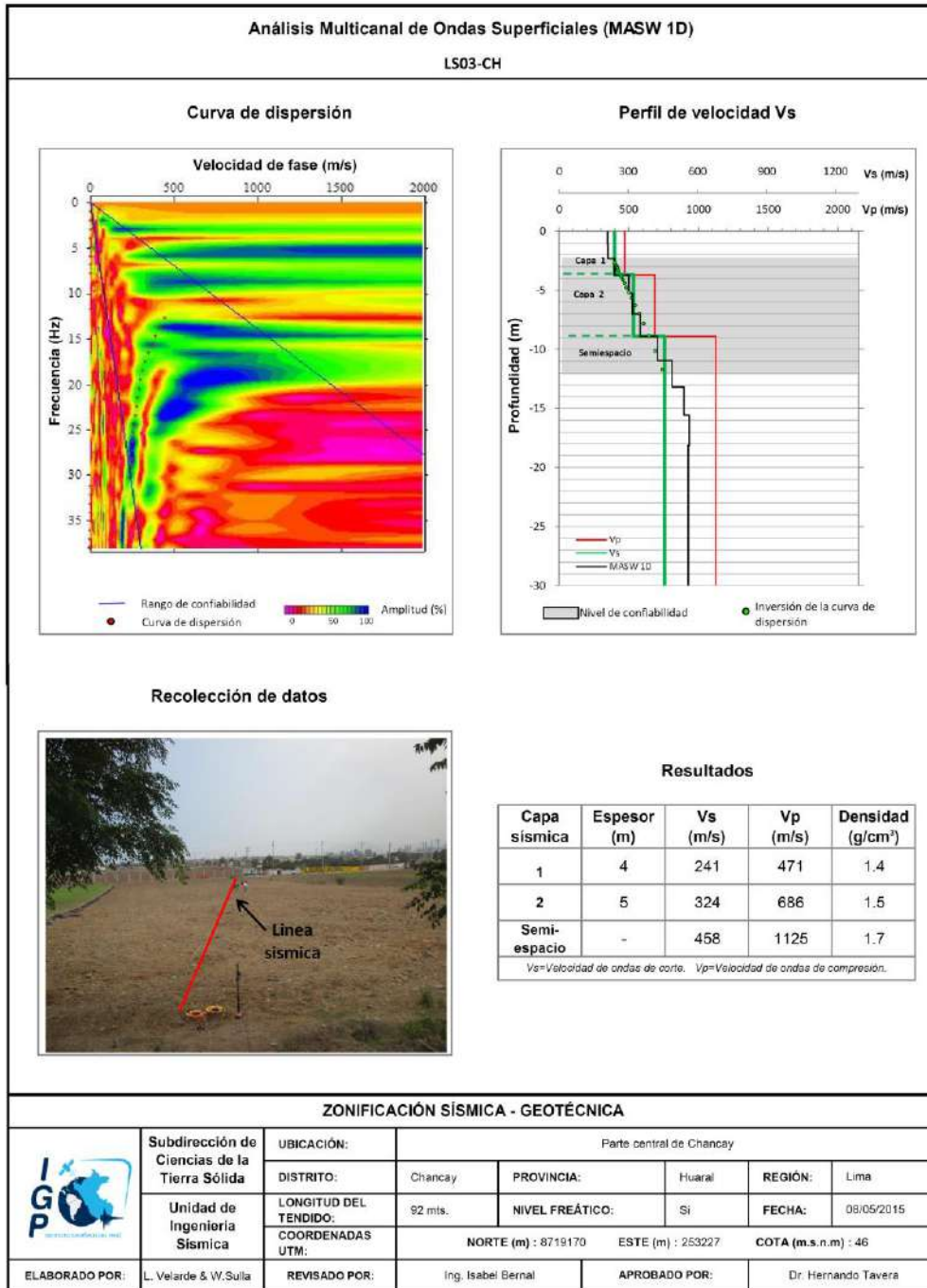


Figura 67c: Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS03-CH.

**- Línea sísmica LS04-CH:** Esta línea sísmica se realizó entre las Calles Miguel Grau y López de Zúñiga (zona central del área de estudio). El perfil de velocidad muestra la presencia de suelos conformados por una capa superficial de 4 metros de espesor con una velocidad de 420 m/s, asentada sobre una capa de 7 metros de espesor con una velocidad de 573 m/s, que corresponden a suelos duros y suelos muy duros o roca blanda, respectivamente. La superficie de

contacto con el semiespacio presenta velocidades  $V_s$  de 826 m/s lo cual sugiere rocas moderadamente duras (Figura 67d).

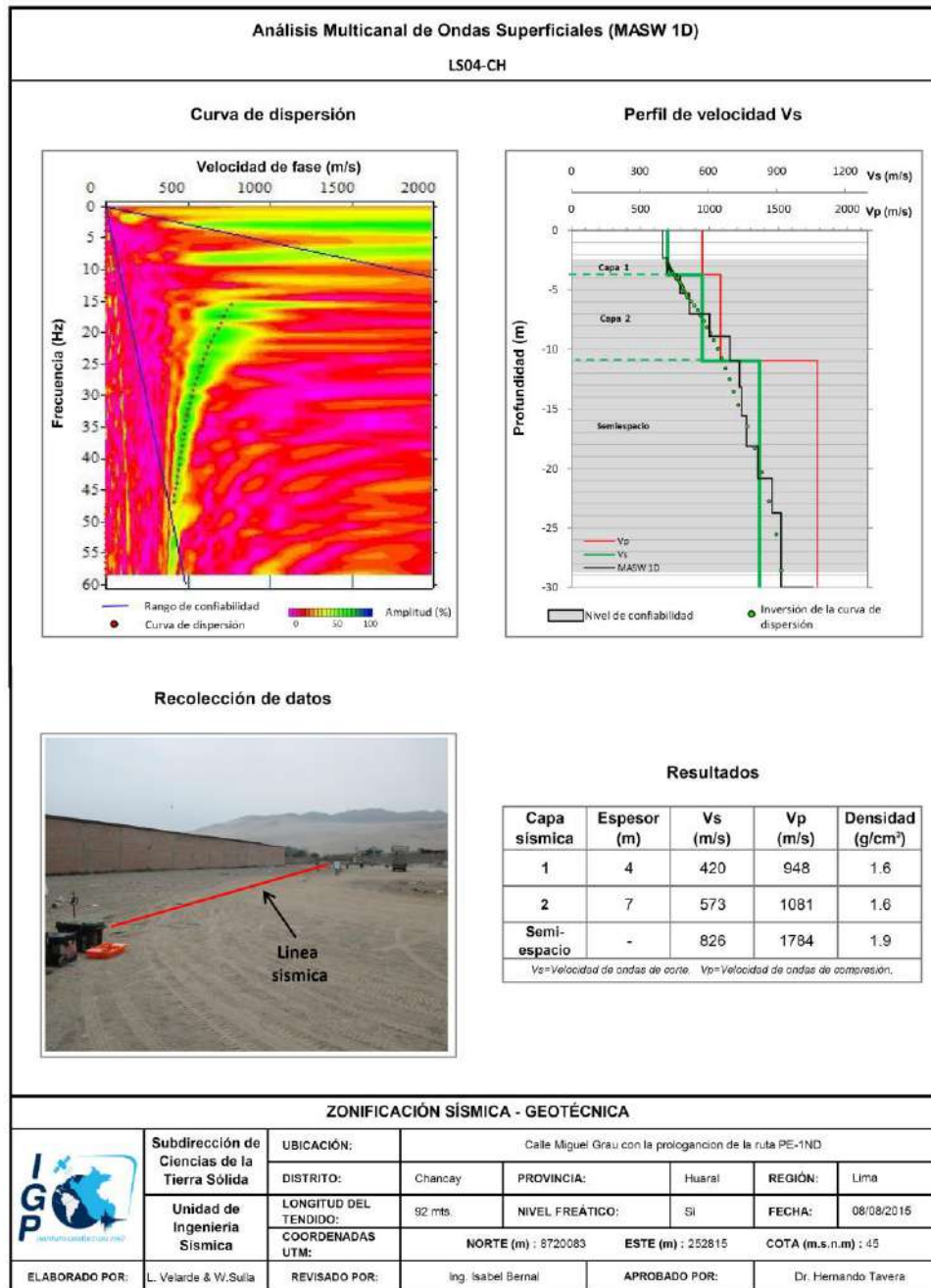


Figura 67d: Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS04-CH.

**- Línea sísmica LS05-CH, LS06-CH y LS07-CH:** Estas líneas sísmicas se realizaron en el área céntrica de la ciudad de Chancay (Urb. Los Alisos y Urb. Rustica Santa Rosa), la primera en el Estadio Municipal de Chancay, la segunda en el Callejón Avinca y la tercera próxima al ovalo de desvío a Huaral (interior del

Estadio Municipal de Chancay). Los perfiles de velocidad muestran la presencia de suelos conformados por dos capas, la primera con un espesor entre 4 y 7 metros y velocidades de 306 m/s, 377 m/s, y 458 m/s respectivamente, correspondiendo a suelos duros. La segunda capa presenta espesores entre 6 a 9 metros, con velocidades entre 523 m/s a 587 m/s, que corresponden a suelos muy duros o roca blanda. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades entre 664 m/s a 757 m/s (Figura 67e, 67f y 67g).

