

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 HUARAL

(Comportamiento Dinámico del Suelo)

Responsable: Hernando Tavera

Lima - Perú

2016

ZONIFICACIÓN SÍSMICA - GEOTÉCNICA DEL ÁREA URBANA DE LA CIUDAD DE HUARAL

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 Hancoco

Jesús Huarachi

Apoyo Técnico

Estela Torres
Estherfilia Campos
Augusto Cárdenas
Roberth Yupanqui

RESUMEN EJECUTIVO

En el marco del Programa Presupuestal por Resultados N°068: Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres se ejecutó el proyecto “Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica”, el mismo que tuvo como una de sus actividades la “Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico” obteniéndose como resultado final, la Zonificación Sísmica - Geotécnica del área urbana de la ciudad de Huaral, capital de la 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.

Los resultados obtenidos para la ciudad de Huaral han permitido identificar, según la Norma de Construcción Sismorresistente (Norma E.030), la existencia de una zona sísmica-geotécnica correspondiente a suelos Tipo S2.

El Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica para la ciudad de Huaral 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 HUARAL

3.1.- Clima

3.2.- Hidrografía

4.- ANTECEDENTES

4.1.- Estudios previos

5.- CONDICIONES LOCALES DE SITIO

6.- NORMA E.030, DISEÑO SISMORRESISTENTE

7.- METODOLOGÍA

7.1.- Estudios de sismicidad

7.2.- Estudios de peligro sísmico

7.3.- Estudios geológicos y geotécnicos

7.4.- Estudios sísmicos y geofísicos

8.- ASPECTOS SISMOLÓGICOS

8.1.- Sismicidad

8.2.- Peligro Sísmico

9.- GEOMORFOLOGÍA, GEOLOGÍA y GEODINÁMICA

9.1.- Geomorfología

9.1.1.- Unidades geomorfológicas

9.1.1.1.- Origen denudacional

9.1.1.2.- Origen fluvial

9.1.1.3.- 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 calidad de las construcciones y la educación de la población.

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):

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 Huaral, capital de la 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 la toma de decisiones para 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 Huaral

3.- LA CIUDAD DE HUARAL

La ciudad de Huaral, fue fundada por los españoles el 21 de marzo de 1551, bajo la ordenanza Real, siendo Virrey del Perú don Antonio de Mendoza Marqués de Mondejar, como asiento de naturales bajo la advocación religiosa de San Juan Bautista de Huaral y en reemplazo de la población prehispánica llamada “Guaral Viejo” conformando por los ayllus dispersos de Guaril, Huando, Jecuan, Huaca – Puquio, Huayan, Cuyo y otros.

Huaral es una ciudad ubicada en la costa central del Perú, a 78 km al norte de Lima y es capital de la Provincia de Huaral, la cual forma parte del Departamento de Lima. También es conocida como la “Capital de la Agricultura” y “Ciudad de mis Amores”. La ciudad de Huaral, corresponde a un antiguo poblado que ha crecido con la modernidad sin perder sus características propias de la ciudad provinciana y que emerge como cosmopolita sin necesidad de ser demasiado grande, ya que cuenta con la mayoría de los servicios y está accediendo al avance de la tecnología. La ciudad de Huaral cuenta con modernos edificios, pero ninguno de ellos pasa los cuatro pisos, conservando sus antiguas edificaciones, tanto en el denominado Huaral cuadrado como sus barrios antiguos donde lentamente se va reemplazando al adobe por el cemento. Huaral, como la mayoría de las ciudades costeras del País, no ha sido ajena al proceso migratorio de los pobladores del interior del Perú que a partir de los 60, empezaron a llegar a esta ciudad para posesionarse de su entorno formando los Pueblos Jóvenes, Asentamientos Humanos, Centros Poblados, etc., muchos de los cuales nacieron como producto de las invasiones. Ahora se puede decir que la ciudad de Huaral se encuentra enclavada en pleno valle de Chancay, a 8 kilómetros de la margen derecha del río, rodeado de verdor y cerros, teniendo como moradores a gente profundamente hospitalaria.

En relación a su nombre HUARAL, existen dos versiones más resaltantes: La primera, corresponde al historiador Jesús Elías Ipinze, quien afirma que el término Huaral, proviene del nombre de un principal cacique del pueblo, llamado Martín GUARAL Paico, a mediados del siglo XVI. De lo que se desprende que “GUARAL” habría derivado posteriormente en ‘HUARAL’. La segunda hipótesis, corresponde al arqueólogo Julio C. Tello, quien visitó a Huaral, por motivos de efectuar

investigaciones arqueológicas; Tello afirma que el nombre de Huaral procede de la corrupción de las voces aymaras: Huaralí, Huararo, Huararí o Huallalí.

La ciudad de Huaral abarca un área de 32 km² y está conformada por los siguientes sectores (Figura 2): La Merced, Casuarinas, Esquivel, Estadio Municipal, Residencia Huaral, Cerro San Cristóbal, Urb. Lino Cahuas, AAHH Nuevo Perú, Dos de Diciembre, Jose Carlos Mariátegui, Urb. Aparicio Hermanos, Valle Hermoso y los Naturales (Figura 3).

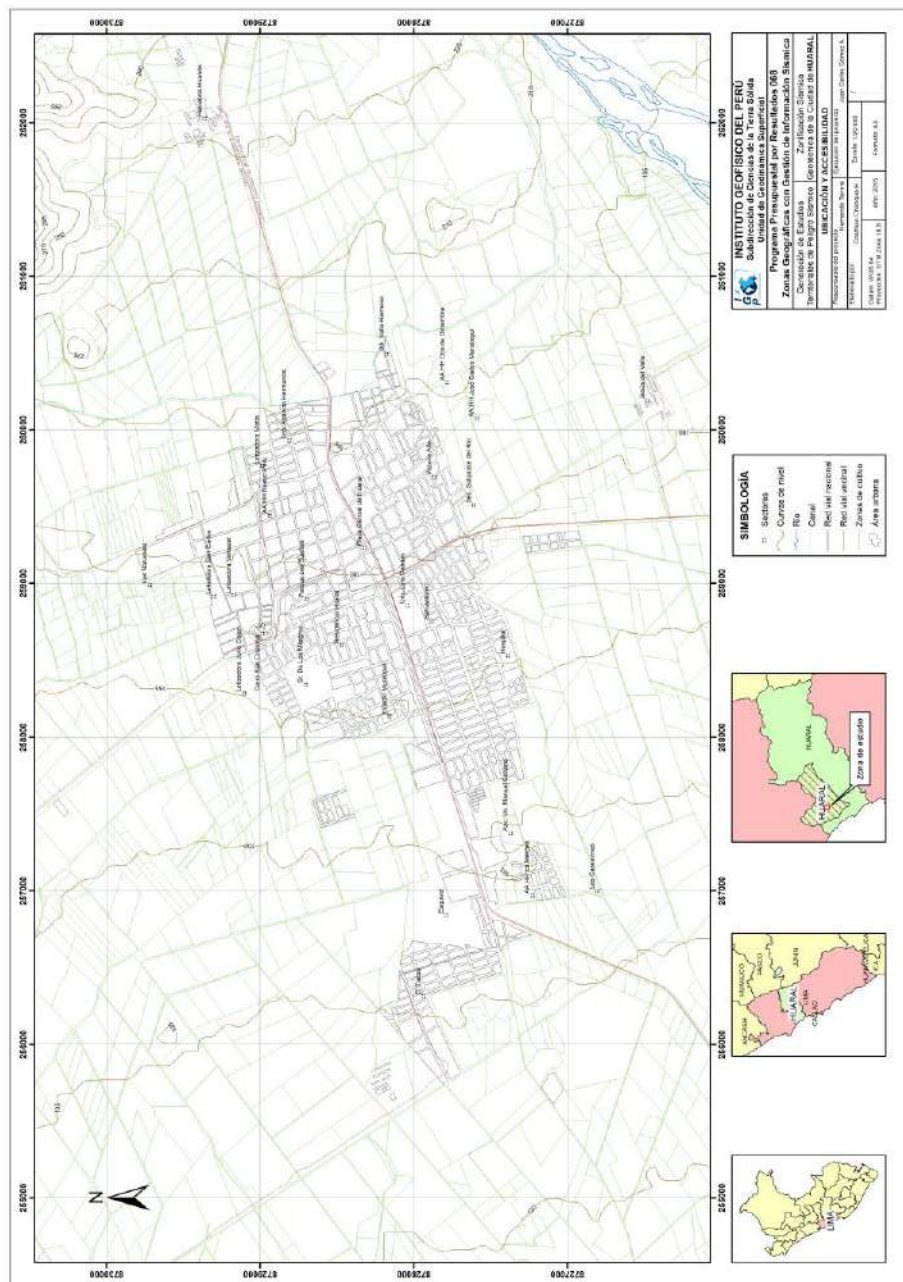


Figura 2: Ubicación geográfica de la ciudad de Huaral



Figura 3: Vista panorámica de la Urb. Los Naturales ubicada en el extremo noroeste de la ciudad de Huaral.

3.1.- Clima

Según el “Estudio Geodinámico de la cuenca del río Chancay – Huaral” (INGEMMET, 1994), la provincia de Huaral presenta un clima desértico, templado y húmedo con lloviznas entre los meses de abril a diciembre, y con radiación solar intensa entre los meses de enero a marzo. La temperatura máxima absoluta fluctúa entre 25°C a 27°C y la mínima entre 14°C y 15°C, llegando a un promedio de 18° C. Del mismo modo, las precipitaciones anuales máximas son de 36 mm con promedio anual de 18 mm.

En la zona de estudio existen tres estaciones del SENAMHI, dos son del tipo meteorológicas: Huayan y Huaral, el tercero del tipo hidrológico conocida como Dren Jecuan. De estas estaciones, la de Huayan cuenta con datos de mejor calidad, aunque se encuentra a una diferencia de altura, con respecto a la ciudad de Huaral, de 170 m.s.n.m. Los datos de esta estación fueron tomados para verificar los parámetros de temperatura y precipitación descritos líneas arriba.

3.2.- Hidrografía

El río Huaral nace del nevado Alca y de una serie de lagunas ubicadas al noroeste de la provincia de Canta. En los tramos iniciales toma el nombre de Ragrampi, llegando a recorrer una distancia de 110 Km aproximadamente, y actualmente es la principal fuente de agua de la ciudad. Este río, en su origen y

evolución ha dado forma a la cuenca y al cono deyectivo fluvio aluvial sobre el cual se asienta la zona urbana de la ciudad de Huaral. Como todos los ríos de la costa, se desplaza a manera de estrechos cursos torrentosos en su parte alta y media, para luego desarrollar un amplio valle en el curso inferior, con suelos que permiten una amplia actividad agrícola.

En cuanto a su caudal, las variaciones pueden ser notorias, llegando a “reducirse” en algunos periodos, para luego con la presencia de lluvias intensas incrementarse durante los meses de verano para llegar a provocar desbordes.

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.

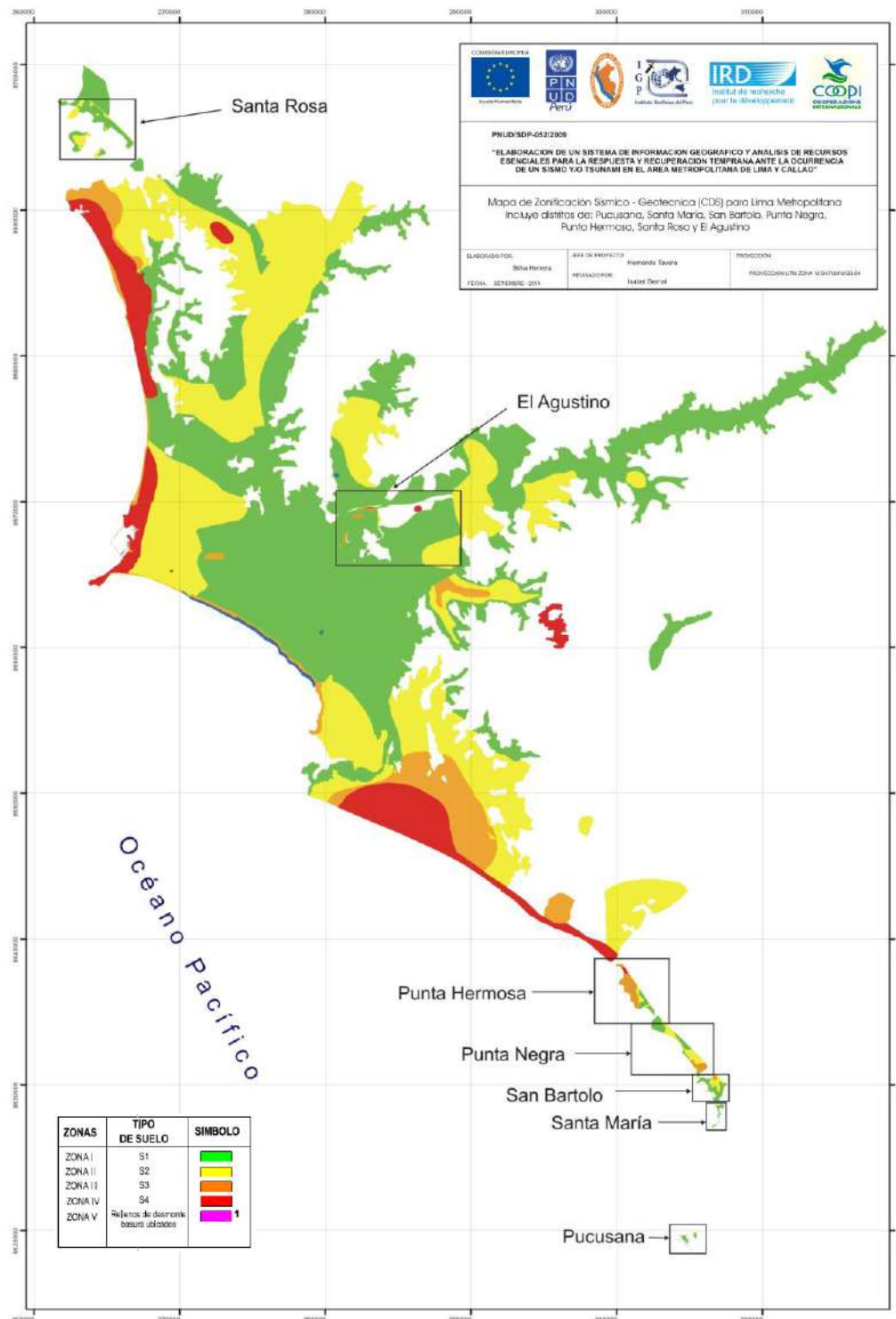


Figura 4: Mapa de Zonificación de suelos para Lima Metropolitana elaborado por el CISMID (APESEG, 2005) y complementado por el IGP (distritos en recuadro) dentro del proyecto PNUD (PNUD, 2010)

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 Huarmey del departamento de Ancash; además de Barranca y Huacho del departamento de Lima. En el año 2014, estudios similares son realizados en las ciudades de Acarí, Bella Unión, Yauca, Chala, Camaná, Arequipa, Punta de Bombón y Cocahacra, todas ubicadas en el departamento de Arequipa.

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

4.1.- Estudios previos

Para la ciudad de Huaral, 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).

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.

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: Sector Huando en la ciudad de Huaral. Obsérvese la presencia de materiales detríticos que por procesos geodinámicos se deslizan hacia las viviendas.

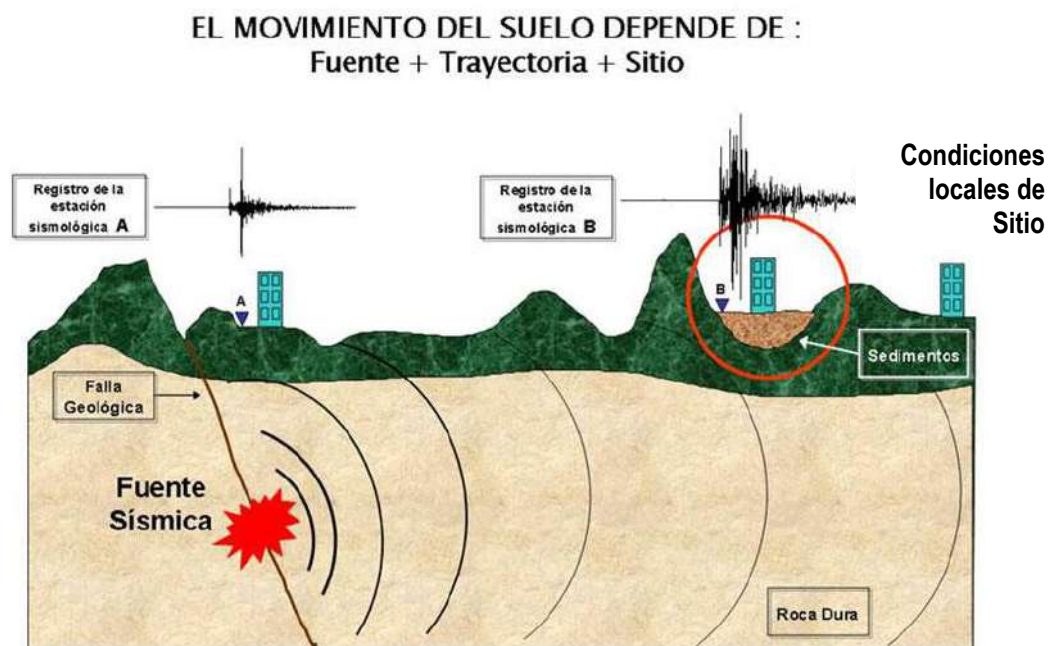


Figura 5b: Las condiciones locales de sitio controlan la amplificación del sacudimiento del suelo, puesto en evidencia con la amplitud del registro sísmico obtenido sobre roca y sedimentos.

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 λ = Parámetro que depende de la rigidez del sistema estructural). Por ejemplo, según la Norma E-030 (2003), en el Perú el valor de λ 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 Huaral 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 Huaral, 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 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 de profundidad. El objetivo es extraer muestras de suelo para realizar dos tipos de análisis, el primero considera 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 6).



Figura 6: Calicata elaborada en Huaral con el apoyo de la municipalidad. Extracción de muestras para conocer, por ejemplo, la densidad del suelo mediante el método del cono de arena.

.- **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, a mayor compactación, mayor será la resistencia a la deformación.

.- **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 7).



Figura 7: Posteadora y muestras obtenidas en suelos de Huaral

.- **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 8).



Figura 8: Equipos, accesorios y técnica de DPL

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

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

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

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

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

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

corte directo, se aplica el de densidad máxima y en ambos casos, se estima el valor de capacidad portante.

7.4.- Estudios sísmicos y geofísicos

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

.- **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 9).



Figura 9: Equipo sísmico utilizado para el registro de vibraciones ambientales en Huaral: sensores Lennartz (2N) y registrador CitySharp

En la Figura 10, 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 HU-057 presenta bajos niveles de ruido; mientras que, la señal en HU-077, presenta diversidad de pulsos de ruido transitorio de variada amplitud (ruido), que al momento de su análisis, pueden ser filtrados, para no afectar a la información a utilizarse en el estudio.

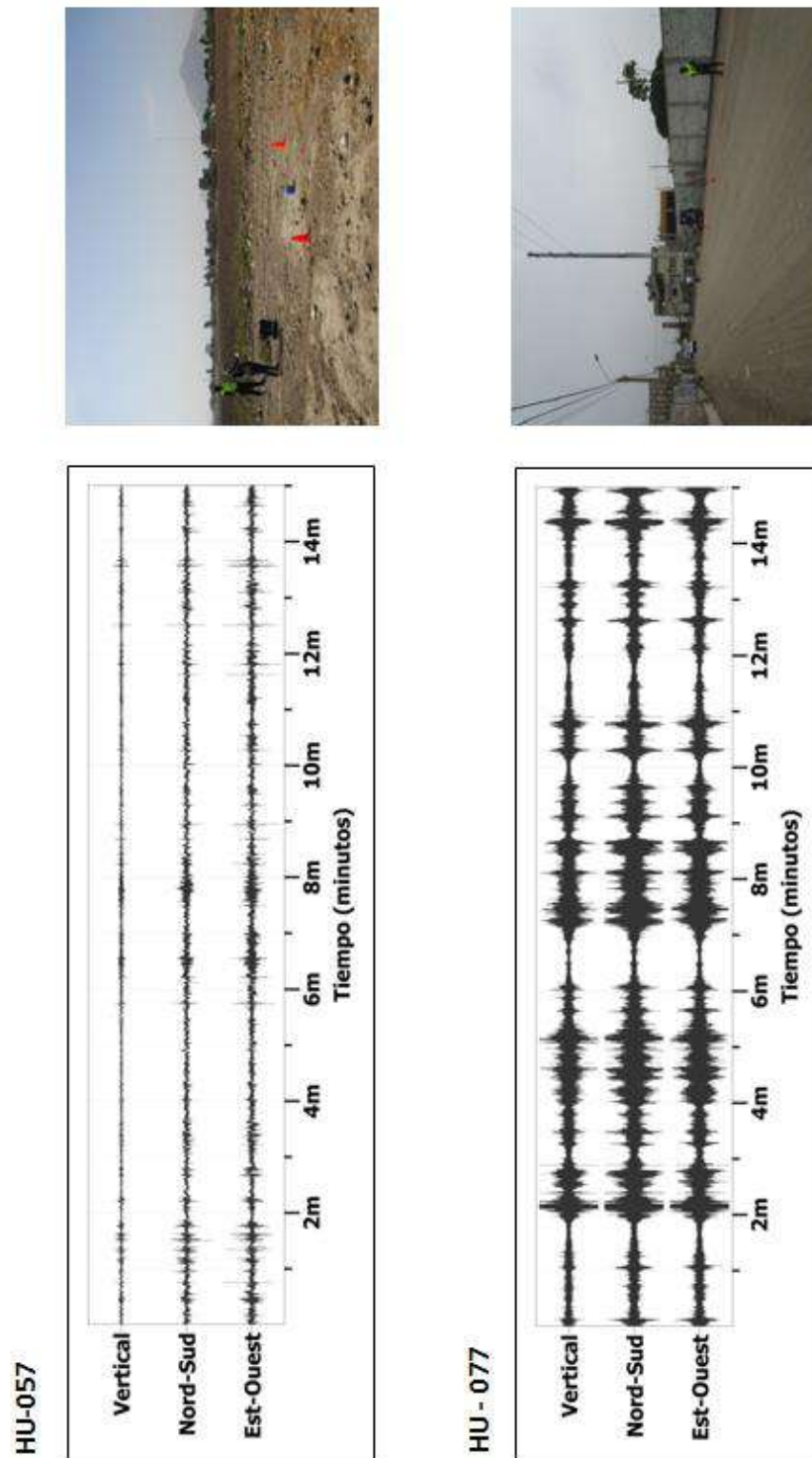


Figura 10: Ejemplos de la disposición del equipo sísmico para el registro de vibraciones ambientales. Ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos sobre un punto de registro sin presencia de ruido de fondo (HU-057) y otro con ruido transitorio (HU-077). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.