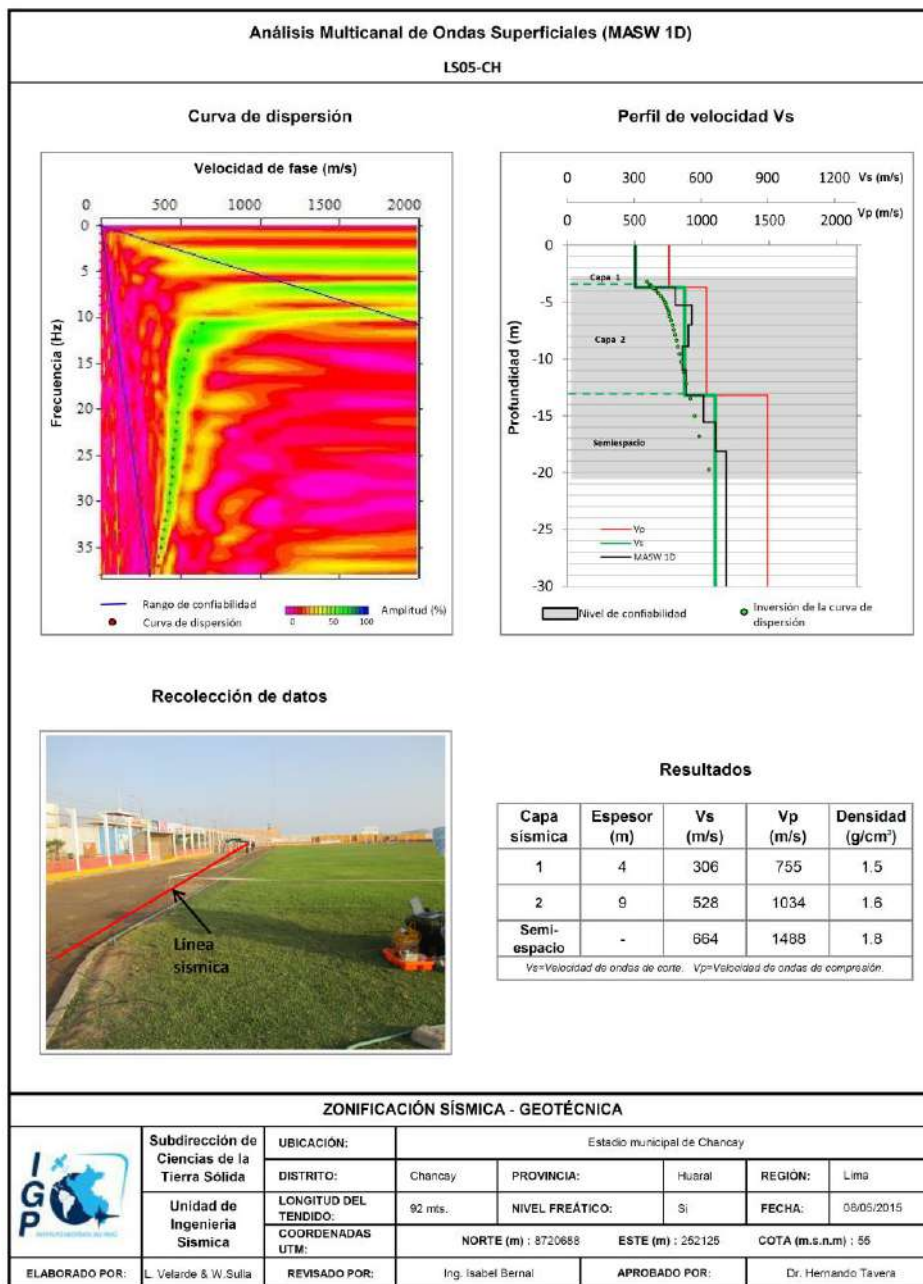


Figura 67e: Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS05-CH.

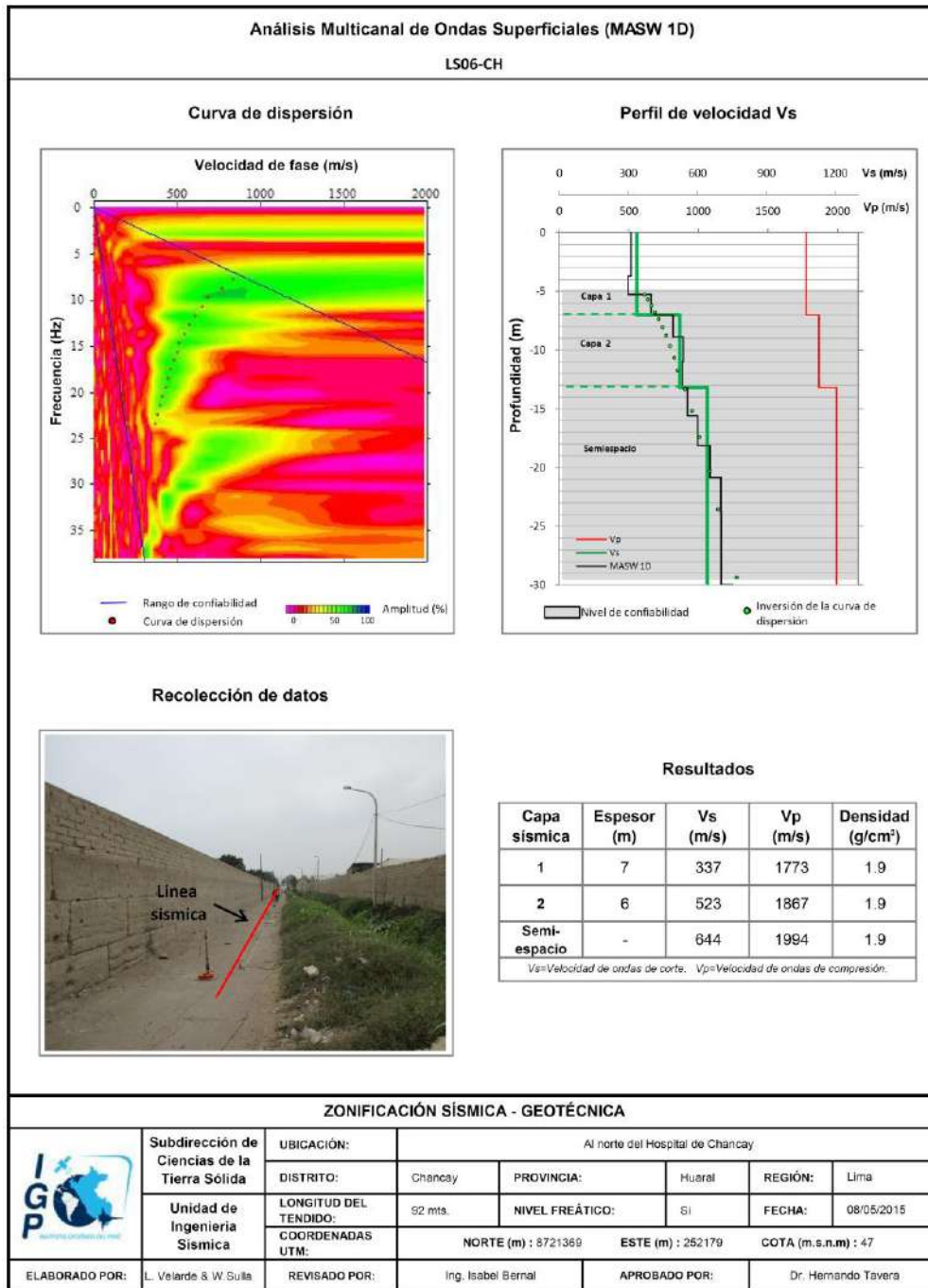


Figura 67f: Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS06-CH.

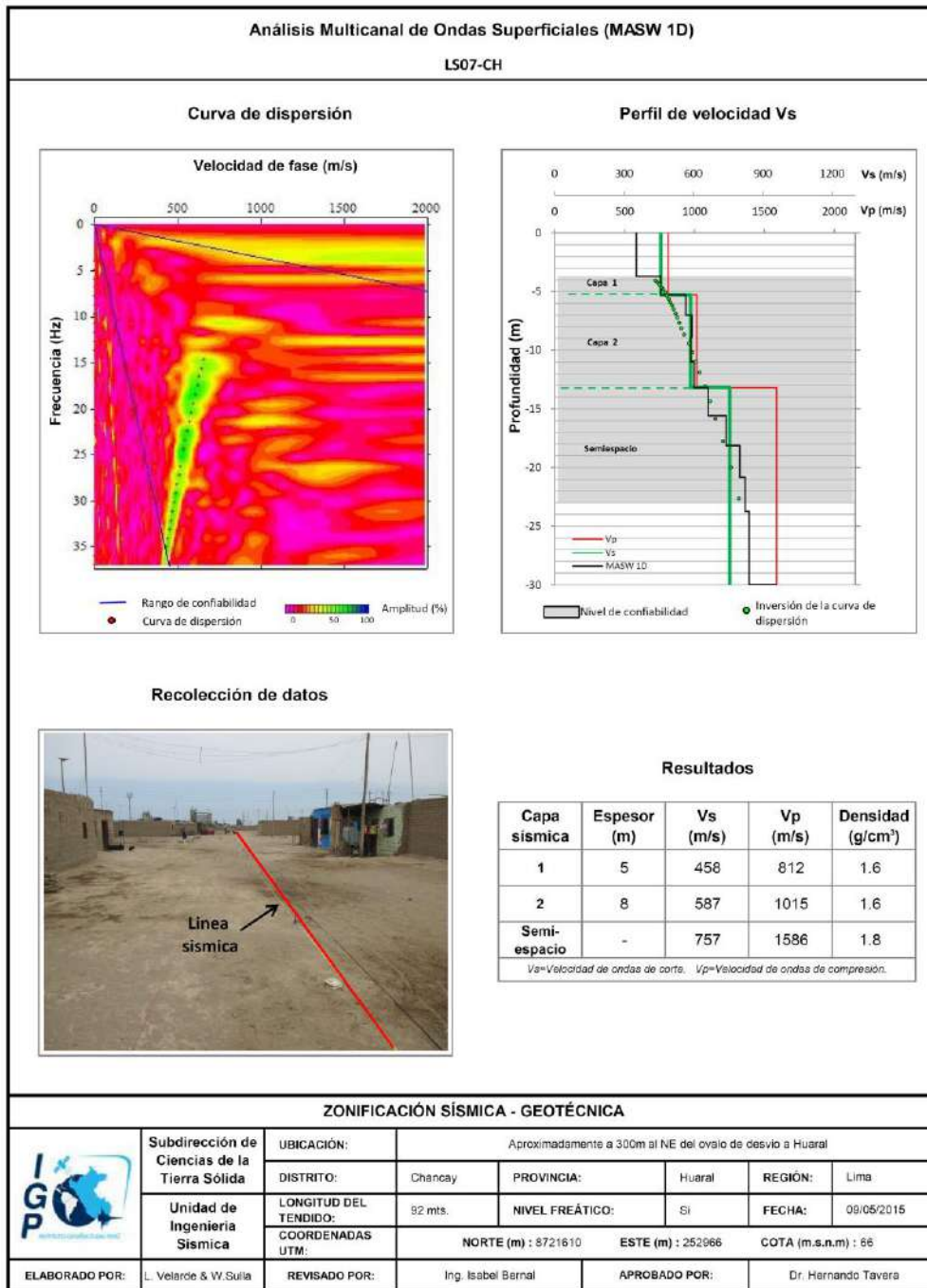


Figura 67g: Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS07-CH.

**- Línea sísmica LS08-CH:** Esta línea sísmica se realizó en el extremo NE de la ciudad de Chancay, aproximadamente a 900 m al NE del ovalo de desvío a Huaral. El perfil de velocidad muestra la presencia de suelos conformados por dos capas, la primera con un espesor de 4 metros y velocidad de 299 m/s que corresponde a suelos moderadamente duros, la segunda capa con un espesor

de 8 metros y velocidad de 533 m/s que corresponde a suelos muy duros o roca blanda. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades de 637 m/s lo cual sugiere suelos muy duros o roca blanda (Figura 67h).

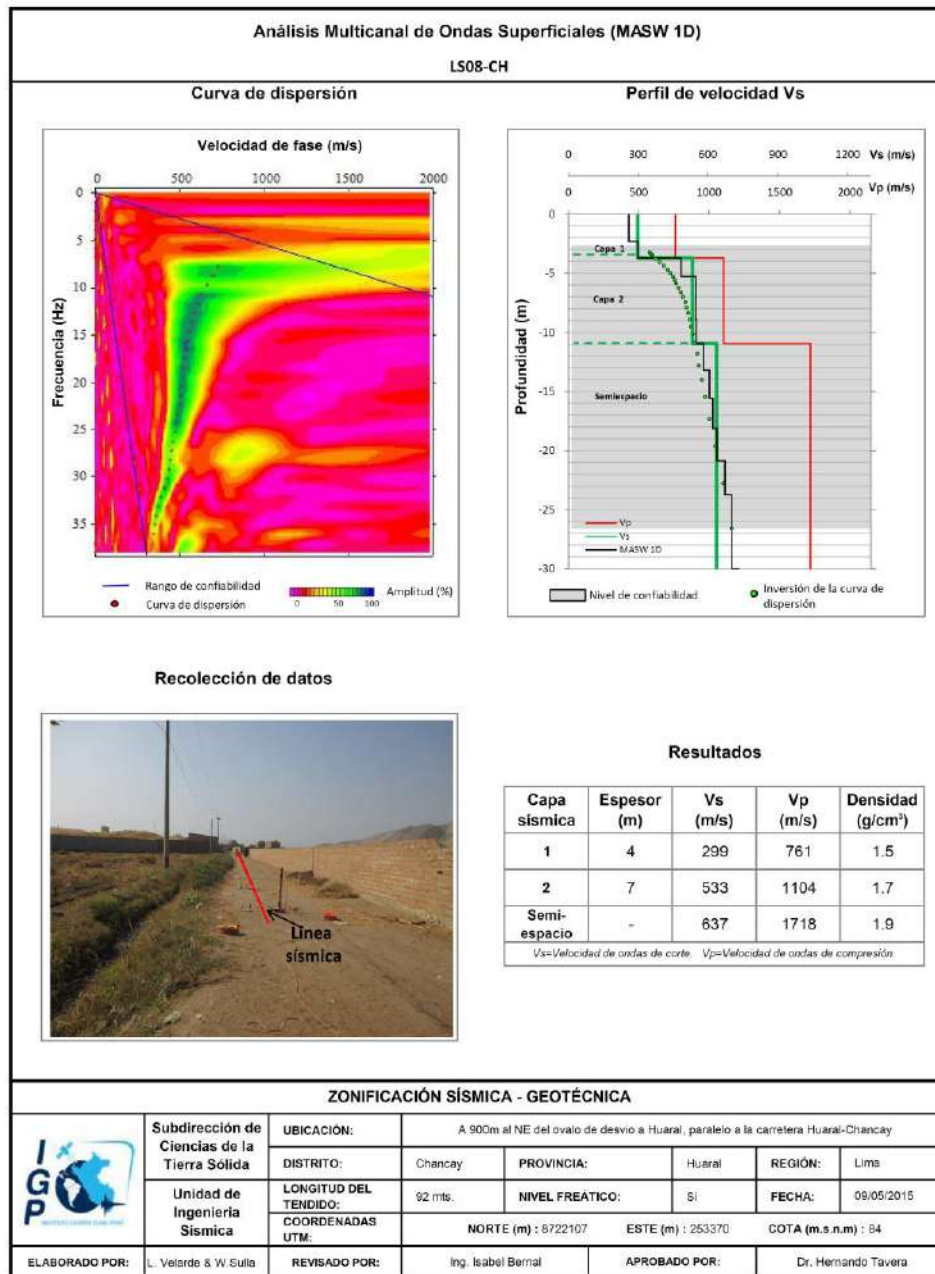


Figura 67h: Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS08-CH.

**.- Línea sísmica LS09-CH:** Esta línea sísmica se realizó en el extremo NE de la ciudad de Chancay, aproximadamente a 250 metros de la urbanización 28 de Julio. El perfil de velocidad muestra la presencia de suelos conformados por dos capas, la primera presenta un espesor de 5 metros y velocidad de 196 m/s que

corresponde a suelos moderadamente duros y asentada sobre otra capa de 8 metros de espesor y velocidad de 554 m/s que corresponde a suelos muy duros o roca blanda. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades de 956 m/s lo cual sugiere rocas moderadamente duras (Figura 67i)

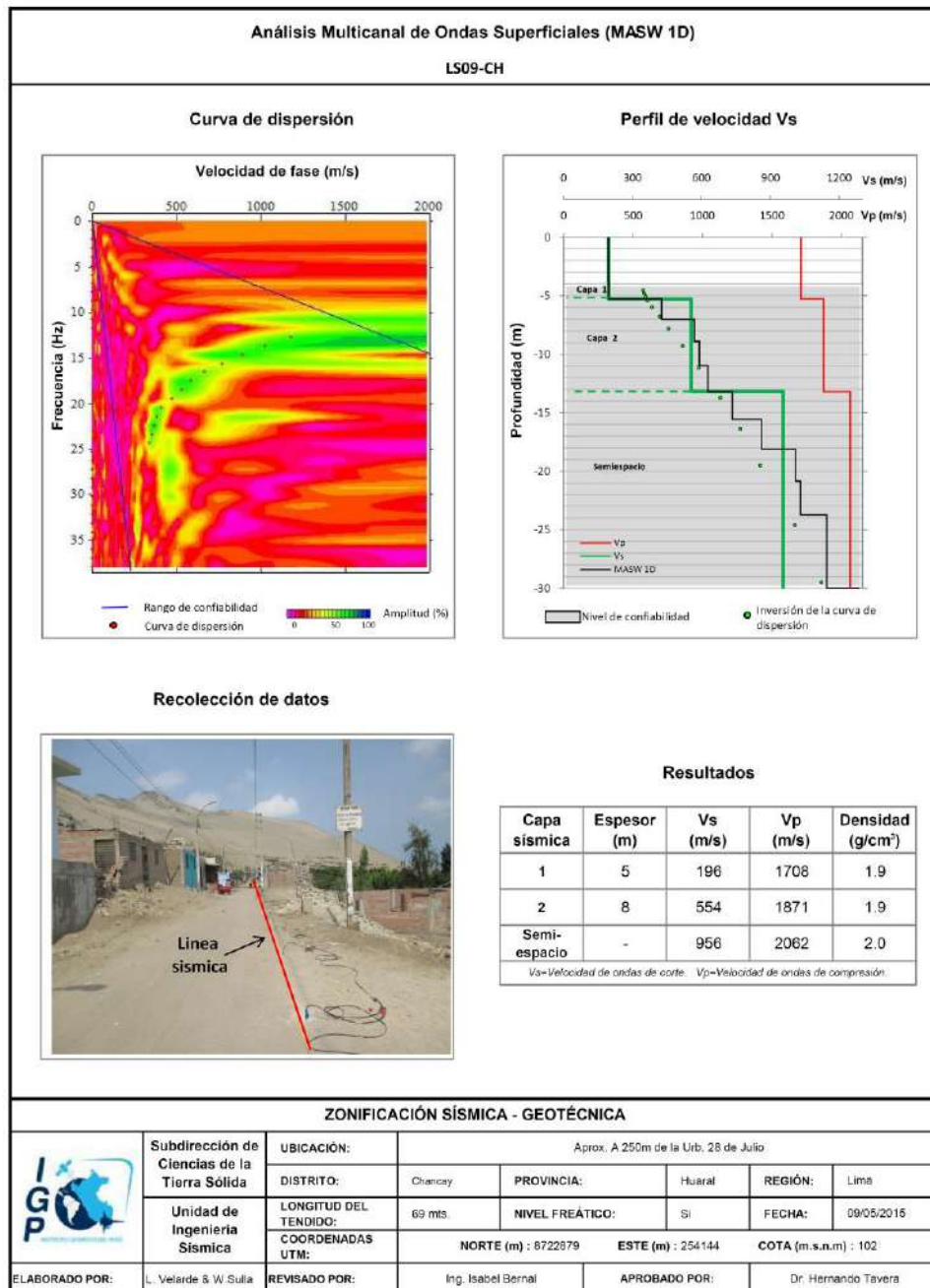


Figura 67i: Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS09-CH.