Con la información disponible, se procede a construir las razones espectrales H/V (registros de las componentes horizontales / registros en la componente vertical) a fin de identificar las frecuencias predominantes y amplificaciones relativas que caracterizan al tipo de suelo presente en el área de estudio (ver Figura 11), 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.

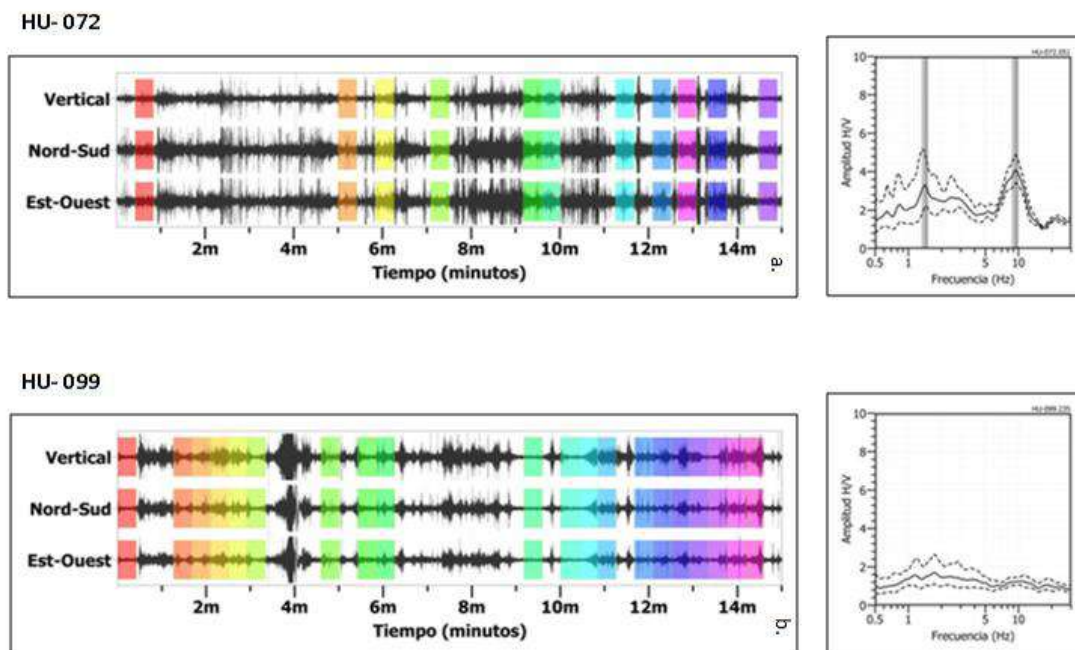


Figura 11: Ejemplo de selección de ventanas de registro de vibración ambiental (rectángulos de colores) y gráficos de H/V. HU-072: Registros y razón H/V donde se identifica la presencia de un pulso de frecuencia predominante de moderada amplitud. HU-099: Registros y razón H/V en el cual se observa que no existen frecuencias predominantes. 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 12).

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 (Vs) 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 (Vs). Luego mediante un procedimiento de cálculo iterativo inverso se obtiene el perfil de velocidad de las ondas de corte (Vs) para el punto medio de cada línea de estudio. La aplicación de un nuevo cálculo iterativo inverso, permite conocer el periodo predominante teórico

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

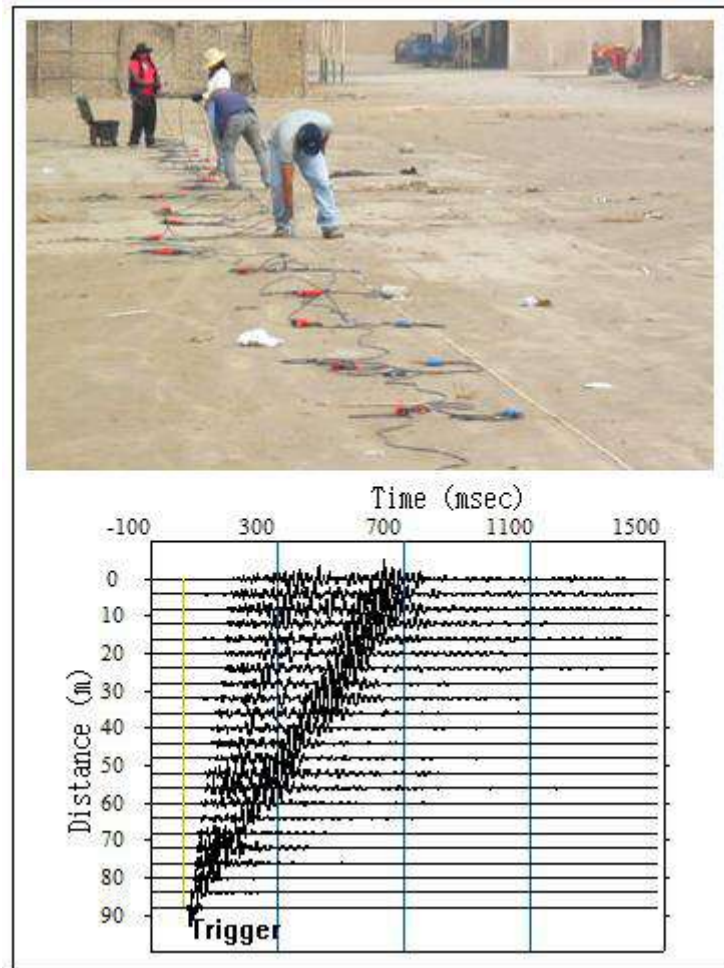


Figura 12: Disposición del equipo de refracción sísmica y trazas obtenidas en la ciudad de Huaral

.- **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 13).

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 13: Disposición del equipo de prospección eléctrica en la ciudad de Huaral

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

8.- ASPECTOS SISMOLÓGICOS

La ciudad de Huaral 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 tengan áreas extensas de percepción y por ende, de daños y destrucción. Del mismo modo, se debe estimar de manera probabilística los posibles valores de aceleración a presentarse en el futuro ante la ocurrencia de sismos de gran magnitud a fin de que sean considerados en los nuevos proyectos que se consideren para el desarrollo urbanístico de la ciudad y/o obras de ingeniería.

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 Huaral (Figura 14).

Según información histórica, los sismos que causaron daño y destrucción en Huaral 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-Huaral 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.

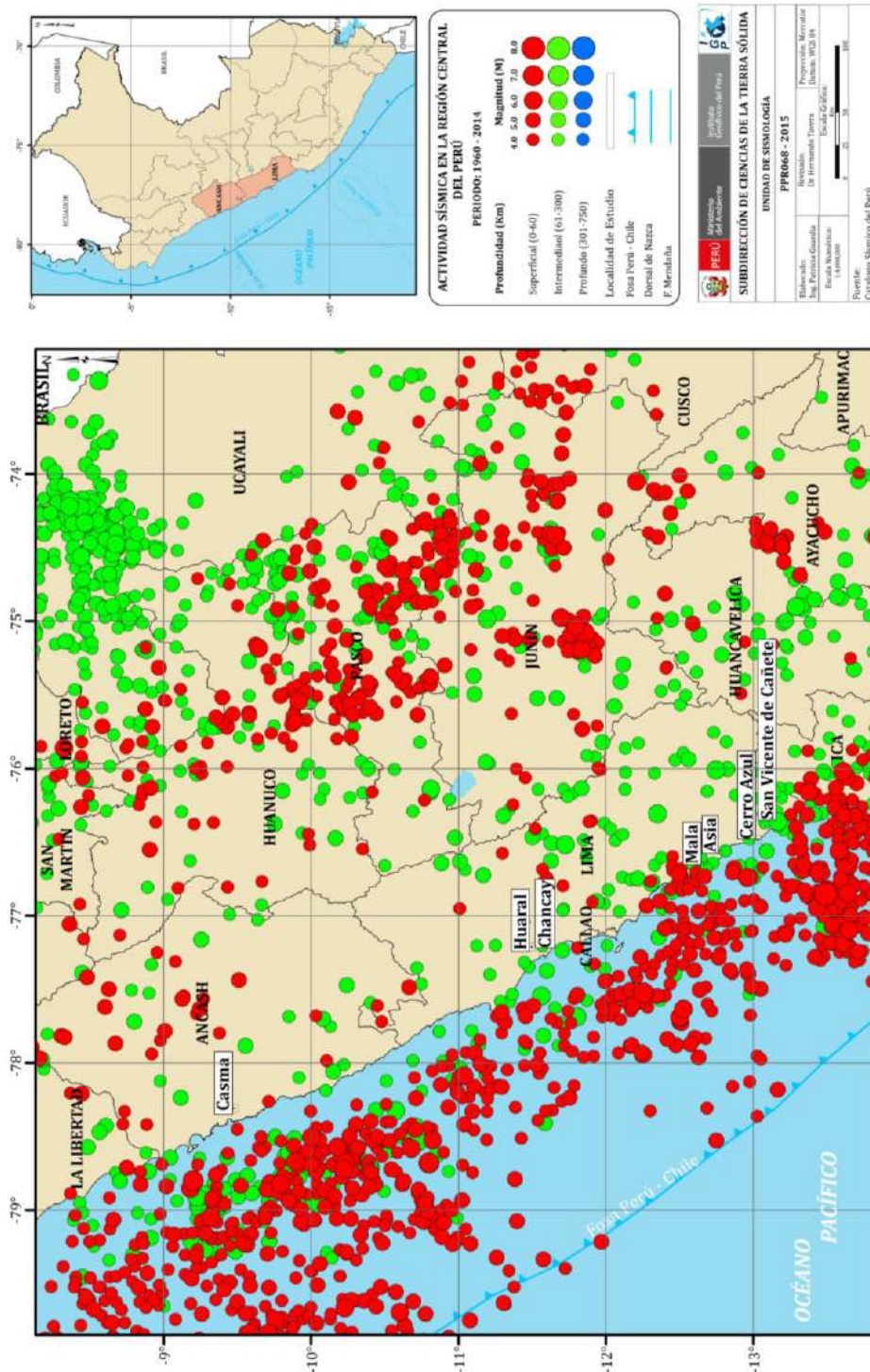


Figura 14: Mapa de sismicidad regional para el borde occidental de la región central del Perú. Los círculos en rojo corresponden a sismos de foco superficial y los verdes, a sismos de foco intermedio.

.- El Terremoto de Lima de 1828 ocurrió el 30 de marzo y devastó Lima, Callao, Chorrillos, Chancay-Huaral y otras poblaciones costeras del centro del Perú, especialmente las situadas al norte de Lima (Norte Chico). El terremoto llegó a generar un tsunami local.

.- Las ciudades de Chancay y Huaral, así como su área circundante sufrió los efectos del tremendo terremoto de 1940 y el subsiguiente tsunami en caso de Chancay (Figura 15).

.- En 1966, otro terremoto frente a Chancay-Huaral 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, durante una ceremonia murieron 24 personas al caer parte de paredes. Un moderado tsunami 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 16).

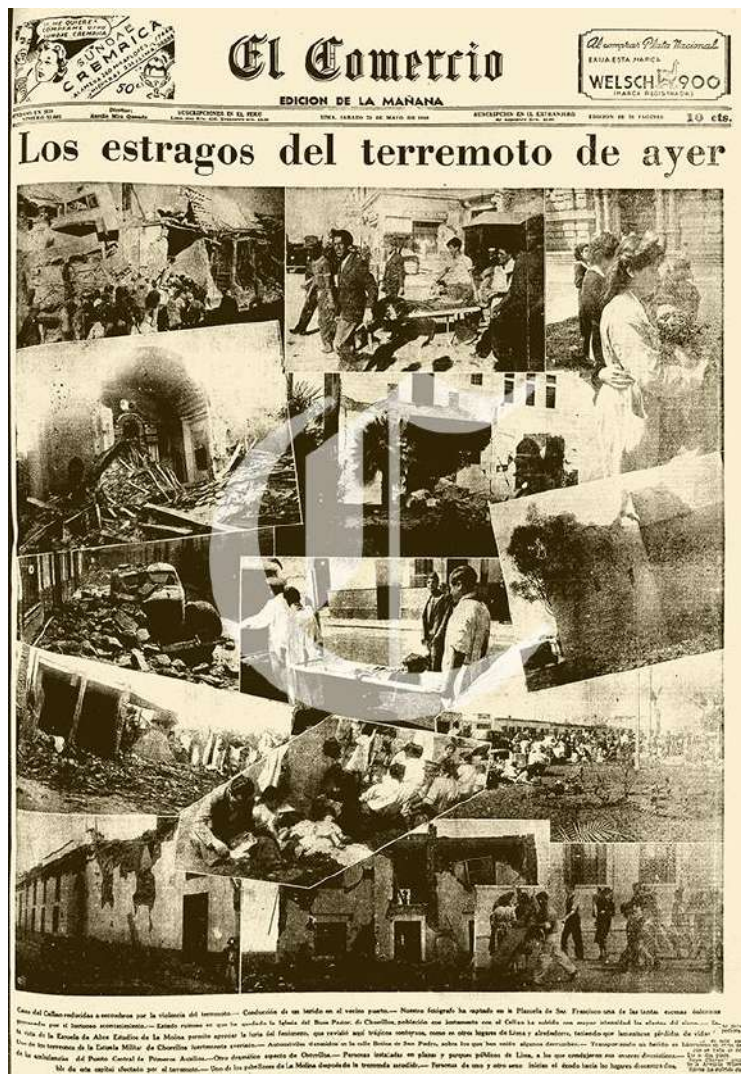


Figura 15: Noticias en el diario El Comercio sobre los daños producidos en la costa de la región central del Perú por el terremoto de 1940.

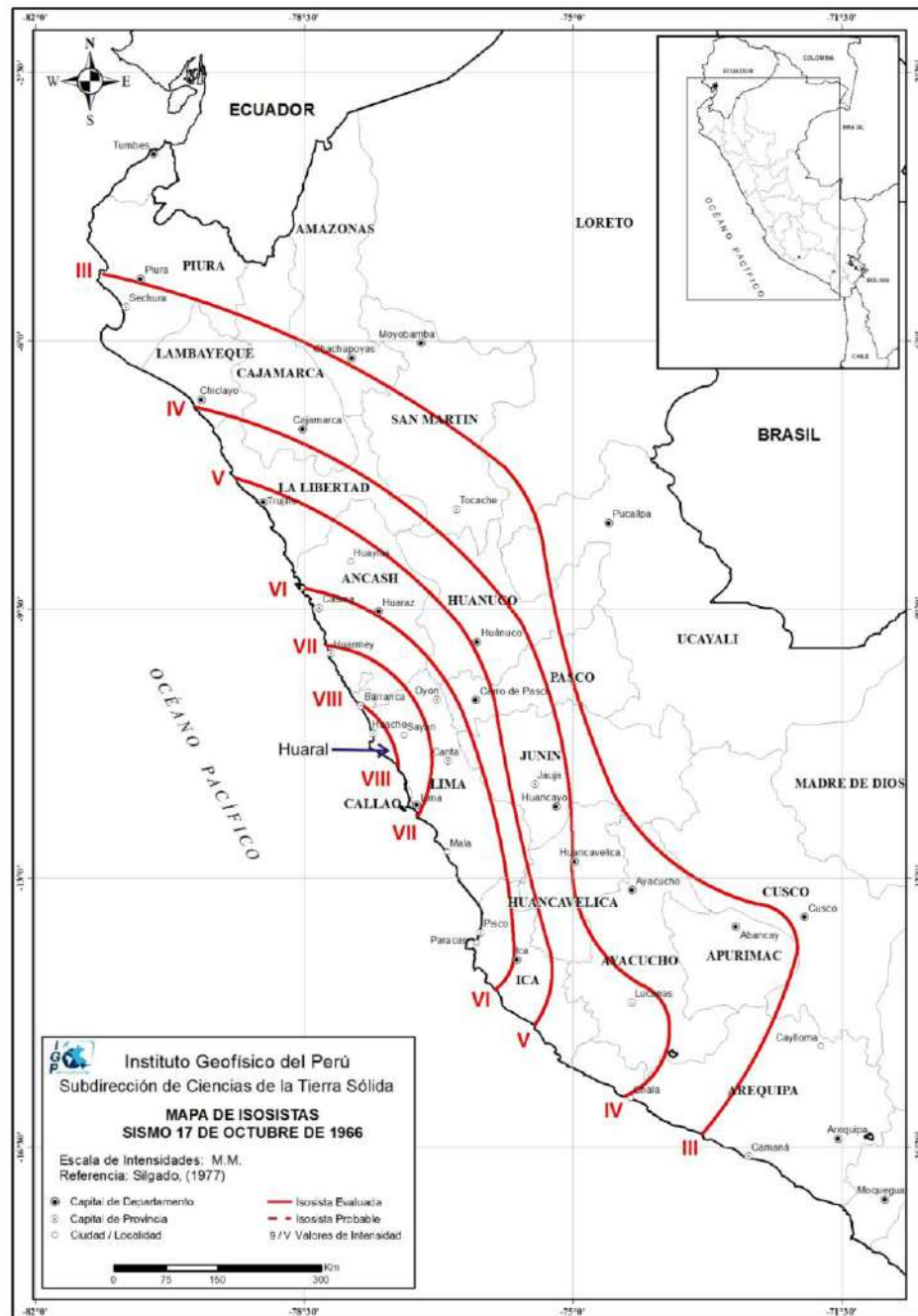


Figura 16: Mapa de isosistas para el terremoto del año 1966 que afectó a la ciudad de Huaral con intensidades del orden de VIII en la escala de Mercalli Modificada

Por otro lado, en la Figura 17 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, Huaral es una ciudad expuesta a alto riesgo para el caso de sismos.

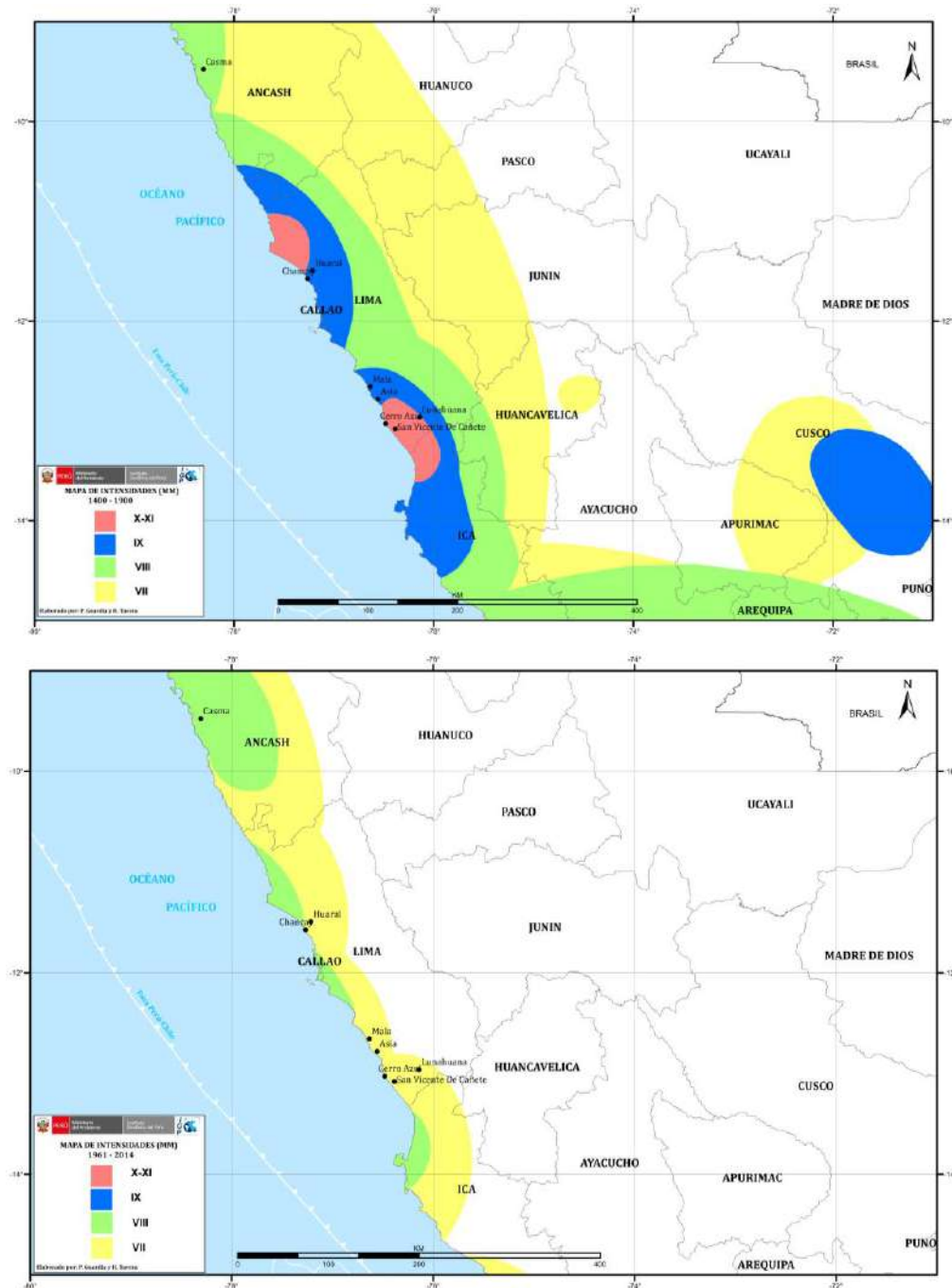


Figura 17: Mapas de isosistas (MM) correspondientes a sismos históricos (1400 – 1900) e instrumentales (1961 – 2014) ocurridos en el borde occidental de la región central del Perú

Por otro lado, en reciente informe elaborado por Tavera (2014), se indica que los estudios realizados sobre la distribución espacial de la sismicidad y de la deformación cortical, han permitido identificar 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 18). Esta información es corroborada con el estudio realizado por

Villegas-Lanza et al (2015) sobre la distribución de asperezas en el borde occidental del Perú. El sismo propuesto sería comparable al ocurrido en el año 1746 y que afectó con intensidades mayores a VIII (MM) a todas las ciudades y/o localidades ubicadas en la zona costera, desde Arequipa por el sur, hasta Chiclayo por el norte. En este escenario, en la ciudad de Huaral se esperaría daños en un gran número de viviendas y probablemente escenarios de licuación de suelos. A fin de tener información más cuantitativa sobre los posibles daños a presentarse en la ciudad de Huaral, se debe complementar este estudio con evaluaciones catastrales y estructurales.