La Tabla 10, muestra en detalle los espesores y las velocidades de las ondas Vs en las capas de suelos identificados para cada línea sísmica.

Tabla 10. Resumen de los valores de espesor y velocidad de ondas Vs para cada línea sísmica

Línea sísmica	N° Capas				
	1		2		Semi-espacio
	Vs (m/s),	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)
LS01-CH	256	4	370	7	543
LS02-CH	233	4	374	7	570
LS03-CH	241	4	324	5	458
LS04-CH	420	4	573	7	826
LS05-CH	306	4	528	9	664
LS06-CH	377	7	523	6	644
LS07-CH	458	5	587	8	757
LS08-CH	299	4	533	7	637
LS09-CH	196	5	554	8	956
Suelos blandos ( $V_s < 180$ m/s)					
Suelos duros ( $V_s=180$ m/s - 500m/s)					
Suelos moderadamente duros ( $V_s=180 - 350$ m/s)					
Suelos duros ( $V_s=350 - 500$ m/s)					
Suelos muy duros o roca blanda ( $V_s=500$ m/s-800m/s)					
Rocas moderadamente duras ( $V_s=800$ m/s - 1500 m/s)					

En resumen, los perfiles de velocidad ( $V_s$ ) obtenidos con el método MASW para la ciudad de Chancay, evidencian la presencia de suelos superficiales conformados por una capa de espesor variable entre 4 a 7 metros y velocidades entre 200 m/s a 400 m/s, definiendo la existencia de suelos moderadamente duros a duros. Esto suelos estarían asentados sobre otra capa con espesores que fluctúan entre 5 a 10 metros y velocidades alrededor de los 500 m/s correspondientes a roca blanda. Hacia el extremo Sur del área de estudio (Extremo NE y SE del Cerro Trinidad, Humedales de Santa rosa), las velocidades fluctúan entre 200 y 370 m/s definiendo la presencia de suelos moderadamente duros. Asimismo, conforme se tiende hacia el extremo Norte, las velocidades en el semiespacio incrementan de 600 a 950 m/s, evidenciando la presencia de suelos muy duros o roca blanda y rocas moderadamente duras. En general, los suelos en Chancay, principalmente hacia el extremo Norte del Cerro Trinidad son consistentes y/o compactos.

### 11.3.- Periodos dominantes

Los resultados finales obtenidos con la técnica H/V; es decir, los valores de frecuencias predominantes 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 68 se muestra la distribución espacial de los valores de periodos dominantes en la ciudad de Chancay y ellos muestran que en un alto porcentaje del área de estudio, se tiene el predominio de periodos entre 0.1 a 0.3 segundos, y en ciertos sectores, se tienen periodos entre 0.4 y 0.5 segundos. Estos resultados sugieren la presencia de una capa sedimentaria superficial de menor espesor seguida de una capa de mayor consistencia y espesor.

Los periodos dominantes que caracterizan a los suelos de la ciudad de Chancay 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 de 200 m/s y 500 m/s para las ondas de corte ( $V_s$ ) y periodos de 0.2 y 0.5 segundos, se estima para la capa superficial espesores entre 10 a 20 metros, seguida por una capa con espesores de hasta 60 metros. Según estos resultados, la primera capa tiene mayor predominio hacia el extremo Sur de la Ciudad de Chancay y la segunda, hacia el extremo Norte. Estos valores son confirmados con los modelos de velocidad y espesores de capas obtenidos con los métodos geofísicos.

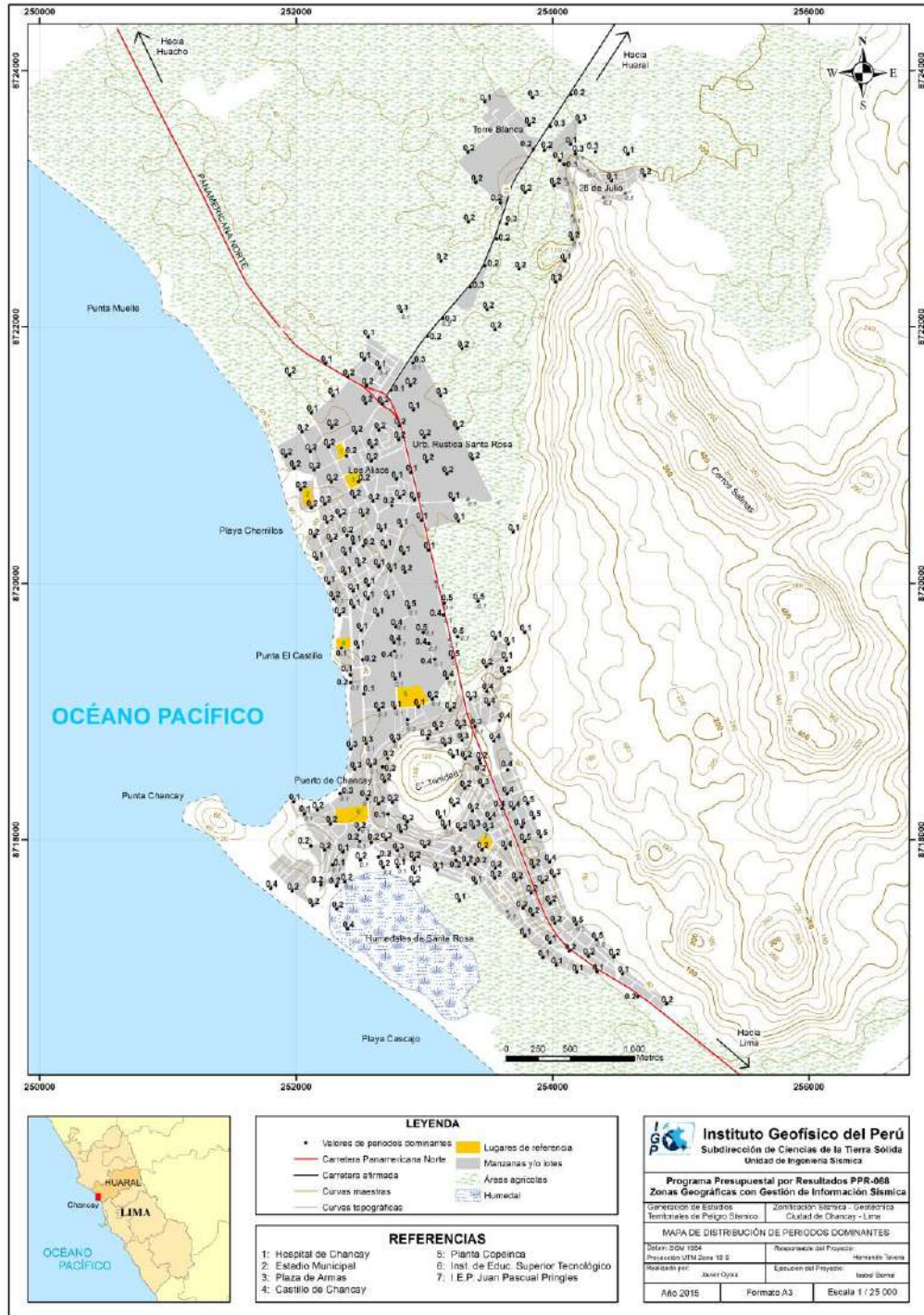


Figura 68: Mapa de la ciudad de Chancay y distribución espacial de los valores de periodos dominantes.

#### 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 y superficies con mayor o menor contenido de agua. En la ciudad de Chancay se han realizado 6 líneas de tomografía eléctrica con el dispositivo polo-dipolo (Figura 69) y la distribución de 15 y 10 electrodos con un espaciamiento de 6 a 10 metros y sobre tendidos longitudinales de 144 y 240 metros, lo cual permitió tener alcances en profundidad del orden de 24 y 40 metros (Tabla 11).

Tabla 11: 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-CH	10 m / 25 electrodos	240 m	NO - SE
LE02-CH	10 m / 25 electrodos	240 m	N - S
LE03-CH	6 m / 23 electrodos	132 m	O - E
LE04-CH	6 m / 24 electrodos	138 m	N - S
LE05-CH	10 m / 25 electrodos	240 m	O - E
LE06-CH	6 m / 25 electrodos	144 m	NE - SO

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 Chancay (Figura 70).