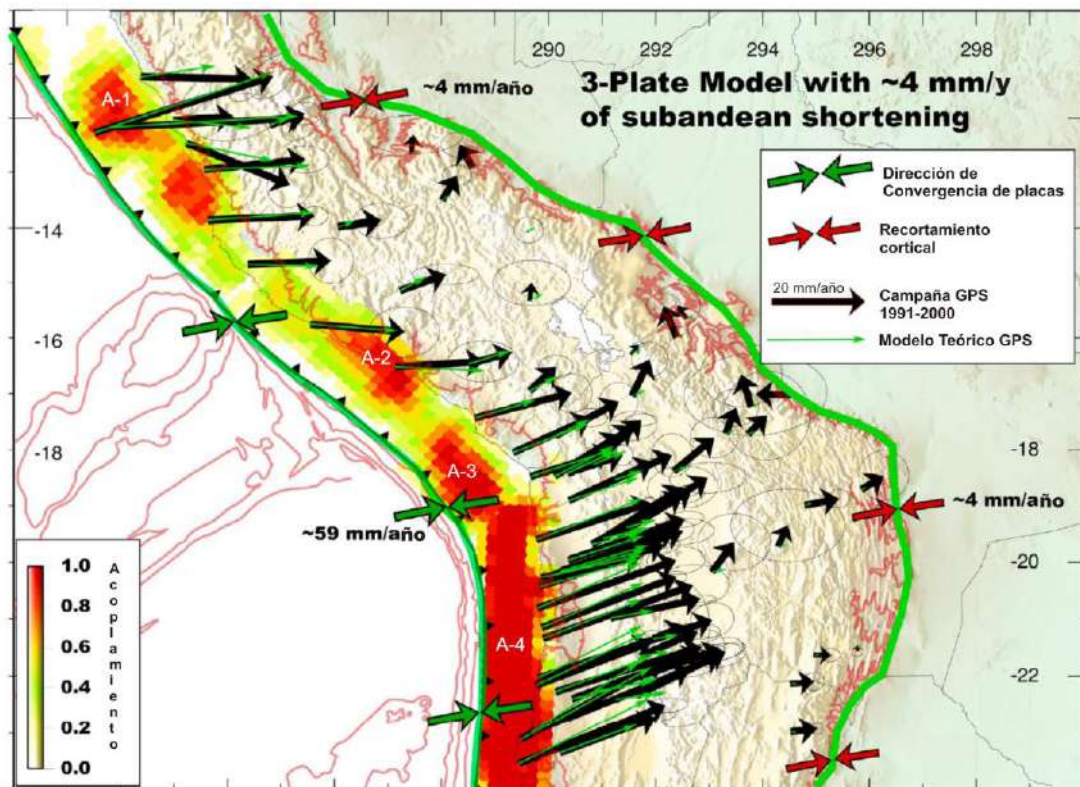


Figura 18: Mapa de asperezas y/o zonas de acoplamiento sísmico en el borde occidental de Perú-Chile obtenido a partir de datos sísmicos y GPS. Las flechas negras corresponden a las medidas GPS in situ y las verdes a las obtenidas con el modelo teórico. La buena correlación sugiere la existencia de hasta 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 y/o periodo 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 Huaral se obtiene, para un periodo de retorno de 50 años con el 10% de excedencia, valores de aceleración entre 340 a 380 gals (Figura 19), 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 en la zona con el sismo del año 1966 (Silgado, 1978).

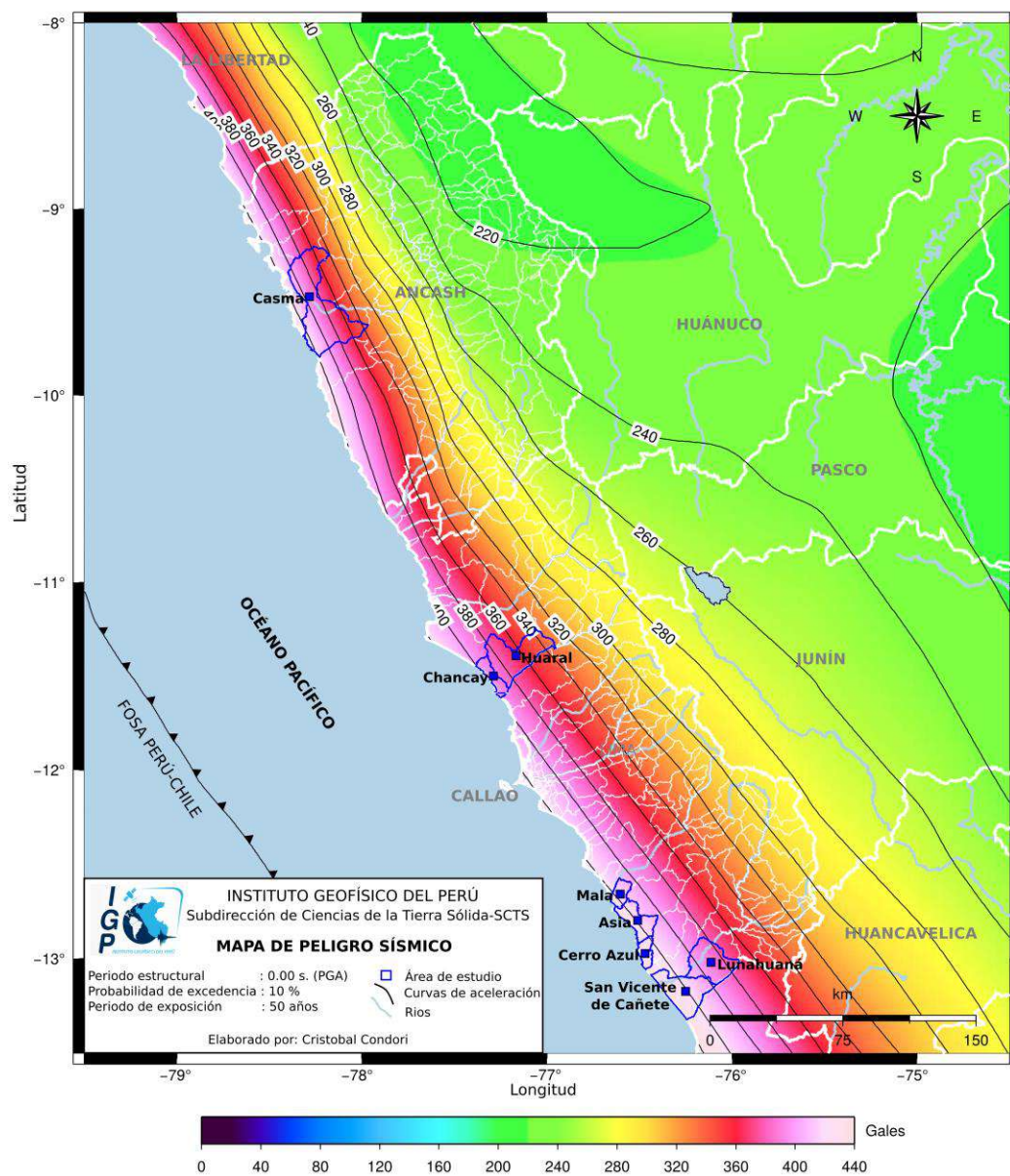


Figura 19: Peligro Sísmico para el borde occidental de la región central del Perú correspondiente a un periodo de retorno de 50 años con el 10% de excedencia.

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.

suelos identificados en este estudio.

9.- GEOMORFOLOGÍA, GEOLOGÍA Y GEODINÁMICA

9.1. Geomorfología

Los rasgos geomorfológicos presentes en la ciudad de Huaral 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 Huaral. El modelo digital del terreno (MDT), representa a una superficie en 3D construida para un área de 30 km², y se concluye que la zona urbana de la ciudad de Huaral se asienta sobre una llanura fluvio-aluvial con cotas que varían entre 140 y 210 msnm; mientras que en dirección este se observan topografías con elevaciones que sobrepasan los 290 metros (Figura 20).

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 Huaral 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 Huaral se encuentra ubicada sobre terrenos cuyas pendientes van desde los 5° (centro urbano y zona industrial) hasta los 35° en las zonas de colinas y lomadas (Figura 21).

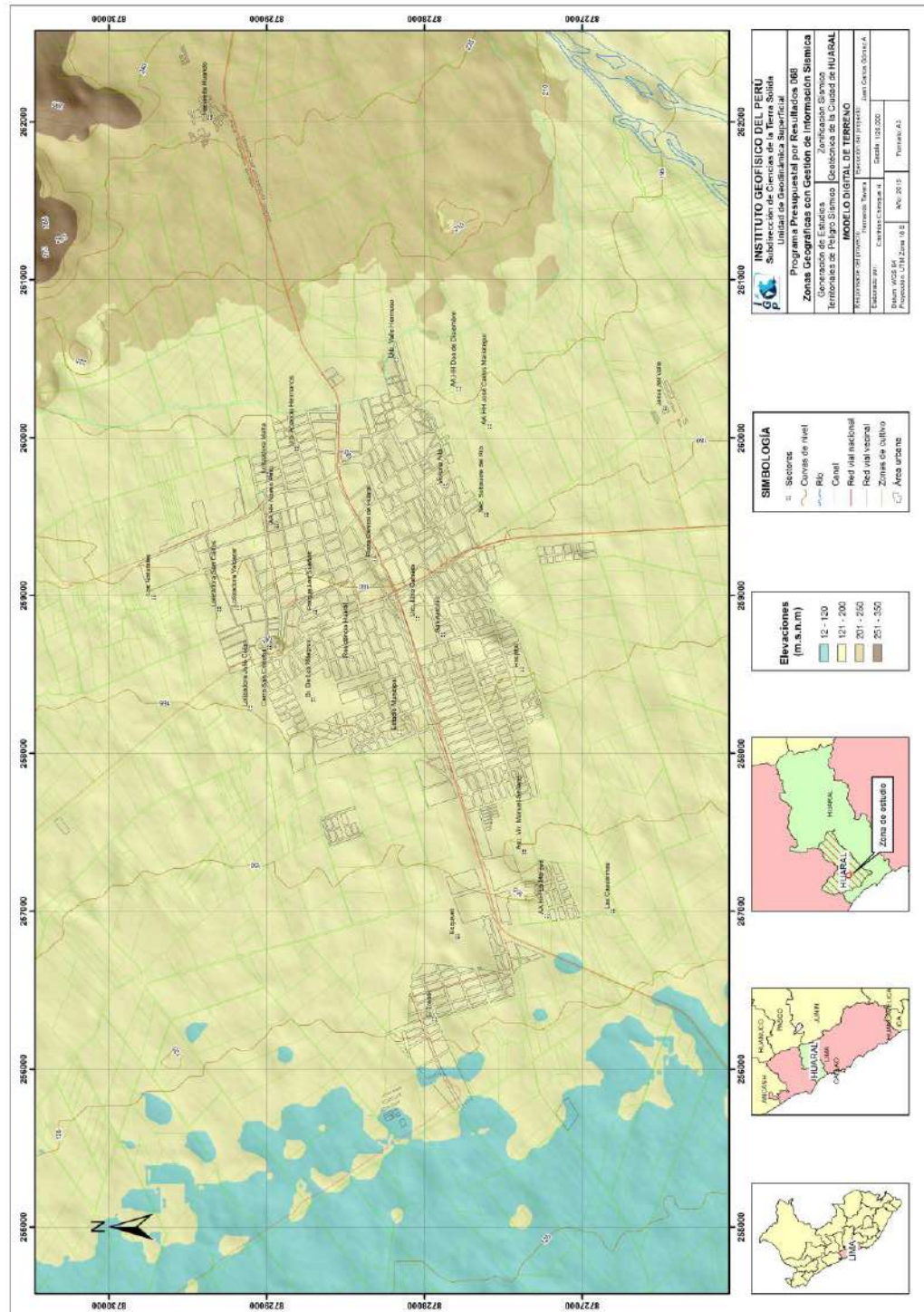


Figura 20: Mapa del modelo digital del terreno (MDT) para la ciudad de Huaral y alrededores

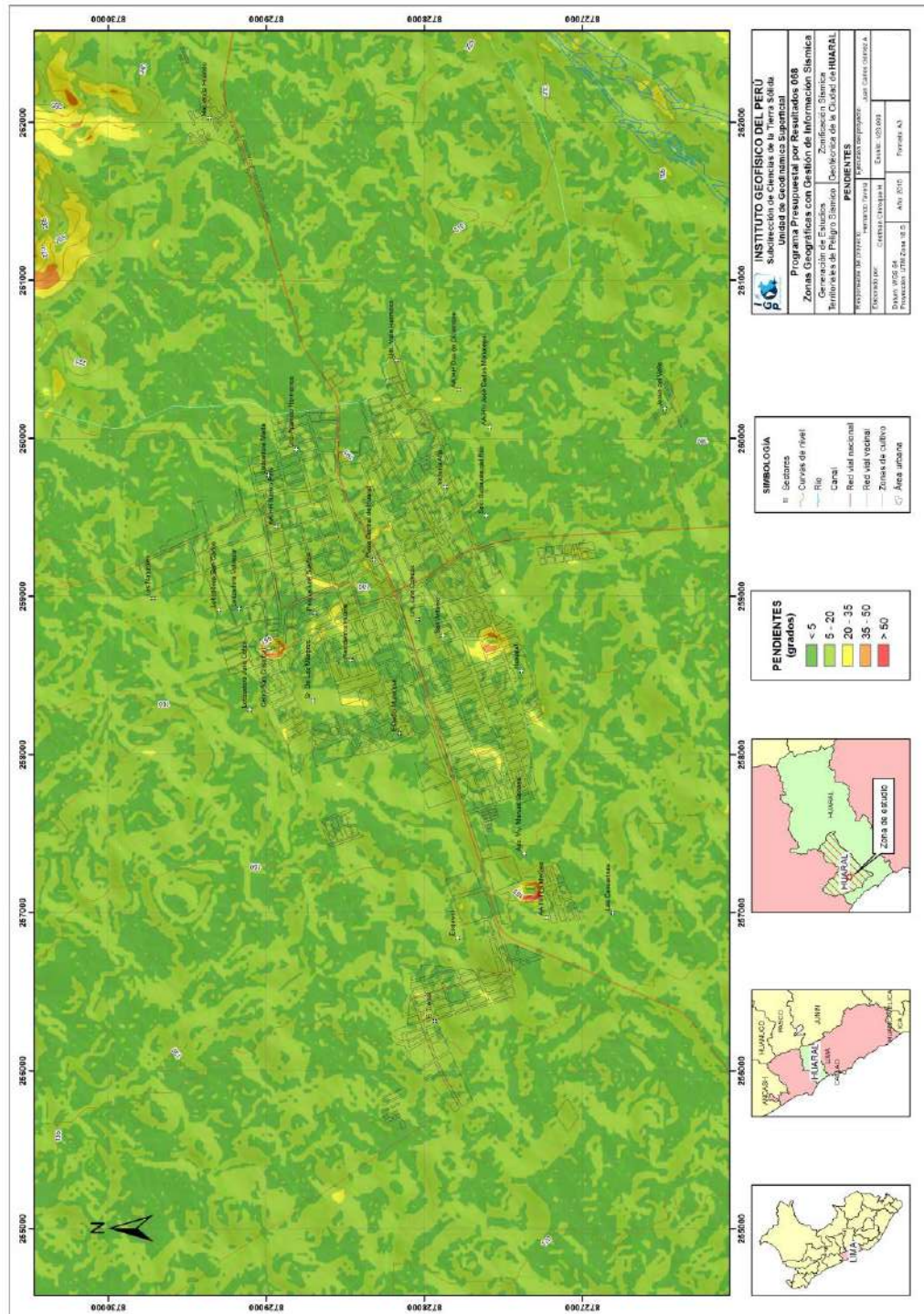


Figura 21: Mapa de pendientes para la ciudad de Huaral y alrededores

9.1.1. Unidades geomorfológicas

En el área sobre la cual se emplaza la ciudad de Huaral se ha identificado la existencia de 5 unidades geomorfológicas y sus principales características se describen a continuación (Figura 22):

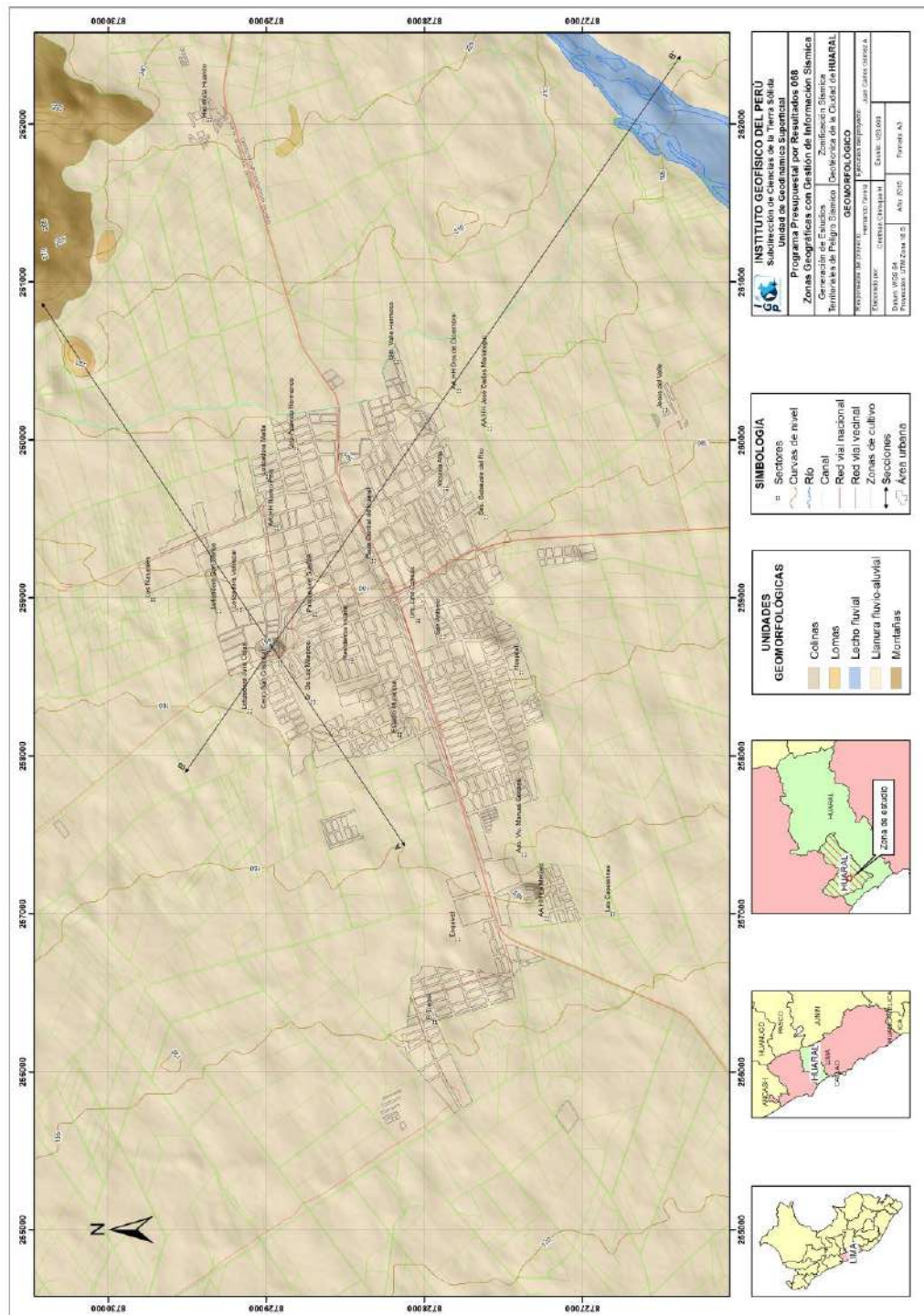


Figura 22: Mapa geomorfológico de la ciudad de Huaral y alrededores

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 Huaral se ha desarrollado el modelado de geoformas como las colinas y lomadas, y cuyas 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 geoformas se observan en el AAHH La Merced y el cerro San Cristóbal ubicados a 850 metros y 2.3 km, al norte y oeste de la plaza de armas de la ciudad. En la zona de estudio, las colinas no superan los 50 metros de altitud (Figuras 23 y 24).



Figura 23: Vista del cerro San Cristóbal completamente urbanizado. Representa una colina conformada por afloramientos rocosos.



Figura 24: En las colinas se han encontrado afloramientos de rocas que se degradan y desprenden ladera abajo pasando por los callejones y pasajes de las viviendas.

.- **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 25. Esta unidad se encuentra distribuida en el Sector de Huando, en dirección NO con respecto al centro urbano de la ciudad.



Figura 25: Lomas cuyas pendientes vienen siendo ocupadas con viviendas en el sector Huando. Las geoformas están cubiertas por clastos y bloques, además de materiales detricitos.

9.1.1.2.- Origen fluvial

El agua de escorrentía es uno de los más importante procesos geológicos que actúan sobre la superficie terrestre (Morisawa, 1968). Este crea una gran parte del relieve y forma llanuras de inundación en las que se construyen muchas de las ciudades. Los ríos son agentes de erosión y transporte que suministran a los océanos agua y sedimentos procedentes del continente. A pesar de que $<0.005\%$ del agua continental se encuentra en los ríos, su flujo es una de las fuerzas más importantes que operan en la superficie terrestre (Knighton, 1998). En la zona de estudio este tipo de modelado está conformado por agentes externos tales como los cursos de aguas permanentes o regulares, la escorrentía superficial y las redes de drenaje originadas durante los periodos de lluvias intensas. Las formas resultantes de estos agentes son:

*.- **Lecho aluvial:** Corresponde al canal formado por el flujo de agua de un río y los sedimentos que éste transporta durante todo su recorrido y evolución. La morfología del lecho depende del caudal, la pendiente, el tamaño del sedimento y de lo erosionable que sea el sustrato; es decir, es producto de un equilibrio dinámico entre la carga de sedimentos y su capacidad de transporte. El lecho fluvial del río Chancay-Huaral se encuentra en el extremo SE de la zona urbana de Huaral, se desplaza de NE a SO, el ancho promedio llega a medir 200 m donde se han depositado gran cantidad de materiales de origen fluvial como gravas y arenas gruesas (Figura 26).*



Figura 26: Lecho fluvial del río Huaral con un cauce que supera los 50 metros de ancho y escasos desniveles con los terrenos de cultivo adyacentes

.- **Llanura fluvio-aluvial:** La extensa llanura fluvio-aluvial ha sido formada por acción directa del río Chancay-Huaral 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 10° , consideradas en algunos casos como llanuras de inundación. En esta unidad los suelos están conformados por gravas redondeadas con arenas y bajos porcentajes de limos y arcillas, abarcan el 70% de la zona de estudio, Figura 27.



Figura 27: Llanura fluvio-aluvial ocupada por viviendas, colegios y postas médicas.

9.1.1.3.- 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 Huaral se han reconocido como parte de este proceso a las montañas.

.- **Montañas:** Son geoformas que no superan los 500 m de altitud y están conformadas en mayor porcentaje por rocas volcánicas de la Formación Casma. Las montañas presentan formas suaves, semiredondeadas y alargadas. En

Huaral, las montañas se encuentran a una distancia de 2.5 km de la ciudad en dirección NE, en los alrededores de la hacienda Huando (Figura 28).



Figura 28: En Huaral, las montañas se encuentran cubiertas por una capa de detríticos conformados por clastos angulosos debido a que la rocas se encuentra diaclasada y meteorizada

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 Huaral.

9.2.1- Geología regional

Para describir las principales unidades geológicas, se tomó como base la información regional descrita por Cobbing (1973) a escala 1/100000. Este autor describe las unidades aflorantes en las inmediaciones de la zona de estudio y que consisten en rocas de edades entre el Cretaceo Inferior hasta el Cuaternario Reciente, y en general conformadas por andesitas, tonalitas y gabros (Figura 29).

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	ROCAS INTRUSIVAS
CENOZOICO	CUATERNARIO	Holoceno	Dep. Aluvial  Dep. Fluviales 	
		Pleistoceno		
MESOZOICO	CRETACEO	Superior		 Tonalita Santa Rosa  Meladiorita  Gabro
		Inferior	Fm. Casma 	

Figura 29: 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 Huaral a escala 1:15,000, sobre un área de 120 km² aproximadamente (Figura 30). A continuación se describen las principales características de estas unidades estratigráficas.



49



Figura 31: Las andesitas se encuentran intensamente diaclasadas, además de presentar coloraciones oscuras y oxidaciones producto de la humedad de la zona

.- **Volcánico Calipuy:** Está conformada por una secuencia variada de lavas andesíticas, gabros, tonalitas y adamELITAS, y cuyas características se describen a continuación.

Gabros: En la zona de estudio, los afloramientos de gabros forman colinas cónicas, además, los clastos y bloques encontrados son muy macizos y presentan dureza alta al golpe del martillo. Esta litología se observa en el cerro San Cristóbal y La Merced, Figura 32.



Figura 32: Parte alta del cerro San Cristóbal en donde afloran bloques de gabros de alta dureza.

Diorita/meladiorita: Afloran al noroeste de la ciudad de Huaral, en las inmediaciones de la Hacienda Huando. Este afloramiento se encuentra en contacto con las tonalitas de la Formación Casma (Figura 33).



Figura 33: Las dioritas han sido delimitadas por análisis de imágenes y muestras de campo

Tonalitas del complejo Santa Rosa: Consisten en afloramientos de tonalitas que han intruido a los volcánicos de la Formación Casma y también a otros miembros del batolito. En algunos sectores la roca intruída, están ligeramente metamorfozada y contaminada por el gabro o la meladiorita (Figura 34).



Figura 34: Afloramientos de tonalitas del complejo Santa Rosa en el sector Hacienda Huando. Se encuentran diaclasadas e intensamente meteorizadas.

.- **Depósitos cuaternarios:** En la zona de estudio, estos depósitos se presentan como materiales de cobertura con origen volcánico, coluvial, fluvial y aluvial. Los materiales provienen de la erosión de laderas debido al agua de escorrentía por lluvias intensas y sus características son:

Depósitos fluvio-aluvial (Q-fl/al): Los materiales que conforman el aluvial de la ciudad de Huaral están constituidos por depósitos de conglomerados conformados por gravas de diferente tipo y tamaño, y de origen intrusivo y volcánico. La matriz de estos materiales está constituida por arenas de diferente granulometría y en menor porcentaje por limos y arcillas. La importancia de estos depósitos es que constituyen el acuífero que da vida a los valles y que sostiene la actividad agrícola en la zona (Figuras 35).



Figura 35: Presencia de materiales limo-arenoso aprovechados para la agricultura. Estos suelos están conformados por gravas y clastos en matriz areno limosa.

Depósitos coluviales (Q-co): Son materiales transportados por el agua y el viento que se encuentran distribuidos en las laderas de los cerros circundantes a la Hacienda Huando. Están conformados por clastos angulosos producto de la erosión y acción de la gravedad (Figuras 36 y 37)



Figura 36: Los materiales que conforman este tipo de depósitos se desprenden debido a que las rocas se encuentran diaclasadas y meteorizadas



Figura 37: Presencia de gran cantidad de clastos y bloques angulosos sobre superficies con pendientes mayores a 50°

Depósitos fluviales (Q-fl): Corresponden a materiales resultantes de la meteorización y/o erosión, traslado y deposición de rocas preexistentes sobre los lechos de los ríos presentes en el área de estudio. Los materiales que constituyen estos depósitos están conformados por gravas redondeadas con presencia de arenas de grano grueso a medio (Figura 38).

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:



Figura 38: El río Huaral transporta gran cantidad de materiales de origen fluvial cuando incrementa su caudal en temporadas de lluvias.

.- 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 Huaral (Figura 39).

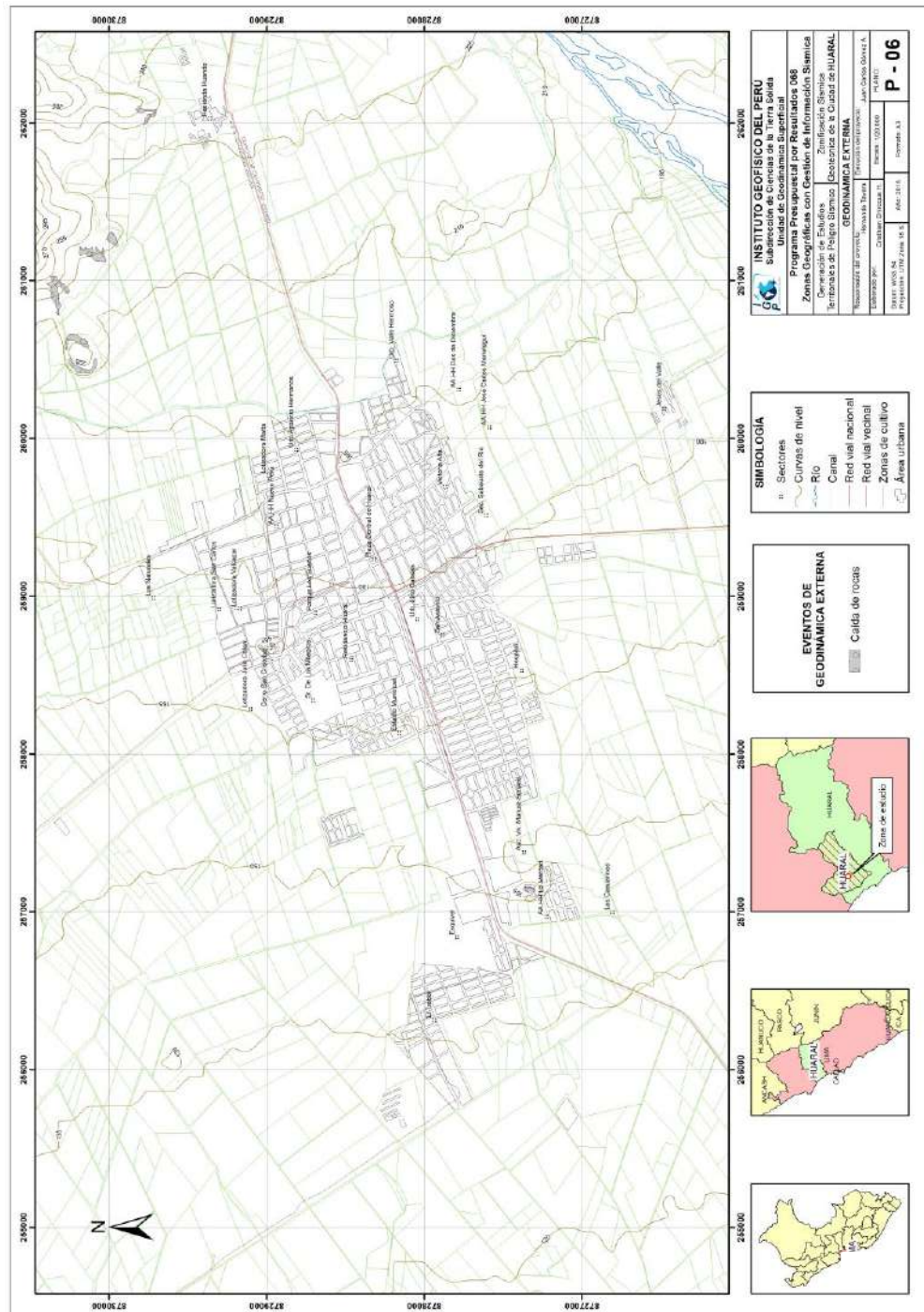


Figura 39: Mapa geodinámico local para la ciudad de Huaral y alrededores

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 Huaral, 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 Huaral y alrededores, ha permitido identificar procesos de caída de rocas, siendo sus características las siguientes:

.- 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 sur de los cerros San Cristóbal y Huando, ubicados en el extremo norte y este de la Plaza de Armas de Huaral, Figuras 40 y 41.*



Figura 40: En el cerro Huando, se observa pendientes superiores a 39° y los materiales que se desprenden se depositan en la parte baja, cerca de las viviendas.



Figura 41: Las viviendas distribuidas en las laderas de los cerros son susceptibles a la cada de rocas

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 Huaral se recolectó información según las siguientes técnicas:

.- Exploraciones a cielo abierto (calicatas, Norma ASTM D420): En la ciudad de Huaral se construyeron 8 calicatas (Tabla 1 y Figura 42), siendo la profundidad máxima de observación del orden de 3.6 metros y la mínima de 3.0 metros (ver Anexos) debido principalmente a que el material está en mayor porcentaje conformado por gravas

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

CALICATA	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO (m)
CA-H01	252469	8721623	150	3.30	N.P.
CA-H02	252138	8720755	185	3.40	N.P.
CA-H03	253213	8720862	170	3.30	N.P.
CA-H04	252558	8719381	178	3.40	N.P.
CA-H05	253227	8719607	178	3.50	2.10
CA-H06	253399	8718046	190	3.30	N.P.
CA-H07	254059	8723135	193	3.60	N.P.
CA-H08	254542	8723056	195	3.00	N.P.

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

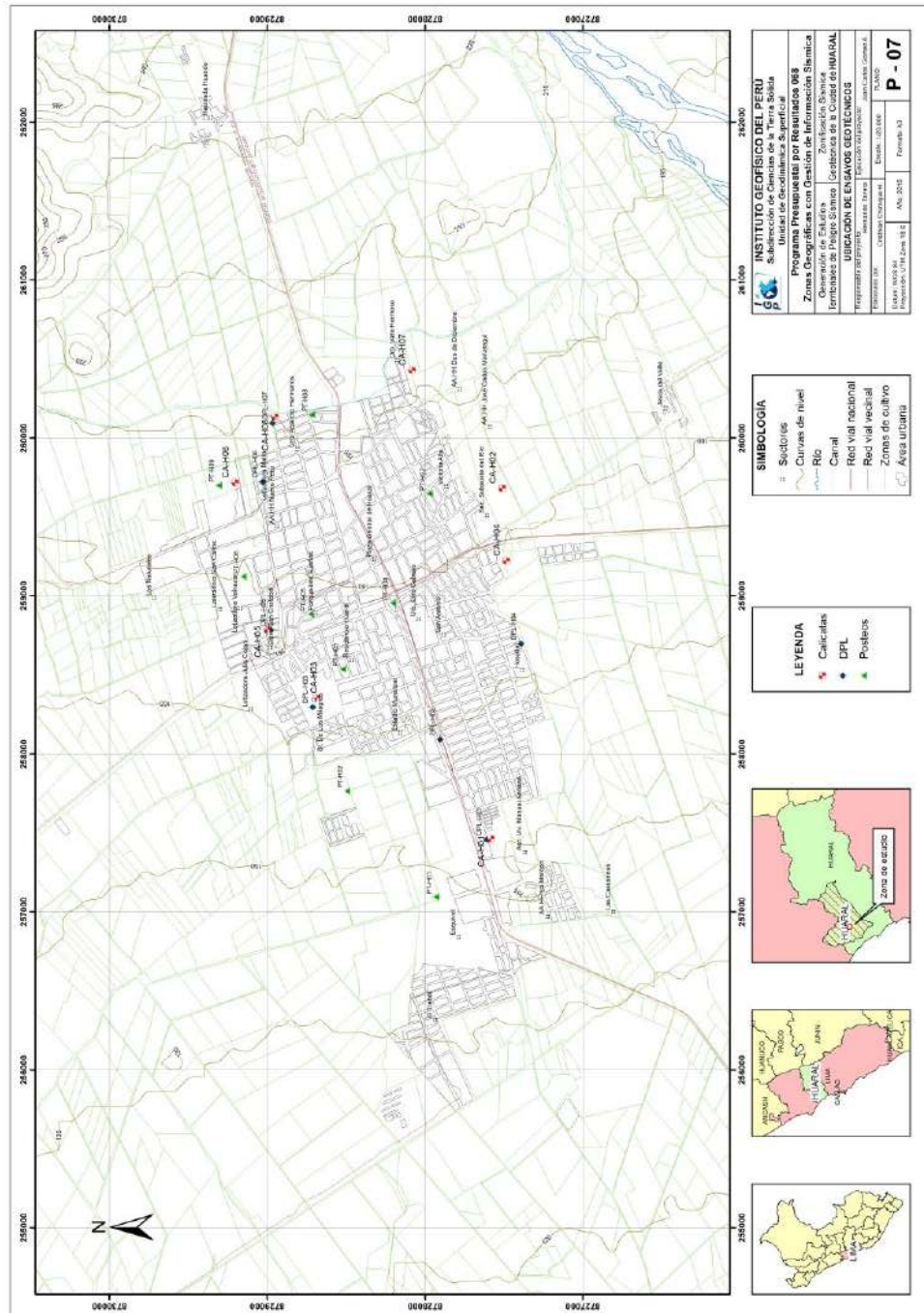


Figura 42: Mapa de ubicación de calicatas y posteos de suelos en la ciudad de Huaral

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

CALICATA	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	DENSIDAD HUMEDA (gr/cm ³)	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)
CA-H01	DC-CHUA-01	3.30	1.97	1.88
CA-H02	DC-CHUA-02	3.40	1.98	1.89
CA-H03	DC-CHUA-03	3.30	1.99	1.93
CA-H04	DC-CHUA-04	3.40	-	1.70
CA-H05	DC-CHUA-05	3.50	1.94	1.83
CA-H06	DC-CHUA-06	3.30	1.99	1.74
CA-H07	DC-CHUA-07	3.60	-	1.58
CA-H08	DC-CHUA-08	3.00	1.96	1.61

- 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 lograr una mejor caracterización de los suelos en la ciudad de Huaral.

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

POSTEO	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE SUELO (SUCS)	NIVEL FREÁTICO A (m)
POST-01	257095	8727929	149	0.20	SM	N.P.
POST-02	257766	8728493	155	0.15	SP	N.P.
POST-03	258538	8728519	170	0.50	SM	N.P.
POST-04	258955	8728203	178	0.25	SC	N.P.
POST-05	258886	8728724	177	0.80	SC	N.P.
POST-06	259122	8729150	180	0.20	SM	N.P.
POST-07	259647	8727971	190	0.50	SC	N.P.
POST-08	260148	8728715	197	0.40	SC	N.P.
POST-09	259701	8729306	190	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 Huaral (Tabla 4). Esto ensayos se realizaron hasta una profundidad máxima de 3.07 metros y mínima de 0.16 metros debido a que los suelos están conformados por gravas que presentan ángulos de fricción de 37.2 en promedio,

característicos de suelos granulares (ver Anexos). La correlación de estos datos con los obtenidos con DPL muestran la presencia de suelos de mayor resistencia en paquetes de gravas con ángulos de fricción por encima de 37° , los cuales abarcan gran parte de la zona urbana de la ciudad de Huaral.

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	ϕ
DPL-01	257460	8727609	153	0.16	48	40.5
DPL-02	258093	8727903	164	0.31	28	35.5
DPL-03	258298	8728710	167	0.25	34	37.0
DPL-04	258697	8727391	168	0.78	35	37.3
DPL-05	258785	8728976	197	3.07	35	37.3
DPL-06	259724	8729027	190	0.40	43	39.2
DPL-07	260432	8728083	195	3.64	7	28.9
DPL-08	260095	8728966	195	0.48	40	38.5

Dónde: ϕ = 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 Huaral. Se ha identificado la existencia de 3 tipos de suelos cuyas características se describen a continuación (Figura 43 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 es mayor a 4 Kg/cm^2 , los materiales granulares sobrepasan el 70% en promedio; mientras que, los finos no superan el 20%. Los suelos conformados por paquetes de gravas ocupan el 80 % del área de estudio. Este tipo de suelos han sido identificados en la mayor parte de la zona urbana de Huaral (Calicatas: CA-H01, ..., CA-H06 y CA-H08): El Trébol, Esquivel, AA.HH. La Merced, La Casuarinas, Asoc. Viv. Manuel Seoane, Estadio Municipal, San Antonio, Victoria Alta, Urb. Lino Cahuas, AA.HH. José Carlos Mariátegui, Urb. Aparicio Hermanos, Lotizadora Matta y Los Naturales



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

CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO (m)	GRAVAS % (>4.76 mm)	ARENAS % (>0.074 mm, <4.76 mm)	FINOS % (<0.074 mm)	LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	CLASIFICACIÓN SUCS	DENOMINACIÓN
CA-H01	3.30	N.P.	90	8	2	--	--	--	2.5	GP	Grava mal graduada
CA-H02	3.40	2.10	88	18	4	--	--	--	3.1	GP	Grava mal graduada
CA-H03	3.30	N.P.	82	15	3	--	--	--	1.17	GW	Grava arenosa, limosa
CA-H04	3.40	N.P.	70	23	7	--	--	--	2.4	GP	Grava mal graduada
CA-H05	3.50	N.P.	70	20	10	--	--	--	10.39	GW	Grava arenosa, limosa
CA-H06	3.30	N.P.	77	17	6	--	--	--	2.1	GP	Grava mal graduada
CA-H07	3.60	N.P.	0	70	30	26	19	7	16.50	SC	Arena fin, limosa
CA-H08	3.00	N.P.	80	17	3	--	--	--	--	GP	Grava mal graduada

- Suelos tipo GW: Estos suelos están conformados por gravas arenosas bien graduadas, el contenido de humedad fluctúa entre 1 y 10% dependiendo de las condiciones del estrato muestreado. La permeabilidad es de media a alta, se les considera como suelos compactos y no presentan plasticidad. Su capacidad de carga admisible es mayor a 4 Kg/cm². Los materiales granulares sobrepasan el 90% en promedio; mientras que, los finos no superan el 10%. Estas gravas ocupan el 15 % de los suelos de la ciudad de Huaral (CA-H03 y CA-H05): AA.HH. Señor de los Milagros, Residencial Huaral, Lotizadoras Julio Colan, Valcazar y San Carlos, AA.HH. Nuevo Perú y Cerro San Cristóbal.