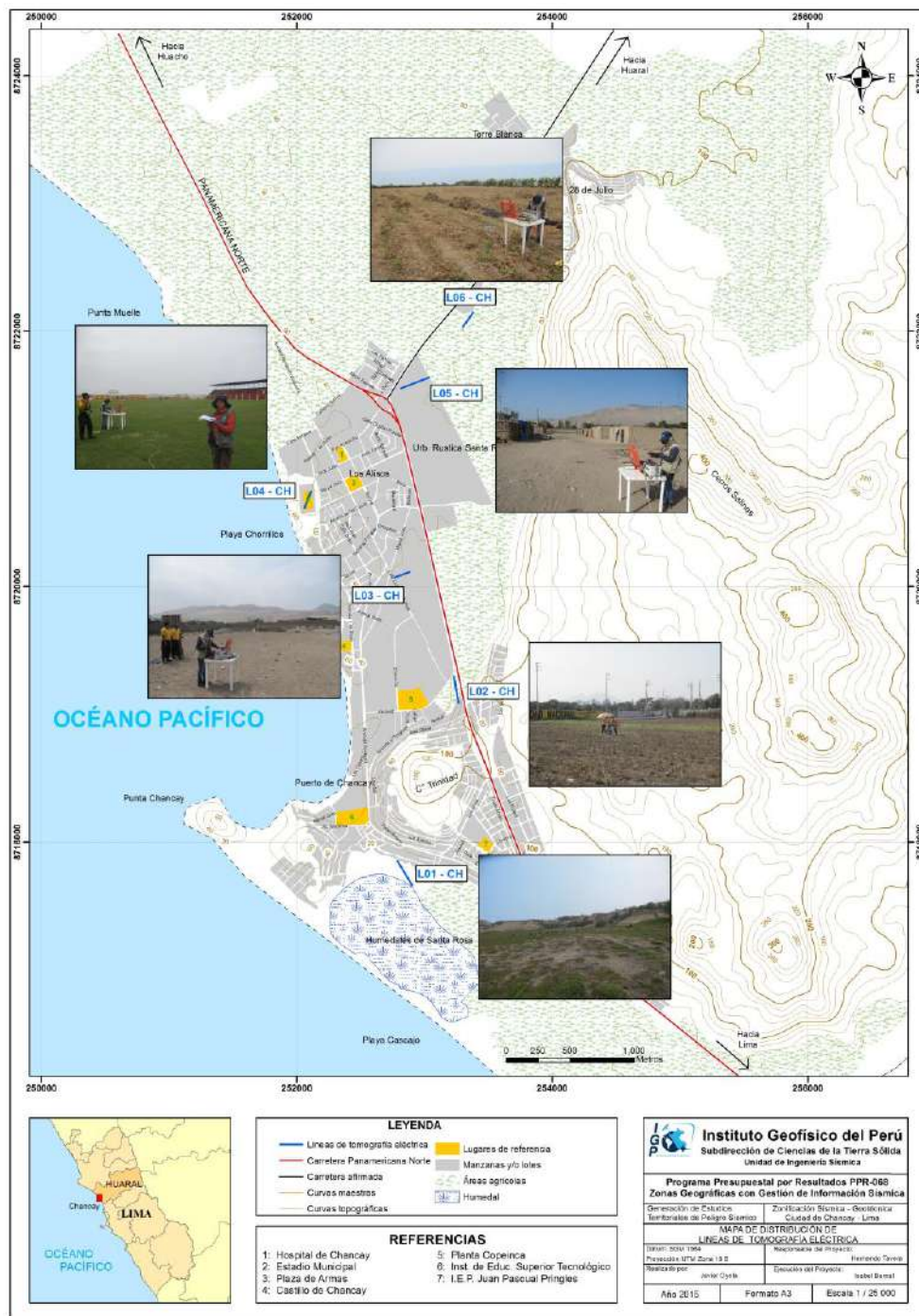


Figura 69: Mapa de la ciudad de Chancay y ubicación de las 6 líneas de tomografía eléctrica.

.- **Línea de tomografía eléctrica LE01-CH:** Línea eléctrica con orientación noroeste a sureste, realizada próximo del sector denominado “Los Humedales”, en el extremo sur de la ciudad de Chancay (Figura 70a). En la sección eléctrica predominan valores menores a 60 ohm.m. y a mayor profundidad, valores de mayor resistividad, pero sin superar los 280 ohm.m. A niveles superficiales, a lo



En Chancay el humedal (Albúfera Santa Rosa) está integrado al sistema hidrológico de la cuenca del río Chancay con influencia mínima del mar y de otras zonas de cultivo próximo a la zona.

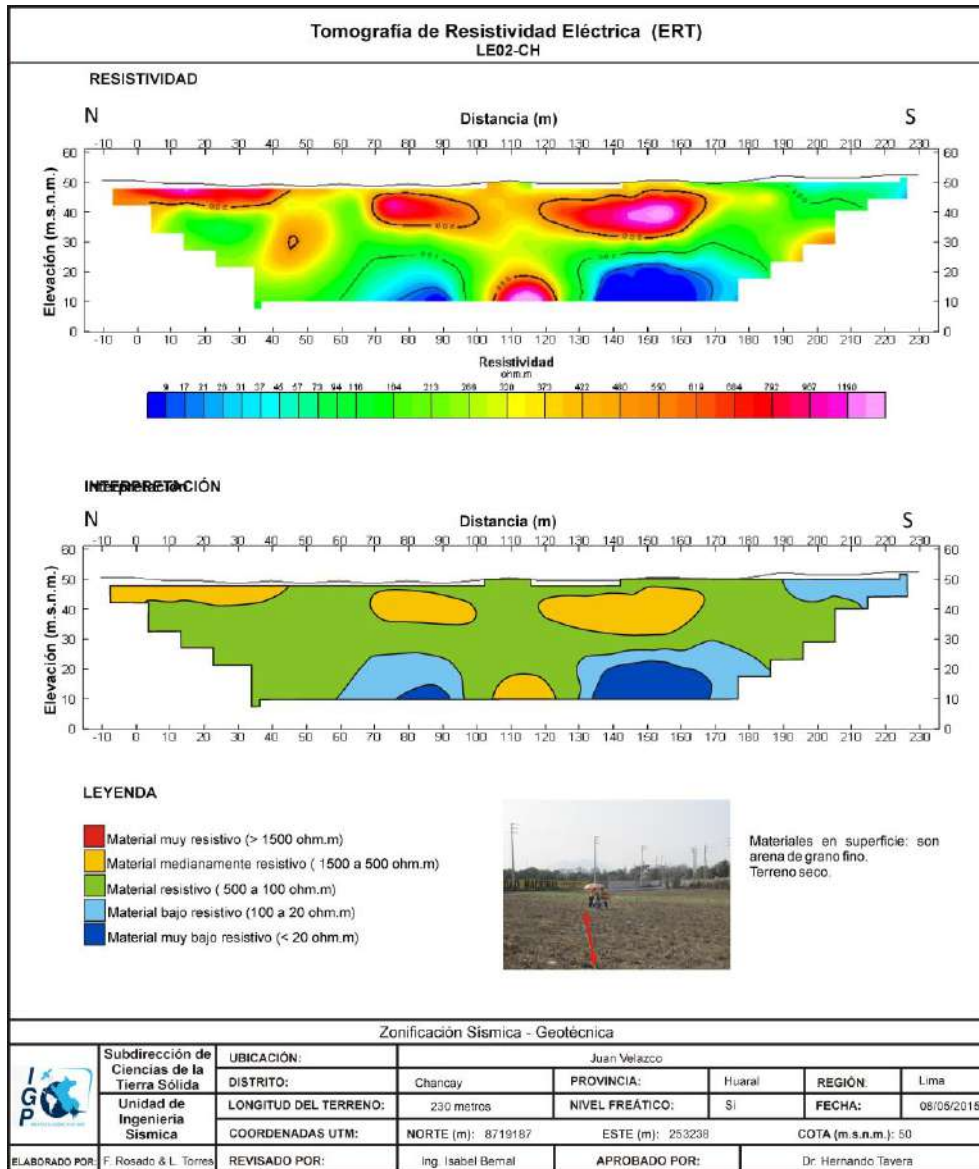


Figura 70b: Análisis e interpretación de la Línea LE02-CH de tomografía eléctrica

**- Línea de tomografía eléctrica LE02-CH:** Línea eléctrica con orientación norte-sur, realizada hacia el NE de Cerro Trinidad, sobre un terreno de cultivo y próximo a la calle Juan Velazco, paralela a la carretera Panamericana (Figura 70b). En esta sección predominan suelos con altas resistividades (450 ohm.m), principalmente en la parte superior y extremo norte, alcanzando espesores entre 10 y 20 metros. Asimismo, en la superficie de la sección, a 45 metros de

distancia del inicio de la línea, se ve la influencia del canal de agua presente en un extremo de la línea. En la zona, subyace un medio menos resistivo con valores del orden de 40 a 450 ohm.m, siendo constante en la mayor parte de la sección eléctrica. Por otro lado, a lo largo de la línea se observó la existencia de un pozo de agua y a su alrededor, suelos compuestos por gravas y arenas con cobertura arcillo limoso, semi-compacto a compacto en profundidad. Además, se observa la presencia de un medio de transición entre suelos semi-resistivo a otro conductivo en la parte inferior de la sección (resistividades menores a 30 ohm.m). Del mismo modo, se observa la presencia de dos cuerpos conductivos separados por un medio resistivo que podrían estar influenciados por niveles freáticos ubicados a diferentes profundidades. Estos medios resistivos podrían estar compuestos por material compactado o rocas volcánicas-sedimentarias. En la parte superficial del terreno, el material es de grano fino a medio, con poca presencia de gravas.