- Suelos tipo SC: Están conformados por arenas arcillosas con un contenido de humedad que sobrepasa el 15%, por lo tanto corresponden a materiales con permeabilidad baja. Se presentan inconsolidados o sueltos y con plasticidad media. La capacidad de carga es demasiado baja 1.59 kg/cm². Estos suelos abarcan el 5% de la zona urbana de la ciudad (CA-H07): Urb. Valle Hermoso. En esta área y calicata, se identificó la presencia de arenas y limos hasta una profundidad de 3 metros, sin llegar al estrato gravoso, el cual probablemente se encuentre a los 5m de profundidad.

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

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 Huaral presentan en su mayoría ángulos de fricción interna superan los 30°, característico de suelos granulares como las gravas y arenas.

Tabla 6: Resultados del ensayo de corte directo

MUESTRA	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA DEL SUELO (Φ)	COHESIÓN APARENTE DEL SUELO (T_n/m^2)	DENSIDAD HÚMEDA (gr/m^3)
CA-H01	37.60	0.10	--
CA-H02	34.37	00	1.97
CA-H03	37.58	00	1.99
CA-H04	30.52	0.10	--
CA-H05	36.93	0.10	1.94
CA-H06	35.23	00	1.98
CA-H07	26.80	1.58	--
CA-H08	35.61	--	--

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 Huaral, 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.

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

MUESTRA	CAPACIDAD DE CARGA ÚLTIMA (Tn/m ²)	CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE (Kg/cm ²)
CHUA-01	175.85	4.66
CHUA-02	185.84	4.54
CHUA-03	191.39	4.78
CHUA-04	178.52	4.62
CHUA-05	164.36	4.11
CHUA-06	166.34	4.33
CHUA-07	47.85	1.59
CHUA-08	182.28	4.32

Tabla 8: Rangos de capacidad de carga admisible

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

Considerando la clasificación de la Tabla 8, se ha determinado que gran parte del área urbana de la ciudad de Huaral se asienta sobre suelos con capacidad de carga admisible alta (>3 Kg/cm²), teniéndose el máximo en la calicata CA-H03 (4.78 Kg/cm²). El detalle de los resultados obtenidos se describe a continuación (Figura 44):

.- Capacidad de carga admisible baja: Comprende rangos de capacidad de carga admisible entre 1.00 - 2.00 kg/cm², y corresponde al tipo de suelo arenoso limoso (SC) cuyo grado de compactación es bajo. En la ciudad de Huaral, este tipo de suelo se encuentra en la Urb. Valle Hermoso.

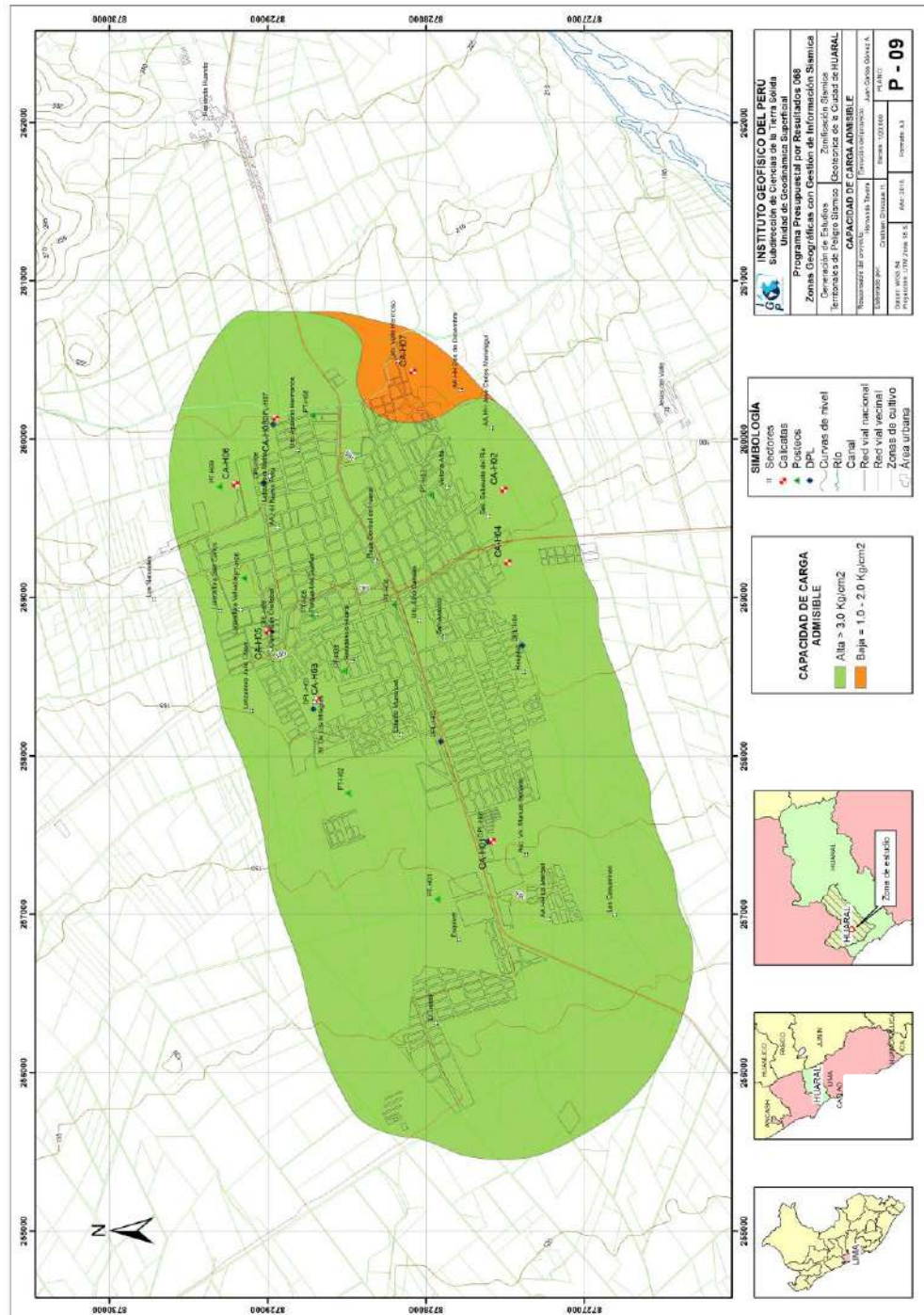


Figura 44: Mapa de capacidad de carga admisible en la ciudad de Huaral

.- Capacidad de carga admisible alta: Comprende rangos de capacidad de carga admisible mayores a 3.00 kg/cm^2 y se encuentran conformados por gravas mal graduadas (GP) y gravas bien graduadas (GW) cuyo grado de compactación es alto. Representa el 80% del área de estudio y se encuentra cubriendo el centro del área urbana de Huaral: El Trébol, Esquivel, AA.HH. La Merced, La Casuarinas, Asoc. Viv. Manuel Seoane, Estadio Municipal, San Antonio, Victoria Alta, Urb. Lino Cahuas, AA.HH. José Carlos Mariátegui, Urb. Aparicio Hermanos, Lotizadora Matta, Los Naturales, AA.HH. Señor de los Milagros, Residencial Huaral, Lotizadoras Julio Colan, Valcazar y San Carlos, AA.HH. Nuevo Perú y Cerro San Cristóbal.

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 Huaral.

11.1.- Estudio sísmico con la técnica H/V

Para la aplicación de esta técnica, sobre el mapa catastral de la ciudad de Huaral se procedió 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 45 se muestra la distribución espacial de los 268 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 46 se muestra, como ejemplo el procedimiento seguido para el punto HU-195. 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 1.6 Hz, 5.2 Hz y 16.4 Hz con amplificaciones relativas de hasta 5 veces respecto al nivel de referencia. Este procedimiento de análisis se aplica al total de la información obtenida en campo.

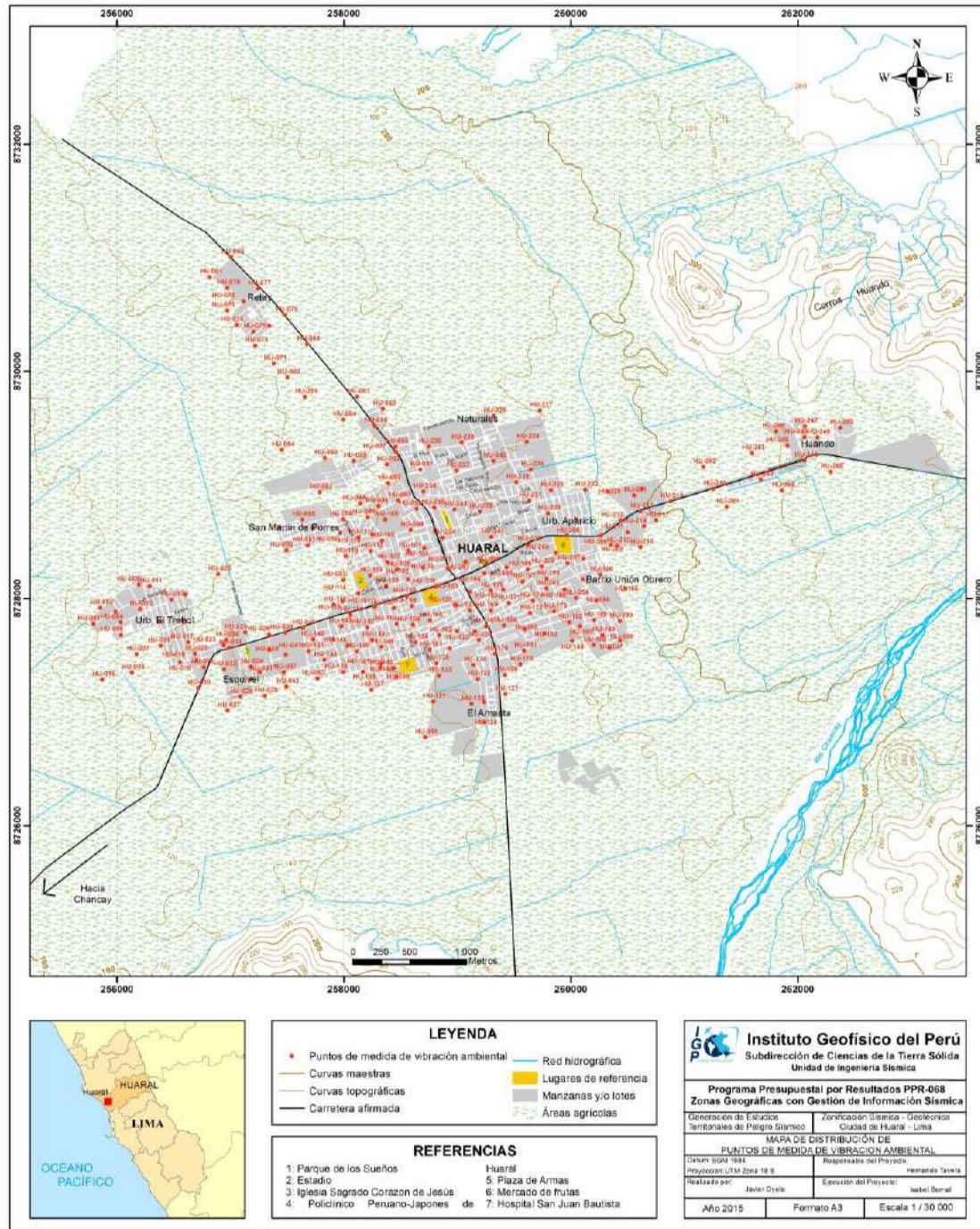


Figura 45: Mapa de la ciudad de Huaral y distribución de puntos de registro de vibración ambiental

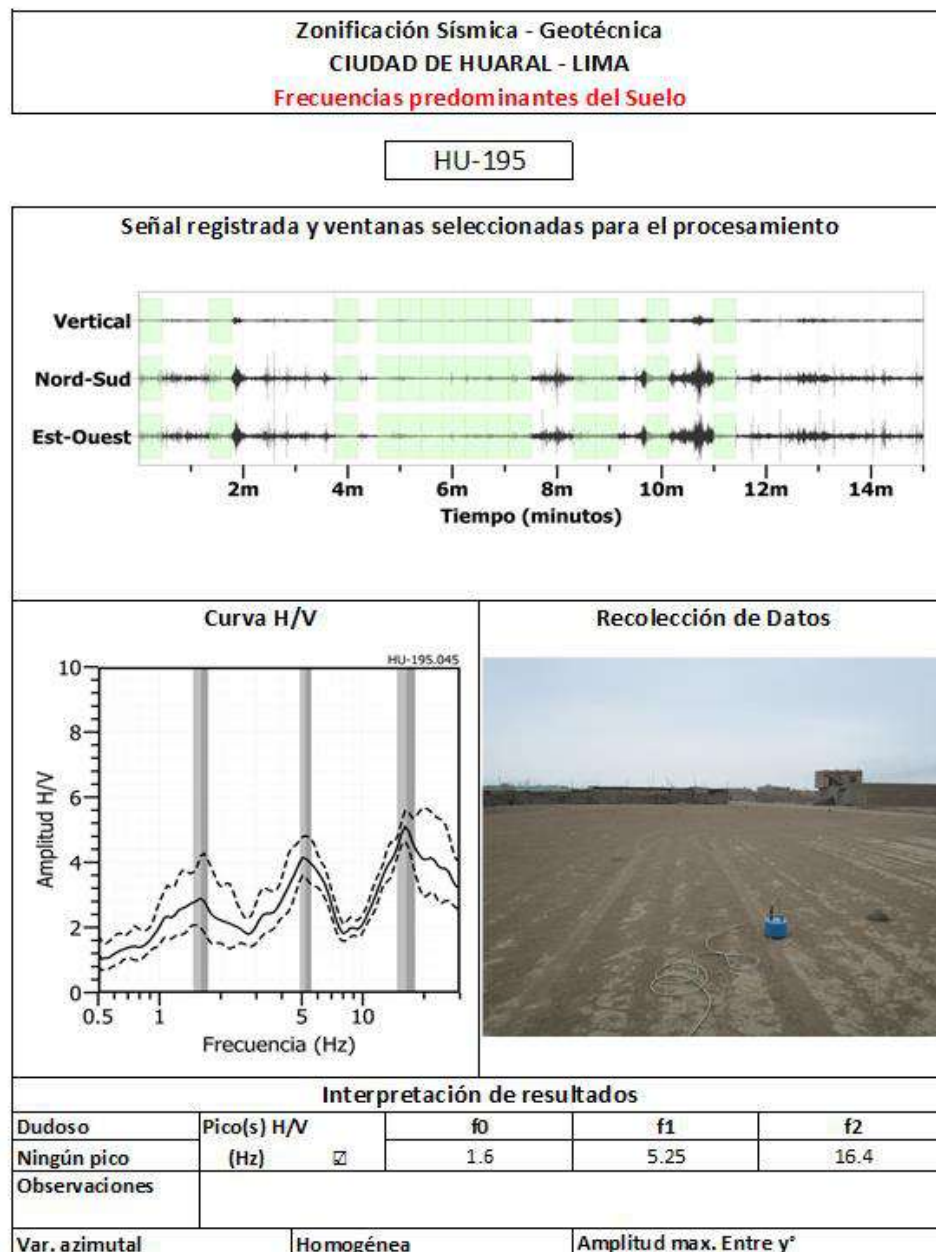


Figura 46: Ejemplo de la ficha H/V para el punto HU-195 en la cual se recopila la información registrada y analizada. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en línea discontinua. Espectrograma y Abajo: resultados.

.- 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: **F₀** ($F \leq 4.0\text{Hz}$) y **F₁** ($F > 4.0\text{Hz}$), en razón que en un 10% de los puntos de medición se ha identificado la presencia de dos picos de frecuencias y en algunos casos, hasta tres picos con diferentes amplificaciones. A continuación, se describe y analiza la distribución espacial de las frecuencias predominantes identificadas en la ciudad de Huaral.

***.- Frecuencias predominantes F₀:** Según la Figura 47, este rango de frecuencias se presenta en un 70 % de puntos donde se recolectó información y todos ellos se distribuyen en el área de estudio de manera aleatoria. En general, los rangos de frecuencia fluctúan entre 1.2 y 3.8 Hz, aunque en su extremo NE se concentran puntos donde no sobresale ningún rango de frecuencia. En la Figura 48, se muestra ejemplos de razones espectrales, ordenados según su distribución espacial.*

Las razones espectrales para los puntos HU-228, HU-240 y HU-266, ubicados en el cuadrante NE de la zona céntrica y sobre las Urbanizaciones de Aparicio y Naturales, no muestran ninguna frecuencia predominante, excepto en el punto HU-240, que con una mínima amplificación resaltan frecuencias a 1.4 y 4.5 veces. De manera similar, en los puntos HU-120, HU-171 y HU-202, ubicados en el cuadrante SE y SO de la zona céntrica de la ciudad, sobresalen frecuencias a 2.8 Hz con amplificaciones mínimas (< 2 veces). Estos resultados evidencia la presencia de suelos competentes, siendo mayor hacia el extremo NE de la zona céntrica y con mínimas amplificaciones hacia los extremos SE y SO esta zona.

En las razones espectrales para los puntos HU-127, HU-131 y HU-182, ubicados hacia el extremo Sur de la zona de estudio, próximos a las Urb. El Amauta, sobresalen dos picos de frecuencia, el primero con valores de 1.9 Hz y amplificaciones de 3 a 7 veces; mientras que, el segundo pico bien definido fluctúa entre 6.0 y 7.0 Hz, con amplificaciones máximas relativas de hasta 6

veces. Estos resultados evidencian la presencia de suelos blandos con un factor de amplificación de moderado a alto conforme se tiende hacia el sur de la zona en estudio.

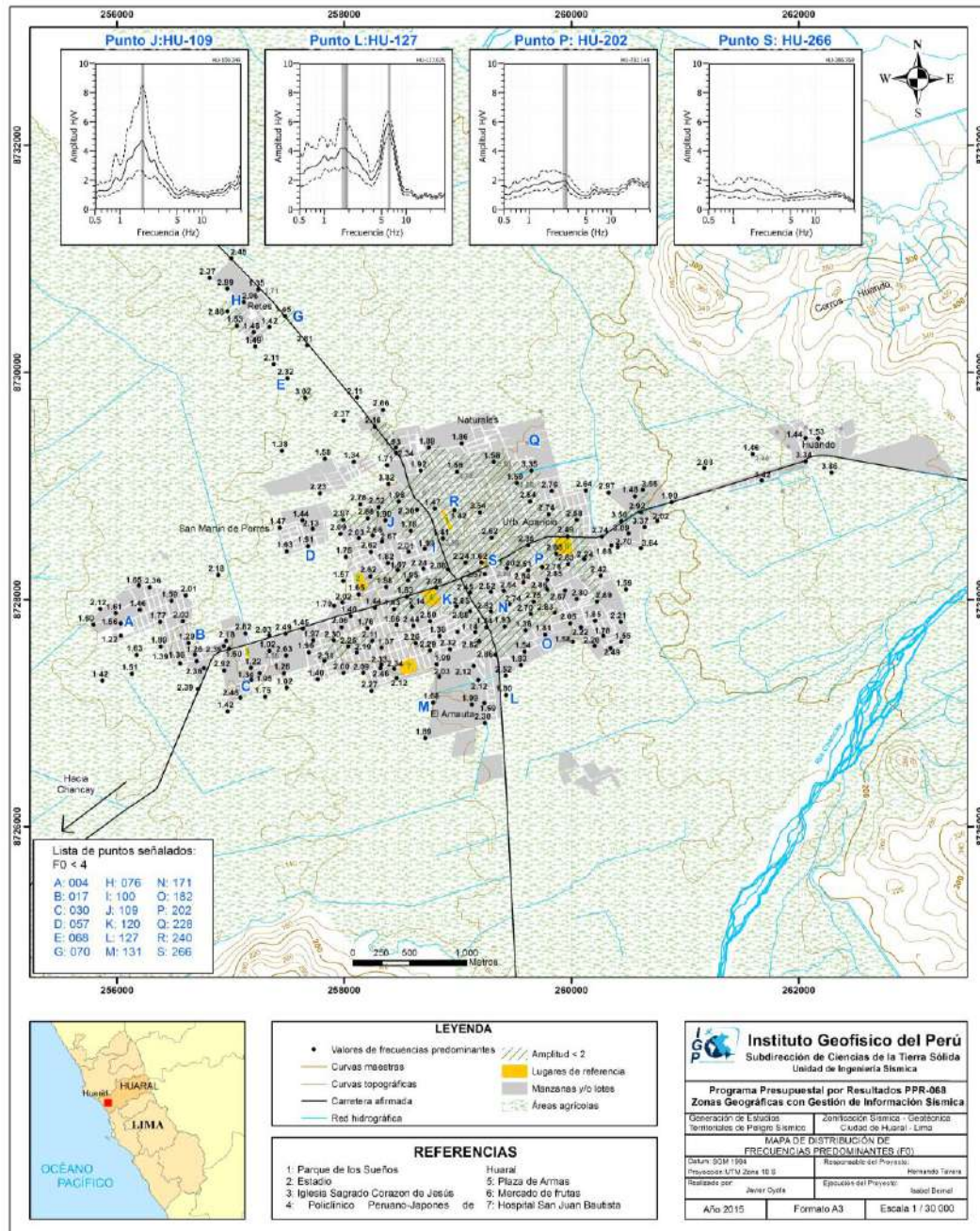
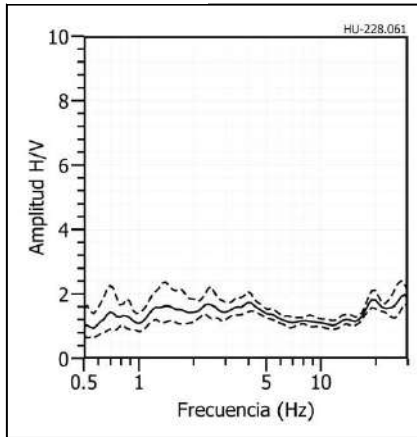
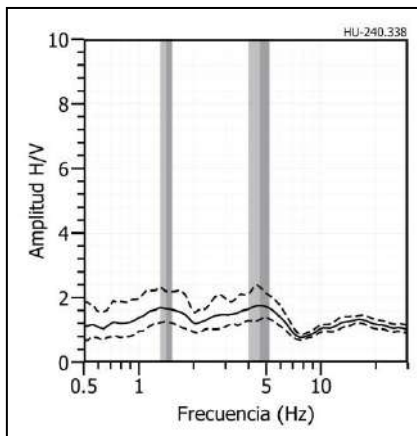


Figura 47: Mapa del área de estudio y la distribución espacial de las frecuencias predominantes en el rango de F_o ($F \leq 4.0\text{Hz}$).

HU - 228



HU - 240



HU - 266

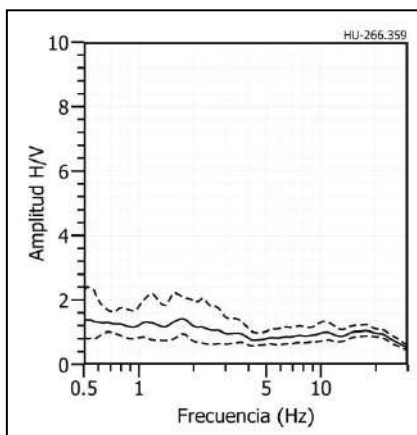
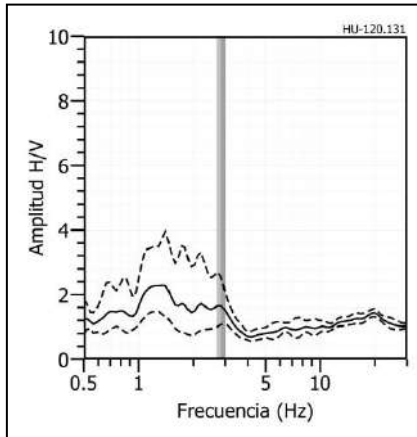
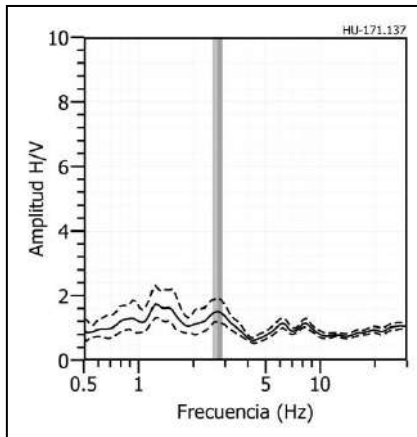


Figura 48: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F \leq 4.0\text{Hz}$), para los puntos HU-228 (Q), HU-240 (R) y HU-266 (S), ubicados en el cuadrante NE del área de estudio sobre las Urbanizaciones Aparicio y Naturales. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante. Para las letras mayúsculas entre paréntesis, ver Figura 47.

HU - 120



HU - 171



HU - 202

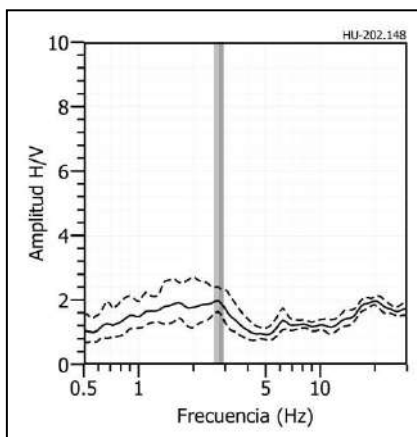
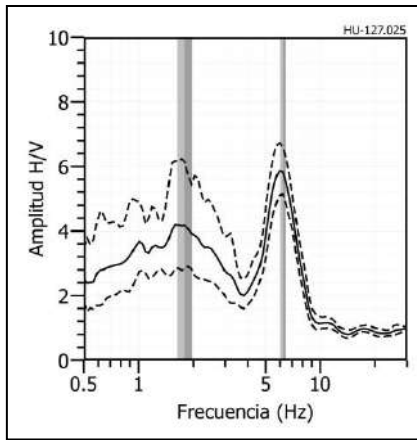
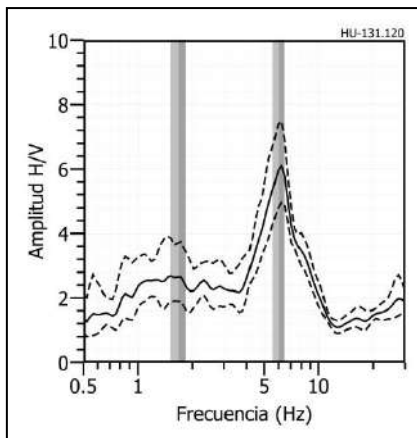


Figura 48: ...continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F \leq 4.0\text{Hz}$), para los puntos HU-120 (K), HU-171 (N) y HU-202 (P), los cuales se ubican en el cuadrante SE y SO de la zona céntrica de la ciudad de Huaral.

HU - 127



HU - 131



HU - 182

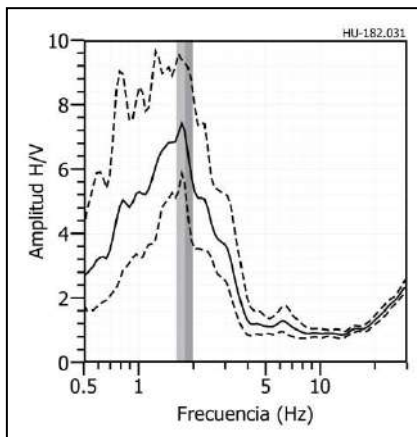
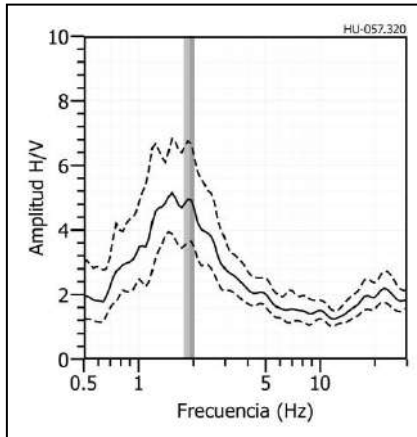
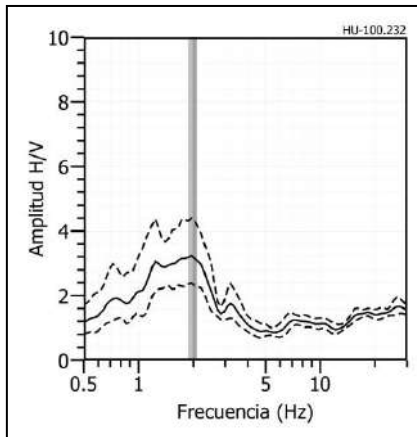


Figura 48: ...continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F \leq 4.0\text{Hz}$), para los puntos HU-127 (L), HU-131 (M) y HU-182 (O), los cuales se ubican hacia el extremo Sur de la zona de estudio, próximo a la Urb. El Amauta.

HU - 057



HU - 100



HU - 109

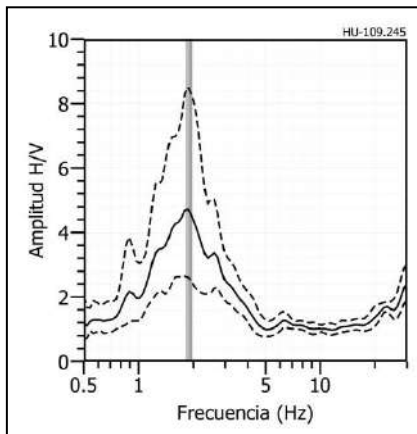
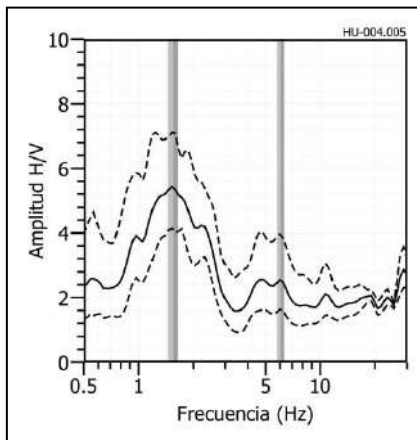
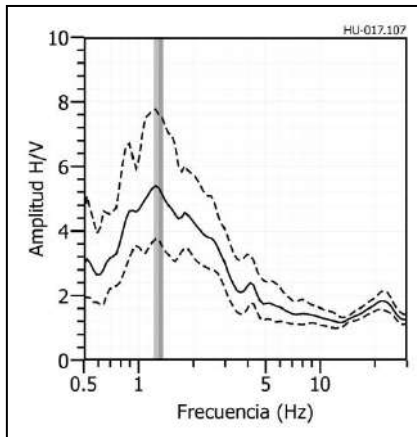


Figura 48: ...continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F \leq 4.0$ Hz). Para los puntos HU-057 (D), HU-100 (I) y HU-109 (J), los cuales se ubican en el cuadrante NO de la zona céntrica de la ciudad de Huaral, sobre la Urb. San Martín de Porras.

HU - 004



HU - 017



HU - 030

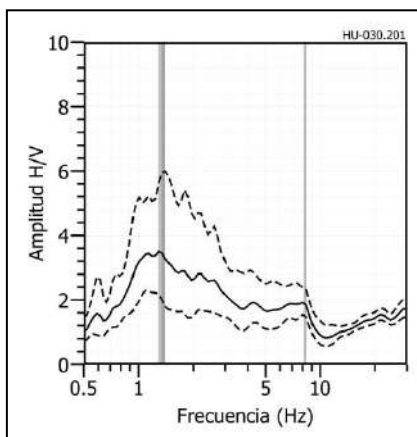
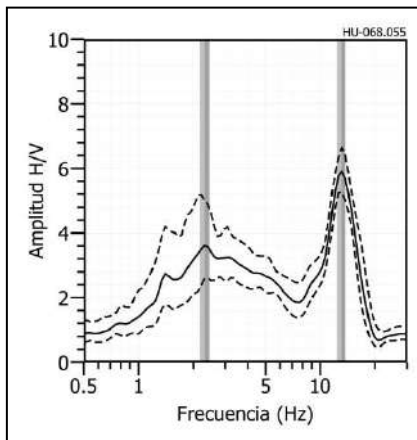
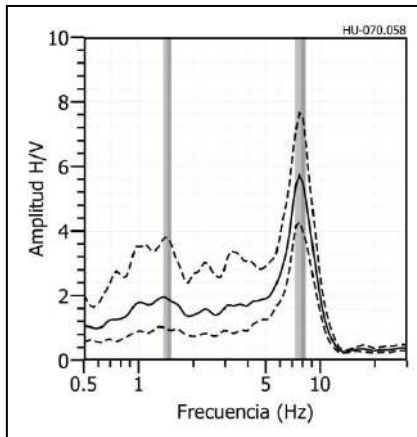


Figura 48: ...continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F \leq 4.0\text{Hz}$). Para los puntos HU-004 (A), HU-017 (B) y HU-030 (C), los cuales se ubican en el extremo Oeste del área de estudio próximo a la Urb. Esquivel.

HU - 068



HU - 070



HU - 076

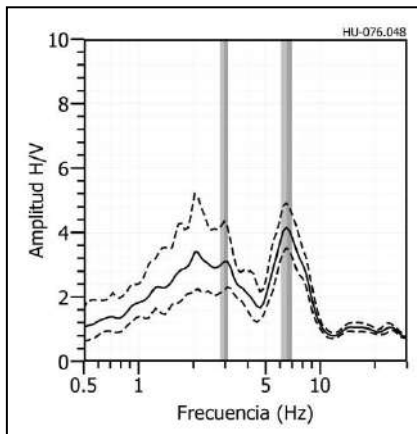


Figura 48: ...continuación.../Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F \leq 4.0\text{Hz}$). Para los puntos HU-068 (E), HU-070 (G) y HU-076 (H), los cuales se ubican en el extremo Norte del área de estudio sobre la Urb. Retes.

En las razones espectrales para los puntos HU-057, HU-100 y HU-109, ubicados en el cuadrante NO de la zona céntrica de la ciudad de Huaral, sobre la Urb. San Martín de Porras, sobresale un pico de frecuencia que fluctúa entre 1.8 y 2.0 Hz con amplificaciones de hasta 5 veces. De manera similar, en los puntos HU-004, HU-017 y HU-030 sobresalen un pico bien definido a 1.6 y 1.4 Hz con amplificaciones máximas relativas de hasta 5.6 veces y un segundo pico a 6.0 y 8.0 Hz con amplificaciones mínimas. La forma de estas curvas podrían sugerir que estos suelos presentan sensibilidad en una banda de frecuencias que fluctúan entre ambos picos de frecuencias (de 1.4 a 8.0 Hz) característica que correspondería a suelos complejos.

Hacia el extremo Norte del área de estudio, sobre la Urb. Retes, se consideraron se ha considerado las razones espectrales obtenidas para los puntos HU-068, HU-070 y HU-076 (enumerados de sur a norte), en donde sobresalen dos picos de frecuencia. El primero a frecuencias de 2.4, 1.5 y 3.0 Hz con amplificaciones de 3.8, 2 y 3 veces respectivamente, y el segundo, con mayor definición, a 13.0, 8.0 y 3.0 Hz con amplificaciones de hasta 6 veces.

.- Frecuencias predominantes F1 ($F > 4.0$ Hz): Este rango de frecuencias se presenta en un 10% de los puntos de recolección de información, los mismos que se encuentran agrupados en los extremos SO, Norte y Este de la zona urbana de Huaral (Figura 49).

En la Figura 50, se muestra ejemplos de razones espectrales para los puntos HU-070, HU-097 y HU-129, ubicados en las Urbanizaciones Retes, San Martín de Porres y El Amauta respectivamente. El suelo bajo el primer y tercer punto, responde a una frecuencia predominante de 8.0 Hz y 6.5 Hz respectivamente con amplificaciones máximas relativas de hasta 6 veces. En el punto HU-097, sobresale la frecuencia a 5.0 Hz con mínima amplificación. Los registros obtenidos en estos puntos, muestran solo un pico de frecuencia con valores que fluctúan entre 1.6 y 2.4 Hz, el mismo que debido a su baja amplitud es considerado como secundario. Las altas amplificaciones observadas para este rango de frecuencias, sugieren que los suelos superficiales son poco consistentes.

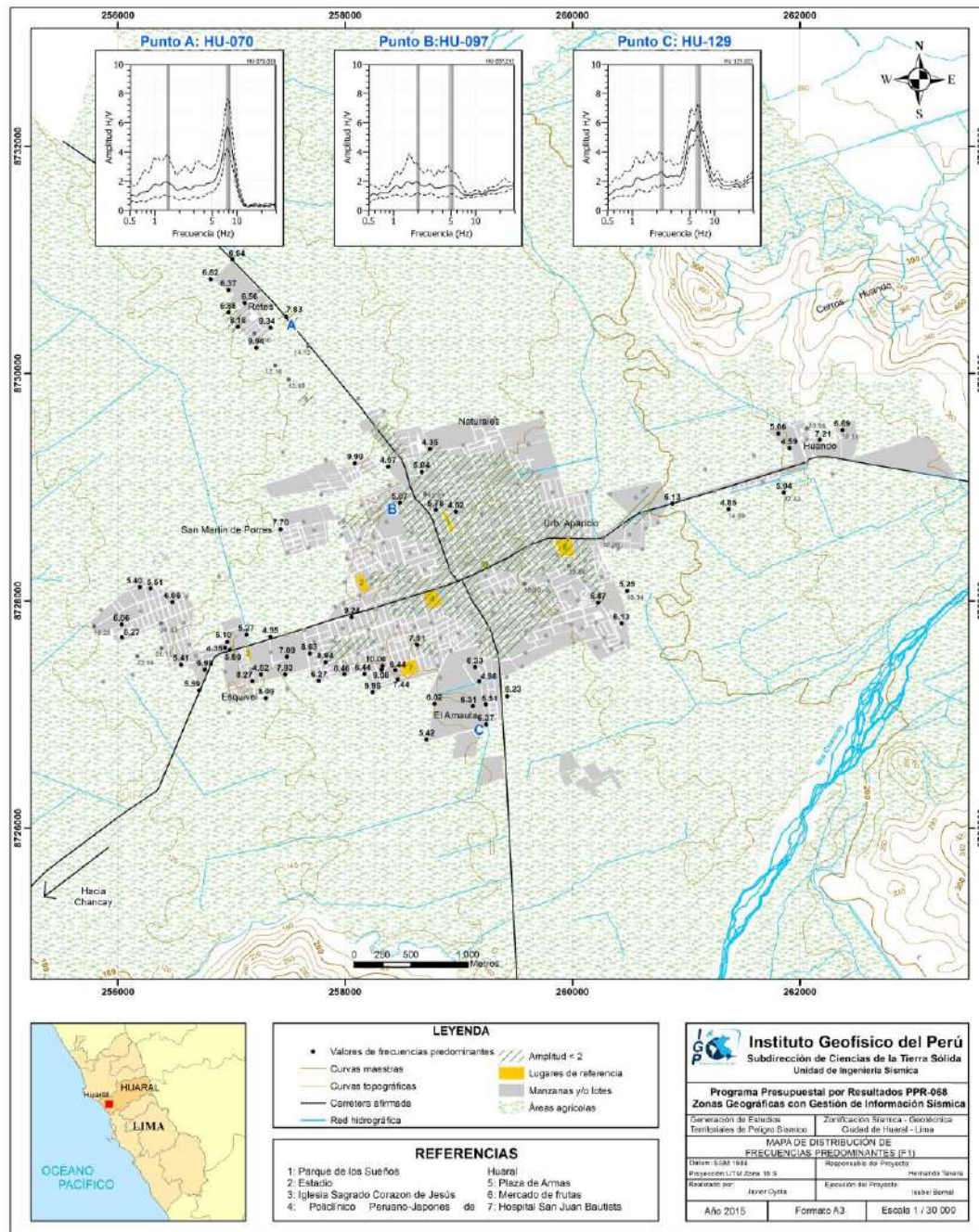
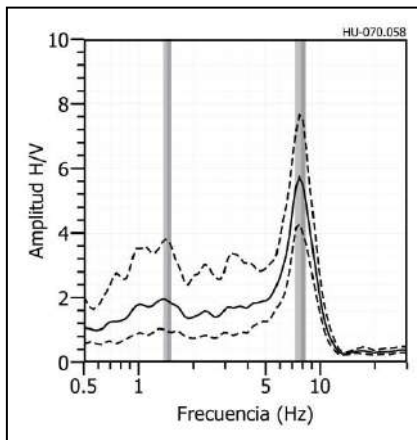
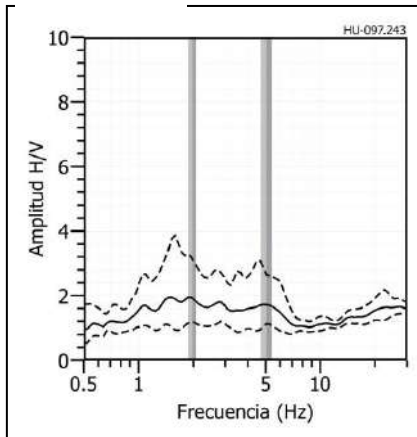


Figura 49: Mapa del área de estudio y la distribución espacial de las frecuencias predominantes $F1$ ($F > 4.0\text{Hz}$).

HU - 070



HU - 097



HU - 129

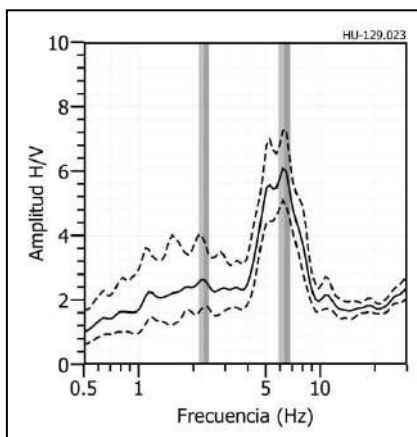


Figura 50: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 4.0$ Hz). Para los puntos HU-070, HU-097 y HU-129, ubicados en la Urb. Retes, San Martín de Porres y El Amauta respectivamente.

En general, los resultados obtenidos para la ciudad de Huaral sugieren que sus suelos son dinámicamente heterogéneos, con el predominio de frecuencias entre 1.2 a 3.8 Hz con mínimas amplificaciones, principalmente en su área céntrica; mientras que, hacia los extremos NO y SO las amplificaciones se incrementan hasta valores de 5 veces. Por otro lado, los suelos de los extremos NO y SO de la ciudad de Huaral, responden en un segundo rango de frecuencias que fluctúa principalmente entre 5 y 10 Hz, con amplificaciones de hasta 6 veces. Estos resultados sugieren que los suelos en esta zona presentan menor consistencia respecto a lo observado en la zona céntrica de la ciudad.

11.2.- Estudios sísmicos con la técnica de arreglos sísmicos

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

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

En la Figura 51, se presenta el mapa de la ciudad de Huaral con la distribución espacial de 11 líneas de refracción sísmica codificadas como LS01-HU, ..., LS11-HU, y en la Tabla 9, las coordenadas y los parámetros de registro de cada línea. En la Figura 52, 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.