**.- Línea de tomografía eléctrica LE03-CH:** Línea eléctrica con orientación Oeste - Este, realizada perpendicular a la prolongación de la calle López de Zúñiga, ubicada en la parte central de la zona de estudio (Figura 70c), sobre un terreno destinado para depósito. En la parte superior y a lo largo de toda la sección predominan altas resistividades (>450 ohm.m), alcanzando espesores variables entre 10 y 15 metros en profundidad. Estos suelos, sobre yacen a un medio menos resistivo que presenta valores del orden de 40 a 400ohm.m con un espesor de 24 metros. Este medio se mantiene en la mayor parte de la sección eléctrica, excepto entre los 66 a 86 metros en distancia, con la presencia de un medio altamente resistivo. En el perfil también se observa que existe una zona de transición para pasar de un medio semi-resistivo a otro conductivo hacia el extremo este de la sección, y con resistividades menores a 30 ohm.m. En la sección se observa la presencia de dos cuerpos conductivos alargados con una tendencia vertical que podrían estar influenciados por niveles freáticos ubicados a diferentes profundidades y separados por un medio resistivo, que podría representar material compactado o rocas ígneas intrusivas como consecuencia de la dinámica ocurrida por el emplazamiento del denominado “Batolito de la Costa” o rocas volcánicas-sedimentarias. En la parte superficial del terreno, el material está compuesto por granos finos a medios con presencia de pocas gravas, lo cual corresponde a un terreno compactado.

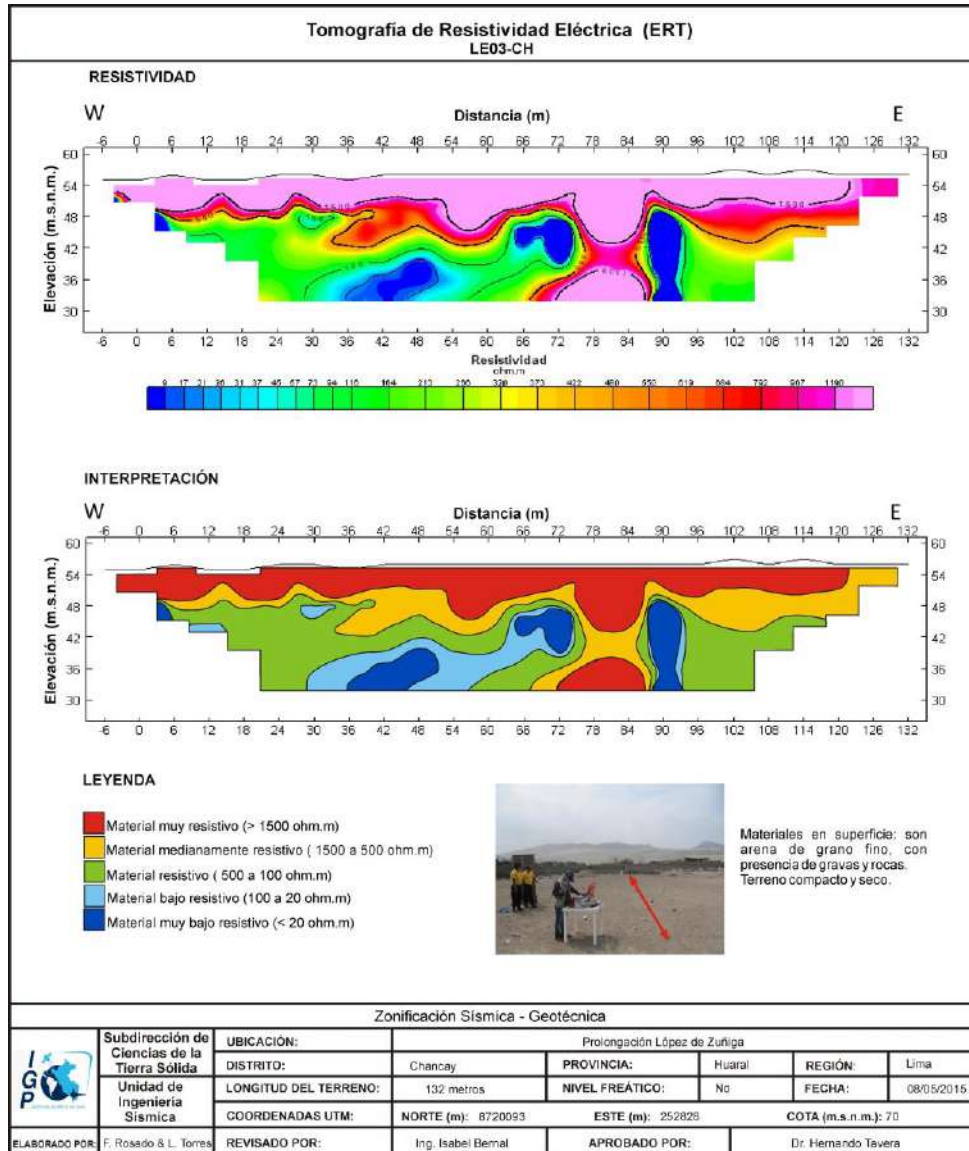


Figura 70c: Análisis e interpretación de la Línea LE03.CH de tomografía eléctrica

**- Línea de tomografía eléctrica LE04-CH:** Línea eléctrica con orientación norte-sur, realizada en el Estadio Municipal de Chancay, ubicado en la parte noroeste de la zona de estudio (Figura 70d). En esta sección predominan suelos con altas resistividades (>450 ohm.m), principalmente en la parte superior hacia el extremo norte de la sección, alcanzando espesores entre 10 y 20 metros en profundidad y con una ligera inclinación hacia el lado sur del perfil. En el extremo sur, entre los 96 y 114 metros en distancia, aparece un medio de mayor resistividad de forma ovoide ubicado a una profundidad entre 4 y 15 metros, tanto encima como bajo de este ovoide, existen medios con mayor conductividad y/o resistividades menores a 30 ohm.m, que podrían verse influenciados por el agua del mar, ya que el extremo sur de la línea está más próximo al mar.

Sobreyace a este medio resistivo un medio con menor resistividad desde los 30 metros de distancia hacia el final de la línea debido a la influencia del constante riego por aspersión que se realiza en el estadio, siendo en este caso los valores de resistividad en el orden de 40 a 450 ohm.m.

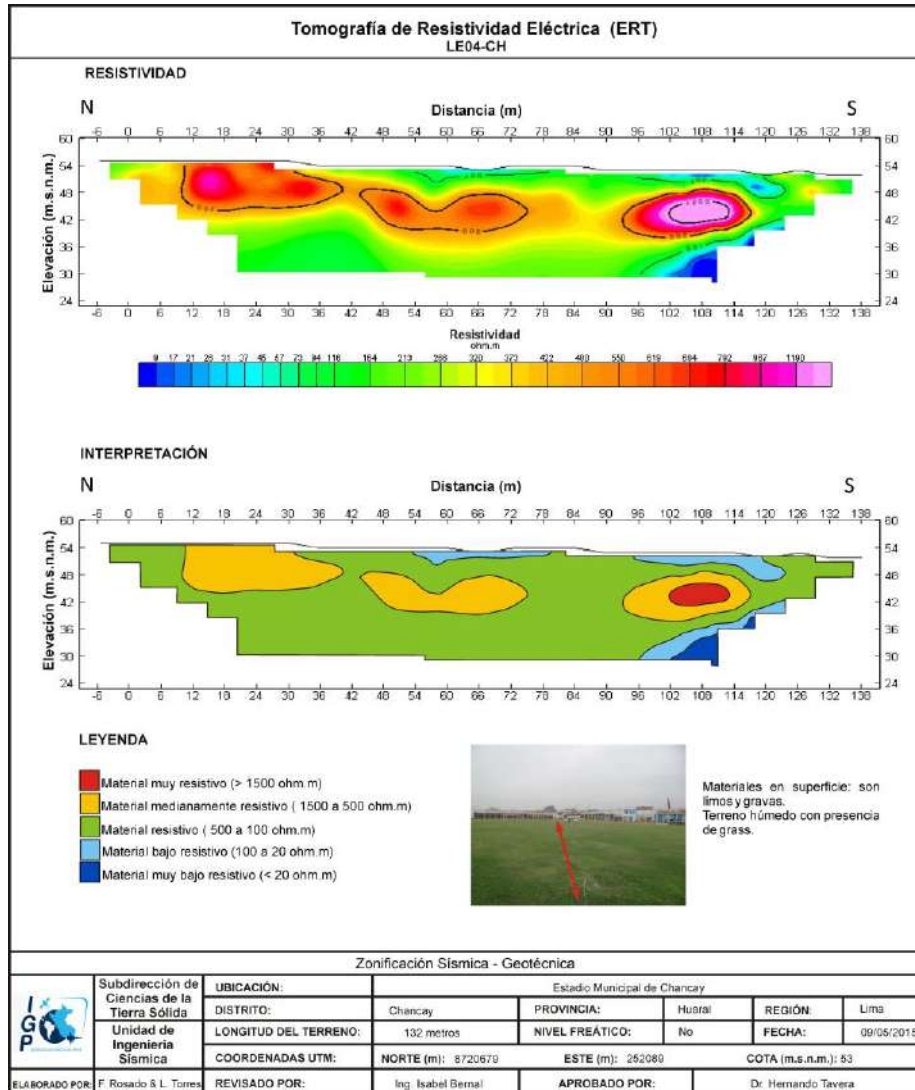


Figura 70d: Análisis e interpretación de la Línea LE04-CH de tomografía eléctrica