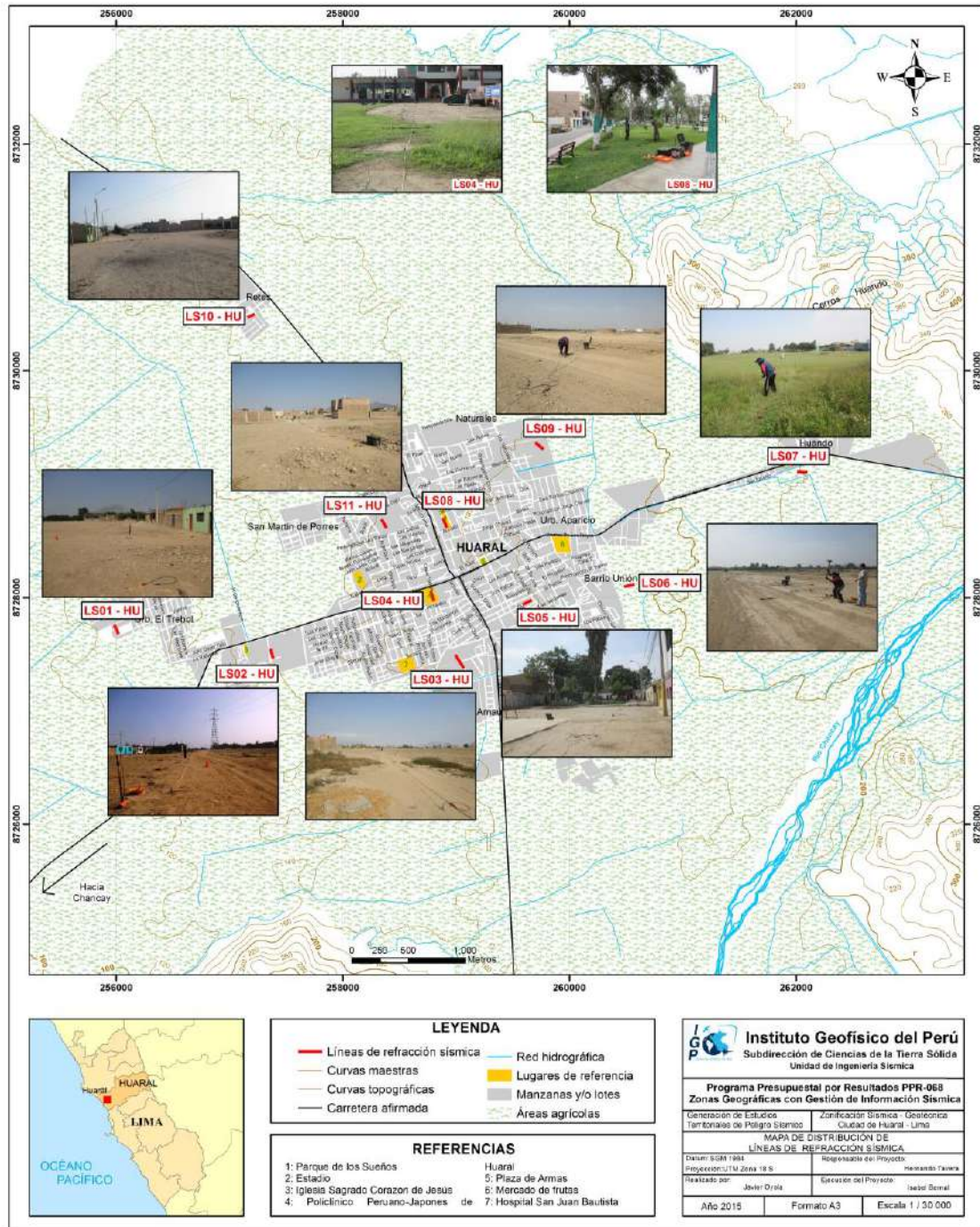


Figura 51: Mapa de la ciudad de Huaral y distribución espacial de las líneas de refracción sísmica codificadas como: LS01-HU..., LS11-HU.

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-HU	256022	8727676	140	4	92
	255984	8727760	139		
LS02-HU	257363	8727548	146	4	92
	257387	8727460	140		
LS03-HU	259067	8727377	206	6	138
	258991	8727494	178		
LS04-HU	258804	8727970	188	4	92
	258775	8728057	191		
LS05-HU	259587	8727938	200	4	92
	259667	8727980	201		
LS06-HU	260484	8728095	183	4	92
	260575	8728118	185		
LS07-HU	262008	8729111	223	4	92
	262100	8729108	225		
LS08-HU	258883	8728703	181	4	92
	258918	8728618	179		
LS09-HU	259699	8729371	198	4	92
	259770	8729310	200		
LS10-HU	257223	8730498	164	3	69
	257159	8730473	163		
LS11-HU	258339	8728692	183	4	92
	258387	8728613	184		

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



Figura 52: Observaciones hechas en campo e imagen de la disposición del equipo y tipos de terreno sobre el cual se realizaron dichos arreglos.

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 Huaral (Figura 53).

.- Línea sísmica LS01-HU: Línea sísmica realizada en la Urb. El Trébol, ubicado en el extremo oeste de la ciudad de Huaral. El perfil de velocidad V_s muestra resultados confiables hasta una profundidad de 21 metros, indicando la presencia de suelos conformados por dos capas con espesores de 4 y 7 metros. Para la primera capa la velocidad V_s es de 390 m/s y corresponde a suelos moderadamente duros; mientras que, la segunda capa con V_s de 679 m/s corresponde a suelos muy duros o roca blanda. En esta caso, la superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades mayores a 940 m/s y corresponde a rocas moderadamente duras (Figuras 53a).

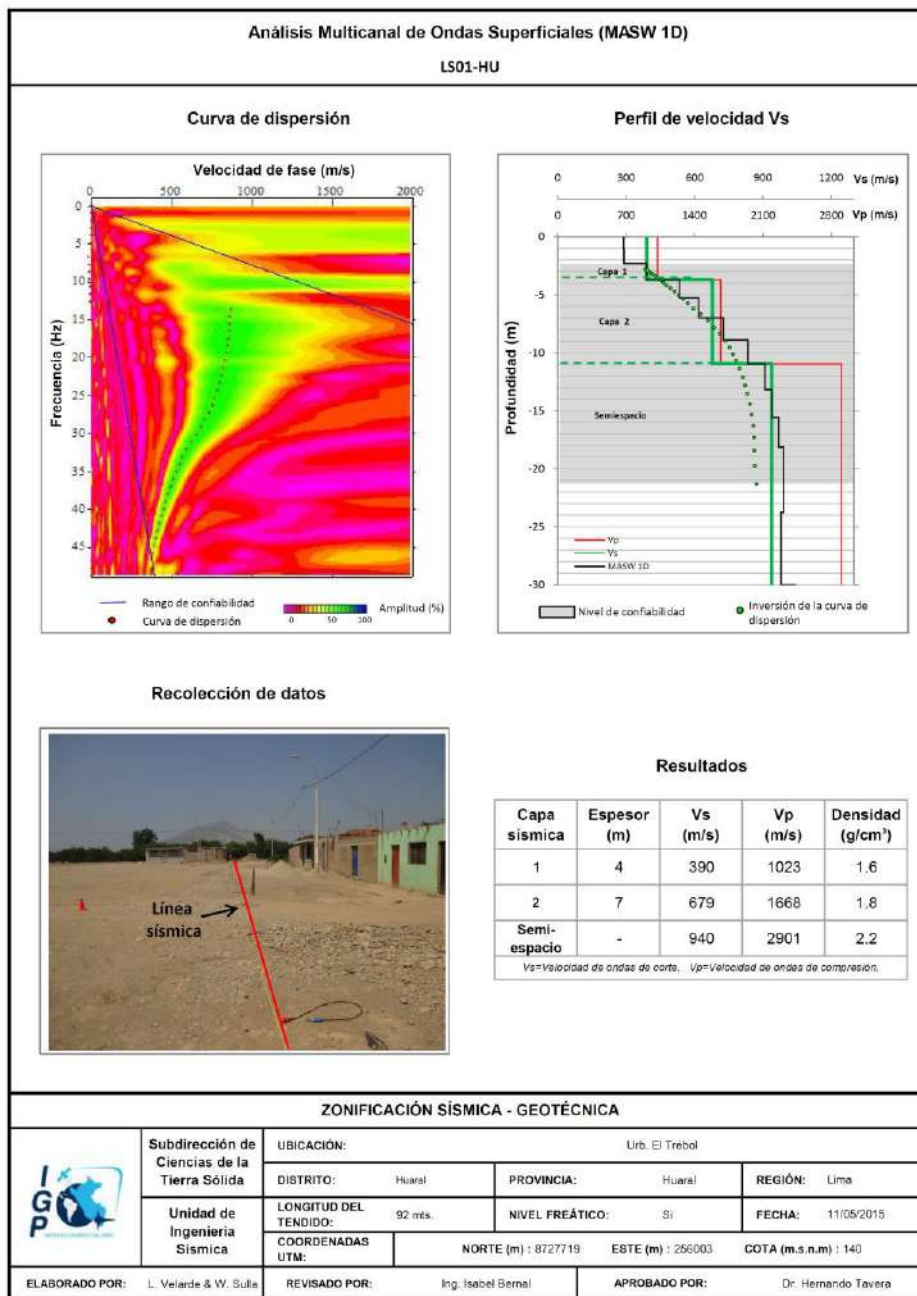


Figura 53: a) Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS01-HU.

.- Línea sísmica LS02-HU: Línea sísmica realizada en la calle Malaygua, ubicada a 100 metros, en línea perpendicular, a la carretera Huaral - Chancay. El perfil de velocidad Vs muestra resultados confiables hasta una profundidad de 25 metros, indicando la presencia de suelos conformados por dos capas. La primera con un espesor de 4 metros y velocidades de 347 m/s correspondiendo a suelos moderadamente duros y la segunda capa, de 9 metros de espesor y velocidades de 491 m/s correspondiente a suelos duros. La superficie de contacto con el

semiespacio presenta velocidades de 630 m/s y corresponden a suelos muy duros o roca blanda (Figura 53b). En la zona de estudio se encontró depósitos fluviales compuesto de bolonerías.

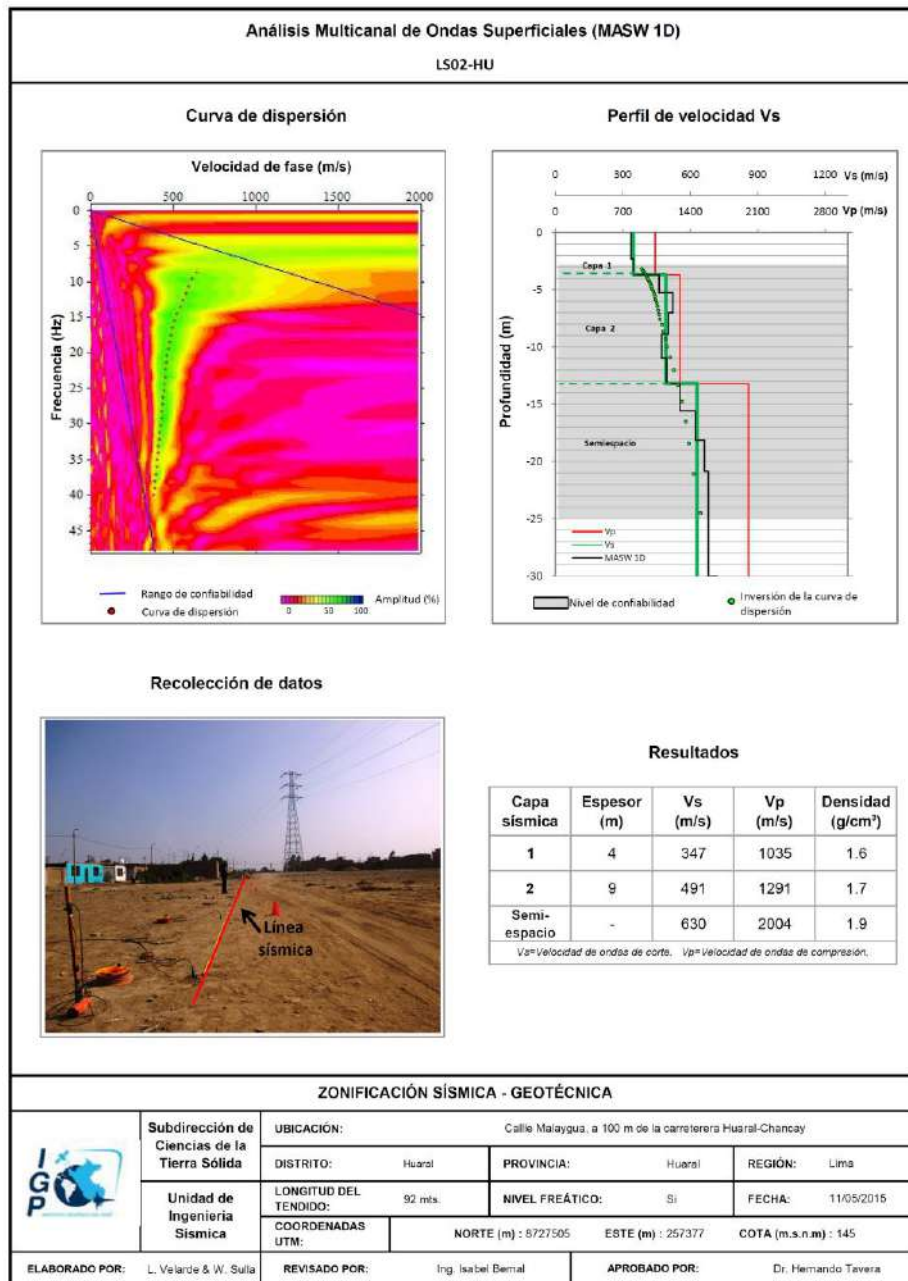


Figura 53: b) Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS02-HU.

- Línea sísmica LS03-HU y LS05-HU: Líneas sísmicas realizadas a una cuadra del Colegio Santa Inés y en el pasaje José Olaya, ubicados en el extremo sur de la ciudad de Huaral. Los perfiles de velocidad Vs muestran resultados confiables hasta una profundidad de 24 metros, identificándose la presencia de suelos

conformados por dos capas. La primera capa presenta un espesor de 4.5 metros y velocidades promedio de 430 m/s, lo cual sugiere la presencia de suelos duros. La segunda capa de 3 a 8 metros de espesor y velocidades V_s de 544 m/s correspondiente a suelos muy duros a roca blanda. La superficie de contacto con el semiespacio presenta una velocidad V_s entre 649 m/s a 716 m/s y estaría conformada por suelos muy duros o roca blanda (Figura 53c y d). En el área de la línea LS03 se identificó la presencia de material pedregoso, así como boloneras de depósitos fluviales.

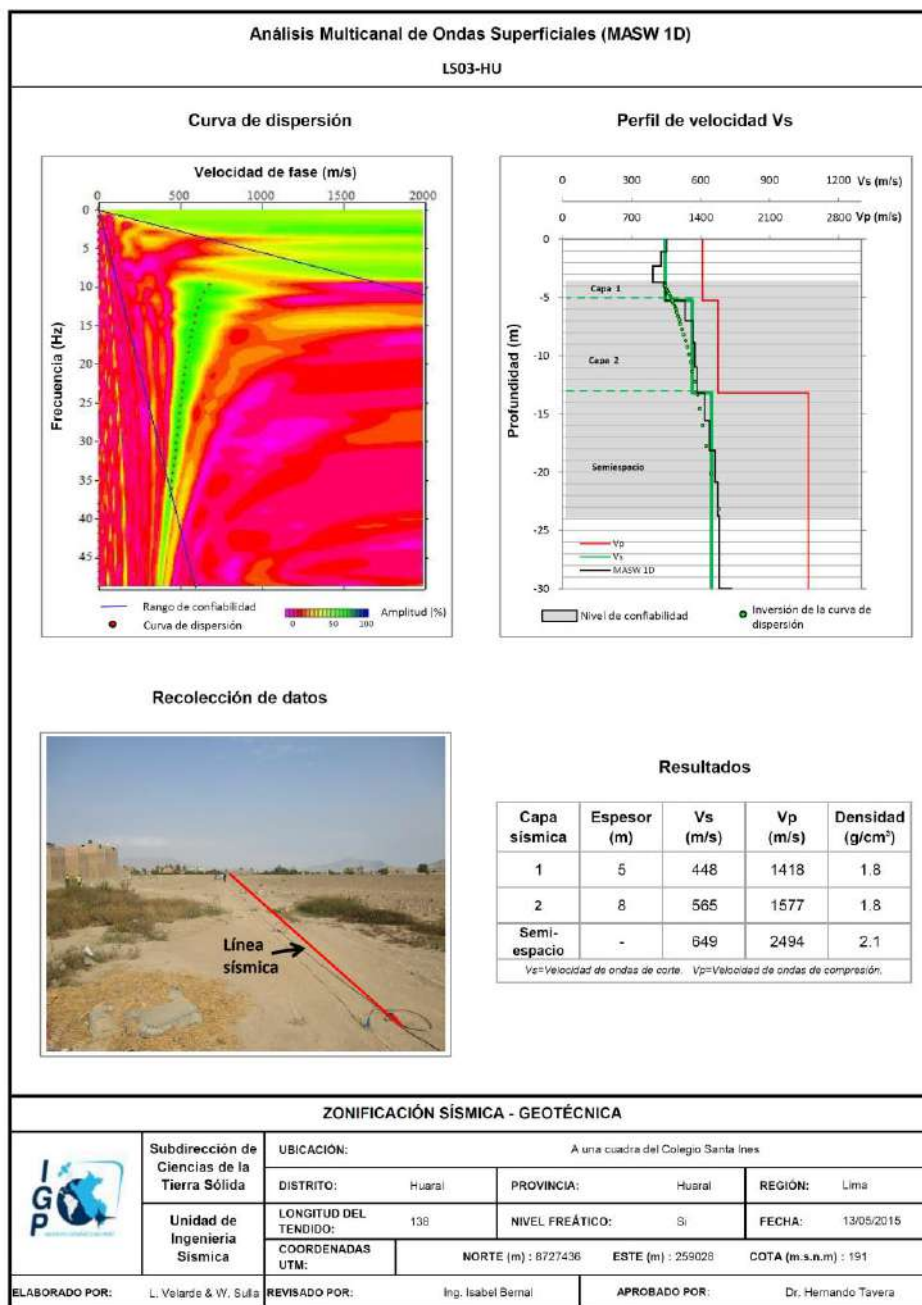


Figura 53: c) Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS03-HU.

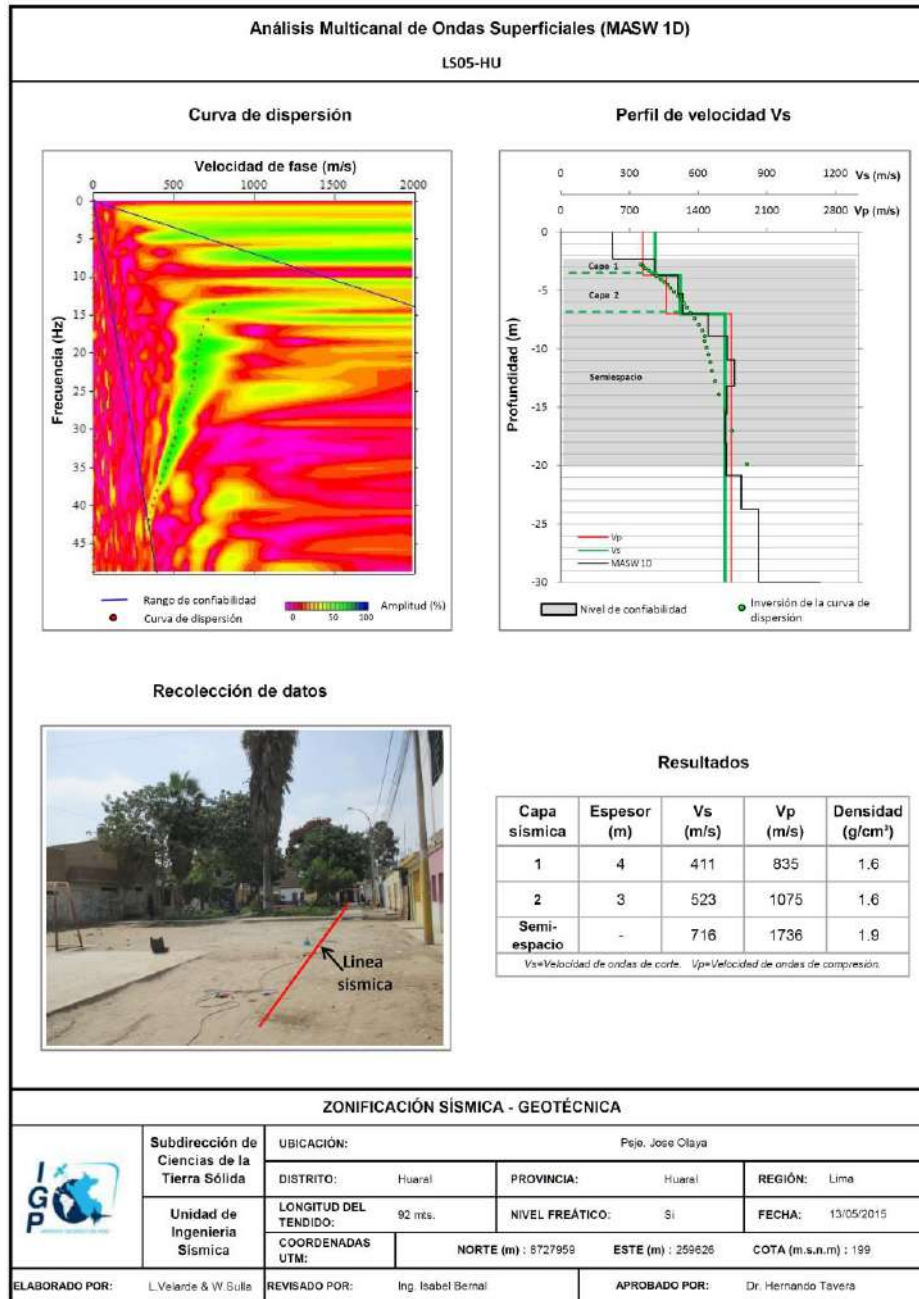


Figura 53: d) Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS05-HU.