**- Línea de tomografía eléctrica LE05-CH:** Línea eléctrica con orientación oeste-este, realizada en la calle Sucre sobre una pista afirmada y ubicada al noreste de la zona de estudio (Figura 70e). En la parte superior y a lo largo de esta sección se identifica la presencia de un cuerpo en el cual predominan altas resistividades (> a 400 ohm.m) y con espesores entre 30 a 35 metros en profundidad, siendo su base casi horizontal y constante sobre toda la sección. Este medio resistivo sobreyace a un medio menos resistivo que presenta valores

del orden de 40 a 400 ohm.m, el mismo que se mantiene uniforme y constante, excepto entre los 120 a 180 metros en distancia donde se distingue la transición a un medio conductor con resistividades menores a 30 ohm.m. En el extremo este de la sección eléctrica, existe un canal de agua recubierto por cemento y posterior a este, aún existen terrenos de cultivo. Por la forma horizontal y paralela a la superficie, los medios resistivos y semi-resistivos sugieren la presencia de una estructura de sedimentación, donde un material antiguo subyace a otro de mayor compactación. En superficie y a lo largo del tendido, se observa la presencia de material de grano fino, limo arcilloso, arena fina y pocas gravas, además, la pista esta afirmada y el terreno es seco.

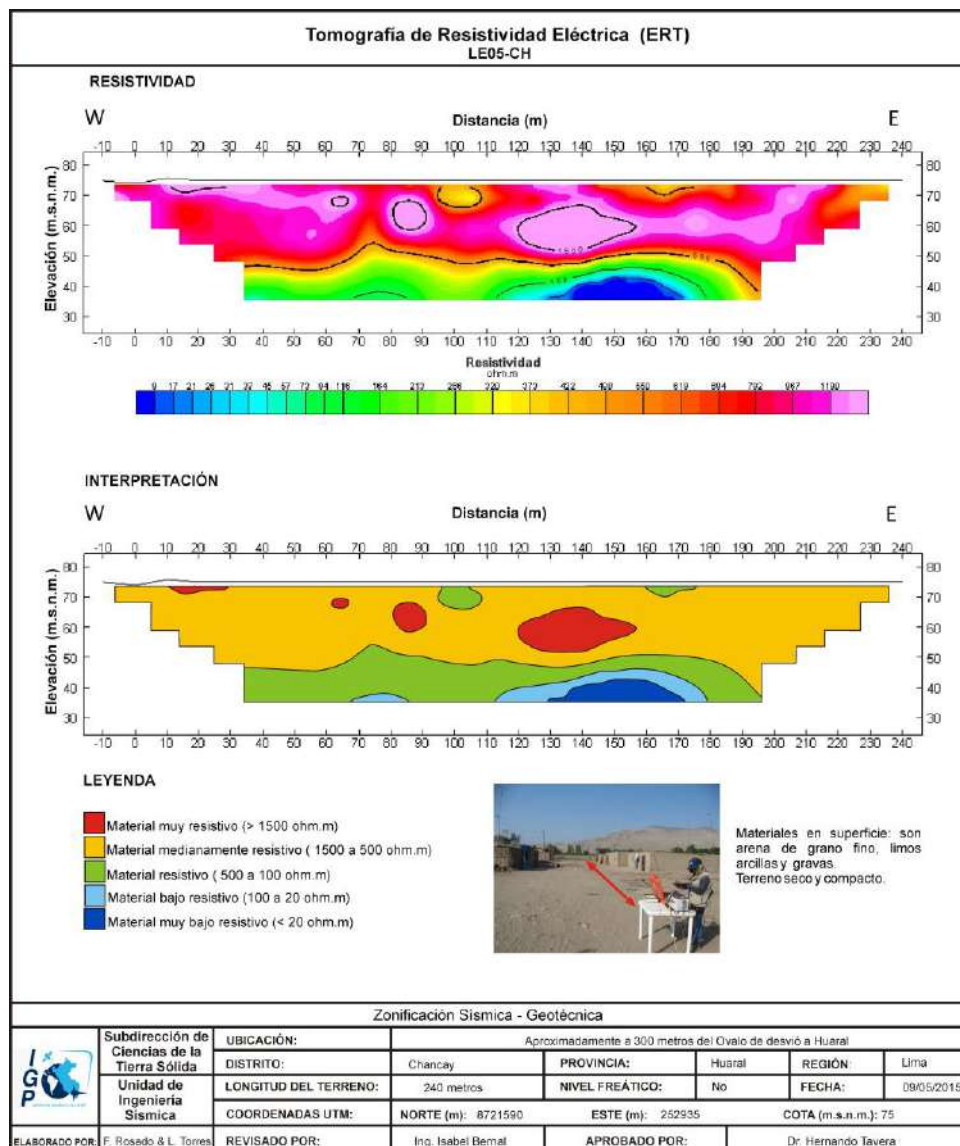


Figura 70e: Análisis e interpretación de la Línea LE05-CH de tomografía eléctrica

**.- Línea de tomografía eléctrica LE06-CH:** Línea eléctrica con orientación noreste-suroeste realizada sobre un terreno agrícola al costado de la fábrica del Molino, ubicado en el extremo NE de la zona de estudio (Figura 70f). A lo largo de esta sección predominan suelos con medias y altas resistividades, excepto a niveles superficiales que se presentan valores del orden de 60 a 400 ohm.m, definiendo la presencia de suelos con espesores de 3 a 6 metros, seguidos por una capa uniforme con valores mayores a 400 ohm.m y espesores ~20 metros. En superficie las resistividades bajas serían asociadas a la influencia de los riegos periódicos que se realizan sobre los terrenos de cultivo. Estos valores de resistividad, también están presentes en la parte inferior de la sección eléctrica. En general, en casi toda la sección se observa la presencia de suelos con valores altos de resistividad.

Del estudio de resistividad eléctrica se concluye que hacia el extremo sur de la ciudad de Chancay, próximo a Los Humedales, predominan suelos con valores bajos de resistividad (menores a 20 ohm.m) debido a la presencia de una napa freática superficial de 5 y 10 metros de espesor compuesto por suelos arenos-limosos. En la zona central de la ciudad, predominan suelos con valores altos de resistividad (>1000 ohm.m) y espesores entre 10 y 15 metros, para luego, en profundidad, disminuir los valores de resistividad hasta los 450 ohm.m. Hacia el extremo Norte de la ciudad, los valores de resistividad se incrementan considerablemente; además, los suelos resistivos y no resistivos presentan formas alargadas y casi paralelas a la superficie, pudiendo ser suelos provenientes de un proceso de sedimentación, y en donde un material antiguo subyace a otro que se encuentra con mayor compactación.

En sectores de la zona Céntrica y Norte de la ciudad de Chancay, en superficie se observa la presencia de capas de suelos con resistividades altas, asociadas a medios que fueron compactados para dar paso al crecimiento urbano de la ciudad (pistas afirmadas), generando la presencia de terrenos secos y con el predominio de suelos conformados por limos arcillosos, arenas finas y gravas. En otros sectores, los suelos presentan resistividades bajas, debido a la influencia de los riegos periódicos que se realizan sobre los terrenos de cultivo.

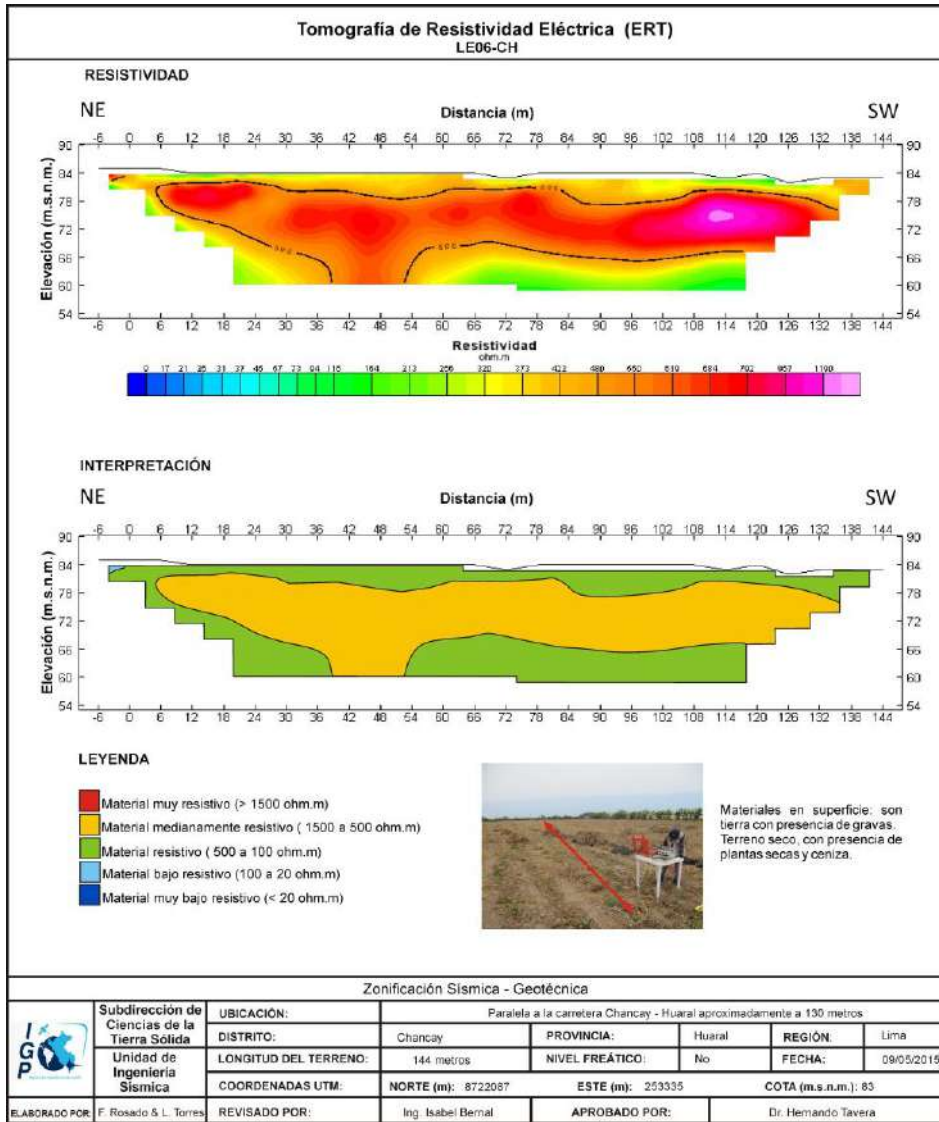


Figura 70f: Análisis e interpretación de la Línea LE06-CH de tomografía eléctrica

## 12.- ZONIFICACIÓN SÍSMICA - GEOTÉCNICA

El Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica para la ciudad de Chancay considera el análisis e interpretación de la información geológica, geomorfológica, geodinámica, geotécnica, sísmica y geofísica. Para la ciudad de Chancay, las características dinámicas del suelo han permitido identificar, de acuerdo a la Norma de Construcción Sismorresistente (Norma E-030), la existencia de dos tipos de suelos: Tipo S1 y S4, este último asociado a condiciones excepcionales.

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

Para la ciudad de Chancay se propone la siguiente Zonificación Sísmica-Geotécnica (Figura 71):

**ZONA I:** Conformada por estratos de grava-limosa que se encuentran a nivel superficial o cubiertos por un estrato de material fino de poco espesor. Este suelo tiene un comportamiento semi-rígido, con periodos de vibración natural que varían entre 0.1 y 0.3 segundos, correspondiendo a suelos Tipo S1 de la norma sismorresistente peruana, con velocidades de ondas de corte de entre 300 y 500 m/s. La zona presenta suelos con capacidad portante mayor a los 3.0 kg/cm<sup>2</sup>. De acuerdo a la Figura 71, dentro de esta zona, se indica con líneas inclinadas en rojo, las áreas con amplificaciones mayores e iguales a 4 veces (próximos a los Humedales de Santa Rosa y en las zonas bajas del Cerro Trinidad); es decir, suelos de menor consistencia. Además, con líneas inclinadas en amarillo, se indica las zonas donde sobresale un segundo pico a periodos de 0.3 y 0.6 segundos con menor amplitud.

**- ZONA II y III:** No se han identificado claramente en el área d estudio.

**- ZONA IV:** Conformada por depósitos marinos y suelos pantanosos. El comportamiento dinámico de los suelos ha sido tipificado como suelos de Tipo S4 según la norma sismorresistente peruana (Según la Norma E03, es un caso especial y/o condiciones excepcionales). Dicha zona se ubica próxima al puerto de Chancay y en los Humedales de Santa Rosa.

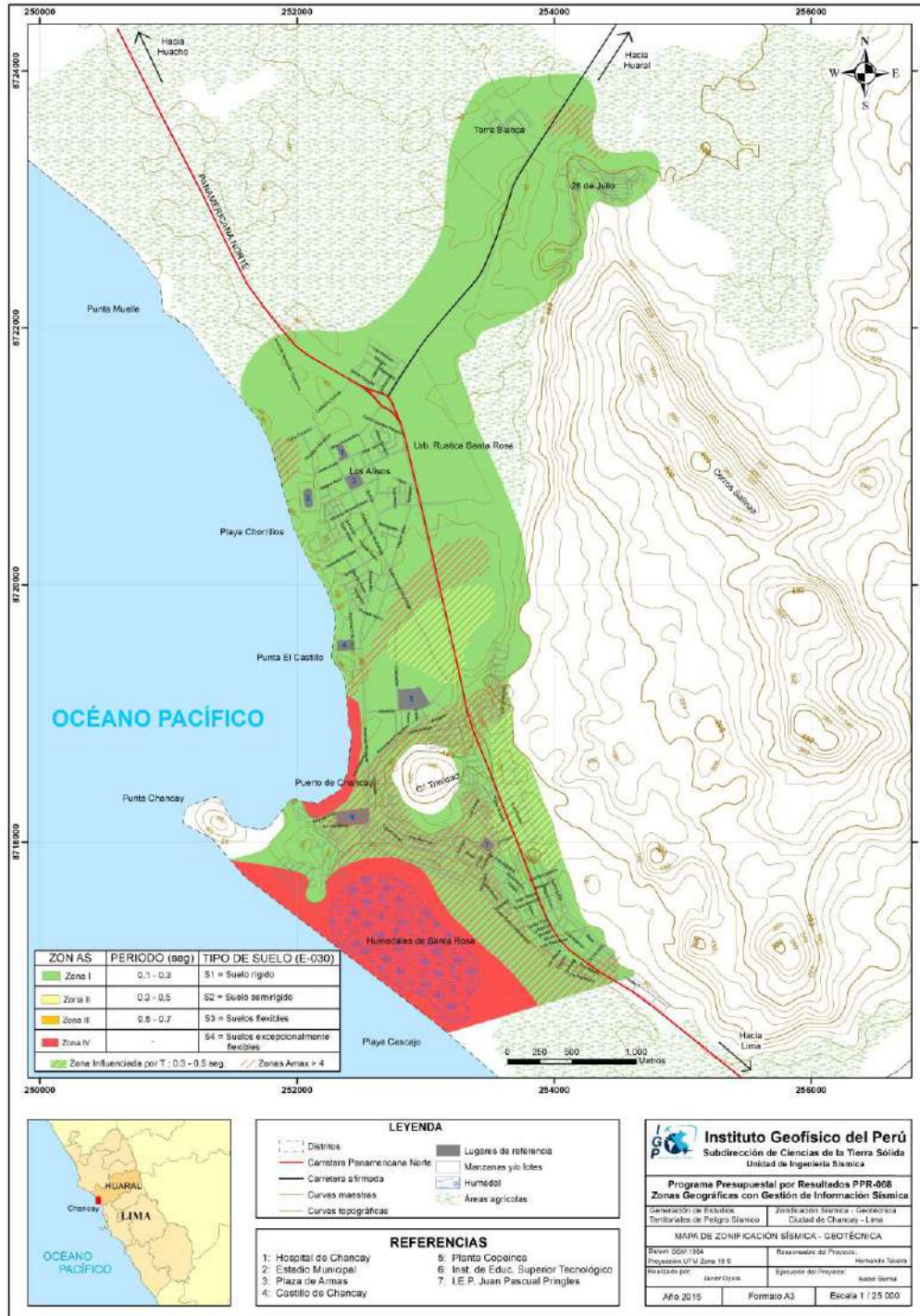


Figura 71: Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica para la ciudad de Chancay

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

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

### CONCLUSIONES

El área urbana de la ciudad de Chancay se asienta sobre la unidad geomorfológica llanura fluvio-aluvial, abarcando el 60% de la zona de estudio, mientras que, al este se observan extensos mantos eólicos que cubren a las montañas. Al oeste y sur del cerro Trinidad, se encuentran las lomas y colinas que bordean a los humedales de Santa Rosa, los cuales abarcan el 30% de la zona de estudio. A lo largo del borde costero se tiene a las playas, la bahía y los acantilados, representando el 10% de las geoformas que predomina en Chancay.

Se han identificado procesos de caídas de rocas provenientes del cerro Trinidad, ello debido a la cobertura detrítica y al estado de diaclasamiento de los afloramientos rocosos.

El Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica para la ciudad de Chancay ha permitido identificar, de acuerdo a la Norma de Construcción Sismorresistente (Norma E-030), la existencia de dos tipos de suelos: Tipo S1 y S4, este último asociado a condiciones excepcionales observadas en el puerto de Chancay y en los Humedales de Santa Rosa.

### RECOMENDACIONES

Este documento técnico debe ser utilizado por las autoridades locales y regionales de la ciudad de Chancay 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 Chancay.

## 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
- Dávila. S y Celi, C, INGEMMET (1994) - Estudio Geodinámico de la cuenca del río Chancay – Huaral", Boletín N° 012.
- 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.
- INRENA (1994) - Diagnóstico de la calidad del agua de la vertiente del Pacífico: Cuenca Chancay – Huaral.
- INRENA (2001) - Evaluación y ordenamiento de los recursos hídricos de la cuenca Chancay – Huaral.
- INDECI-PENUD (2007) - Mapa de Peligros de la Ciudad de Chancay.
- 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 Education, 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.
- 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.
- Villegas\_Lanza, J.C. (2014)
- 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



Centro Nacional de Monitoreo Sísmico - Acelerométrico

## **DIRECCIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA SOLIDA**

Calle Calatrava 216 – Urb. Camino Real – La Molina

Teléfono: 3172300 (140)