.- Línea sísmica LS04-HU: Línea sísmica realizada a espaldas del policlínico Peruano - Japonés de Huaral, ubicado próximo al centro de la ciudad. El perfil de velocidad Vs muestra resultados confiables hasta una profundidad de 20 metros, identificándose la presencia de suelos conformados por dos capas. La primera capa con un espesor de 5 metros y velocidades de 434 m/s, equivalente a suelos duros asentados sobre una segunda capa de 10 metros de espesor y velocidades de 752 m/s, correspondientes a suelos muy duros o roca blanda. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades de 940 m/s y

sugieren la presencia de rocas moderadamente duras (Figura 53e). En el área del perfil se identificó la presencia de un pozo de agua, con el nivel freático aproximadamente a 14 metros de profundidad.

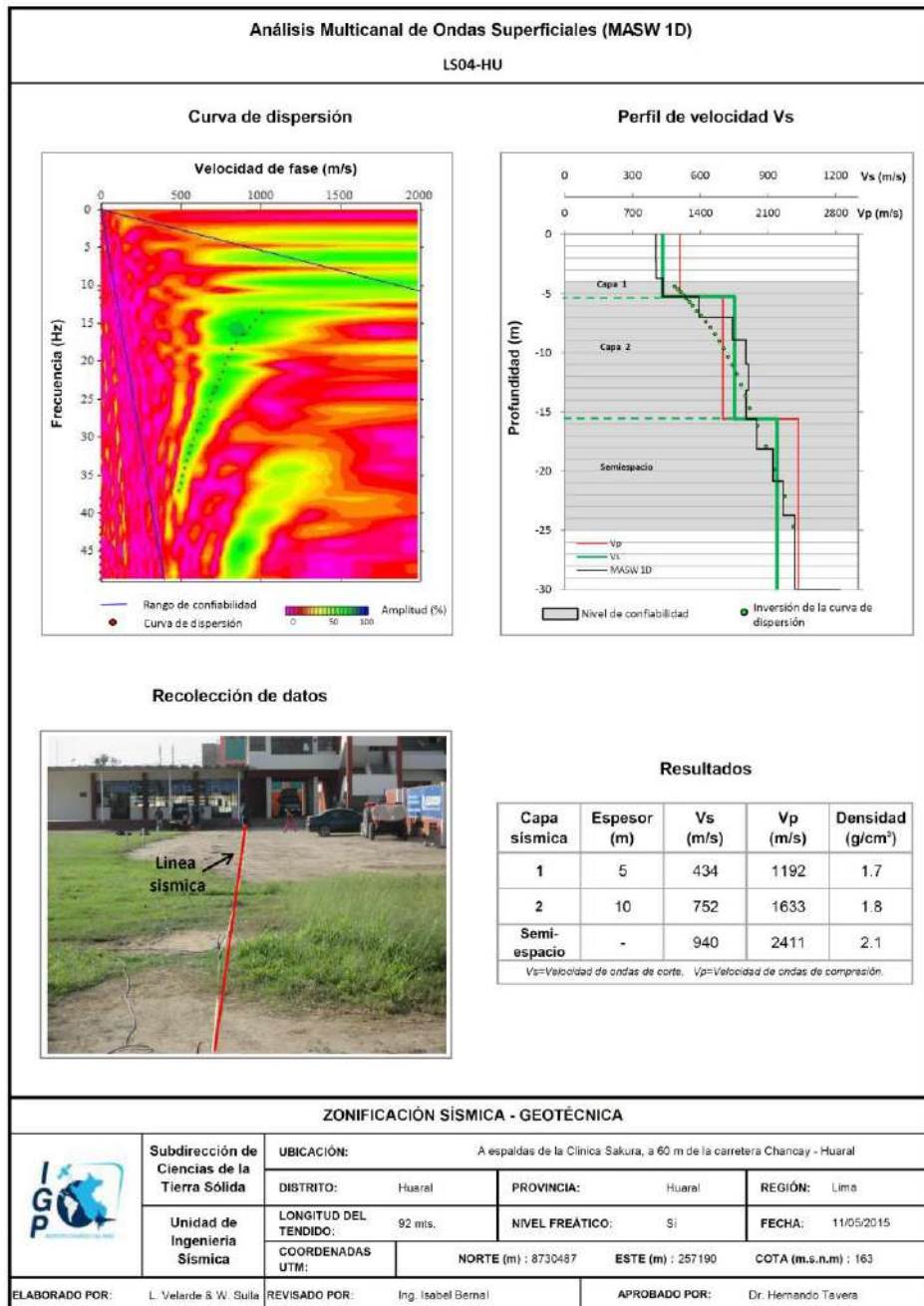


Figura 53: e) Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS04-HU.

.- Línea sísmica LS06-CH: Línea sísmica realizada cerca al mercado García Alonzo, en el extremo sureste de la ciudad de Huaral. El perfil de velocidad Vs muestra resultados confiables hasta una profundidad de 28 metros,

identificándose la presencia de suelos conformados por dos capas. La primera capa con espesor de 5 metros y velocidades de 182 m/s, la segunda capa de 8 metros de espesor y velocidades de 332 m/s, ambas velocidades definen la presencia de suelos moderadamente duros. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades de 609 m/s, correspondientes a suelos muy duros o roca blanda (Figura 53f).

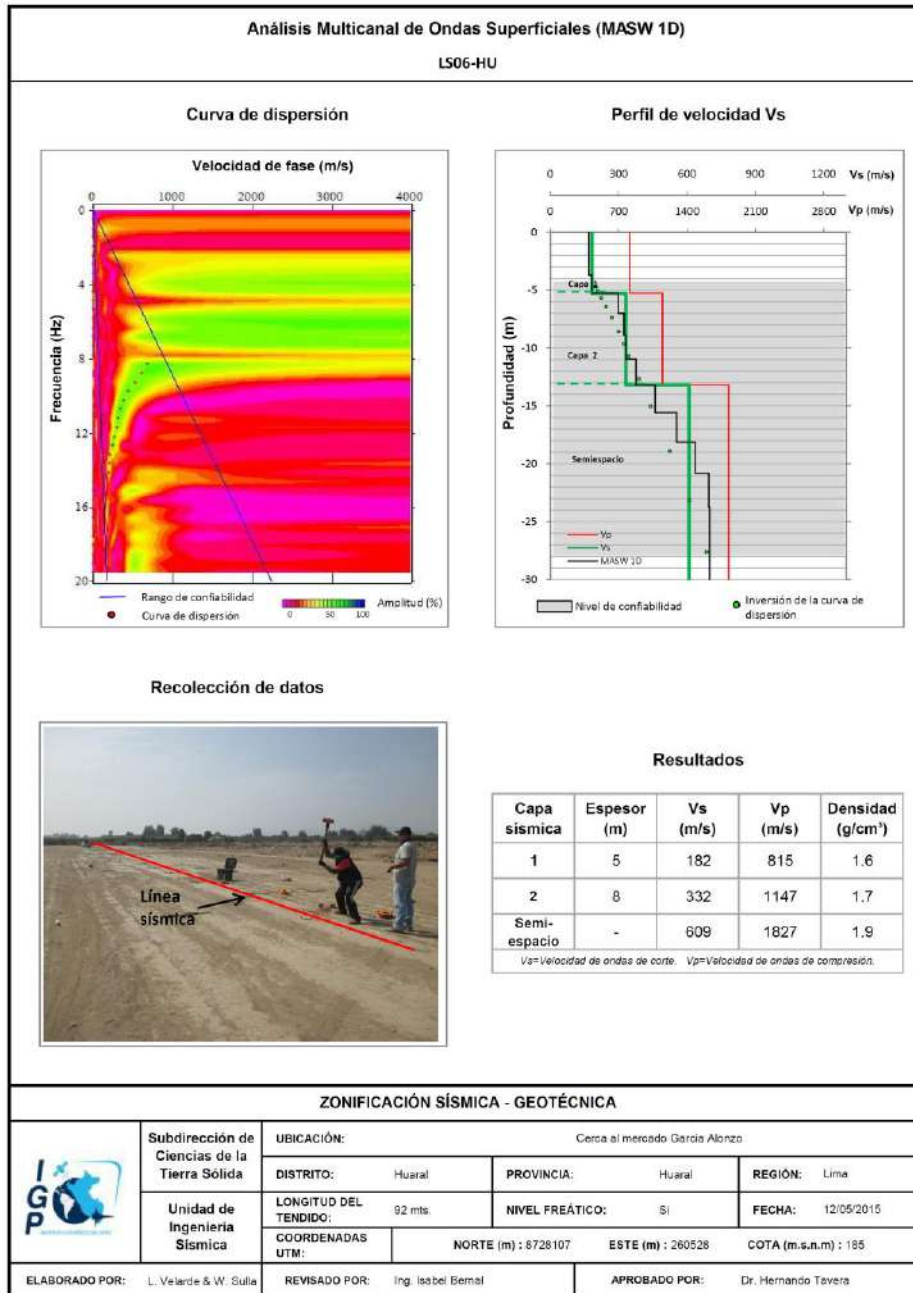


Figura 53: f) Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS06-HU.

.- Línea sísmica LS07-CH: Línea sísmica realizada a 120 metros de la Avenida Principal Huando. El perfil de velocidad V_s muestra resultados confiables hasta una profundidad de 28 metros, identificándose la presencia de suelos conformados por dos capas. La primera capa de 5 metros de espesor con velocidad V_s de 344 m/s correspondientes a suelos moderadamente duros y la segunda capa de 8 metros de espesor y velocidades de 659 m/s equivalentes a suelos muy duros o roca blanda. La superficie de contacto con el semiespacio, presenta velocidades mayores a 853 m/s correspondiendo a rocas moderadamente duras (Figura 53g). La línea fue realizada en un área de cultivo.

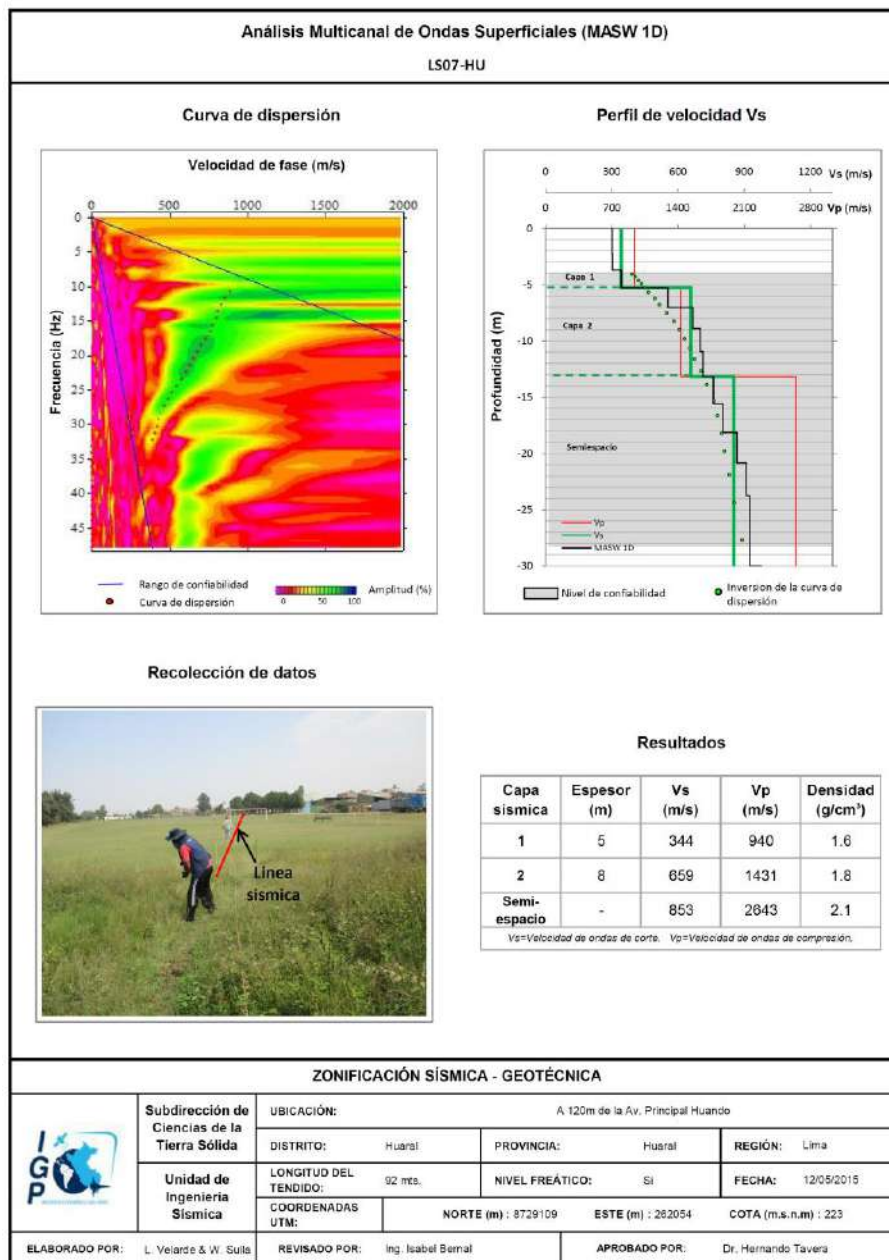


Figura 53: g) Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS07-HU.

.- Línea sísmica LS08-HU, LS09-HU y LS11-HU: Líneas sísmicas realizadas en el Parque de los Sueños, a una cuadra del mercado Miyashiro y a espaldas del Hotel Dalias, ubicadas en el extremo norte de la zona céntrica de Huaral. Los perfiles de velocidad Vs muestran resultados confiables hasta profundidades de 26 metros, identificándose la presencia de suelos conformados por dos capas. La primera con un espesor promedio de 4.5 metros, y velocidades de 378 m/s a 415 m/s, correspondiente a suelos que varían de moderadamente duros a duros. La segunda capa de 6 a 9 metros de espesor con velocidades Vs promedio de 696 m/s sugiriendo la presencia de suelos muy duros o roca blanda. La superficie de contacto con el semiespacio, presenta velocidades Vs promedio de 930 m/s correspondiente a rocas moderadamente duras (Figura 53h, i y j).

.- Línea sísmica LS10-HU: Línea sísmica realizada a una cuadra de la calle D, ubicada al extremo noroeste de la ciudad. El perfil de velocidad Vs muestra resultados confiables hasta una profundidad de 19 metros, identificándose la presencia de suelos conformados por dos capas. La primera con espesor de 2 metros y con velocidades de 118 m/s correspondientes a suelos blandos; mientras que, la segunda capa tiene un espesor de 7 metros y velocidad de 327 m/s que sugieren la presencia de suelos moderadamente duros. La superficie de contacto con el semiespacio, presenta velocidades mayores a 723 m/s; es decir, suelos muy duros o roca blanda (Figura 53k).

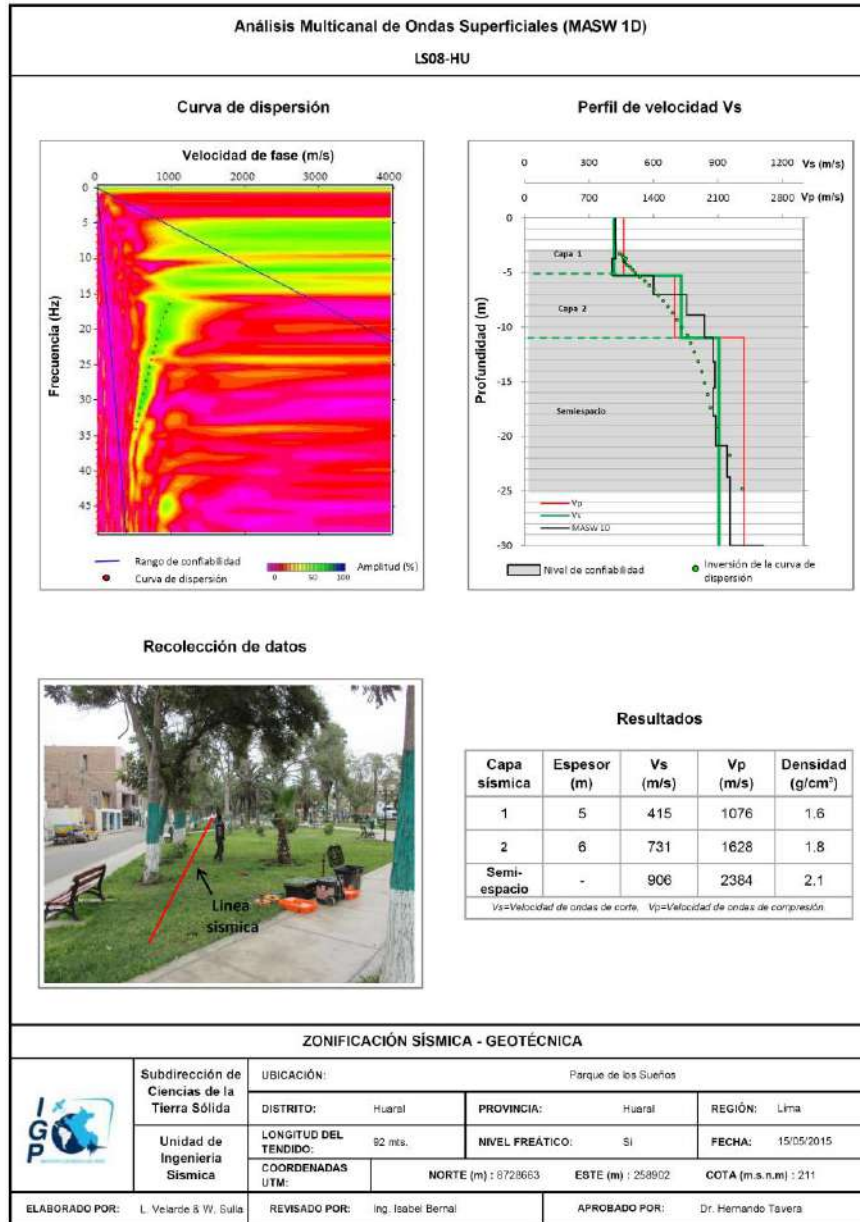


Figura 53: h) Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS08-HU.

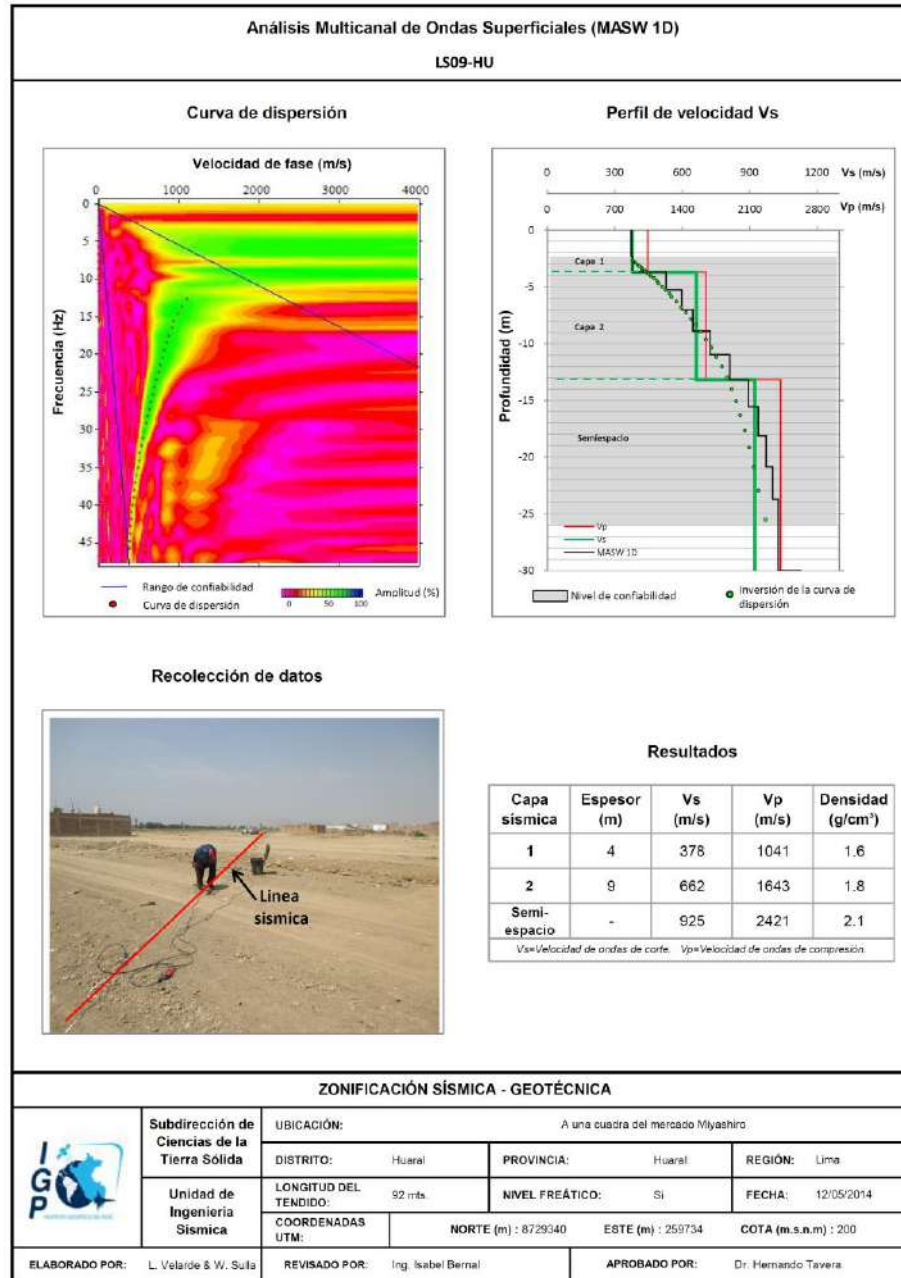


Figura 53: i) Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS09-HU.

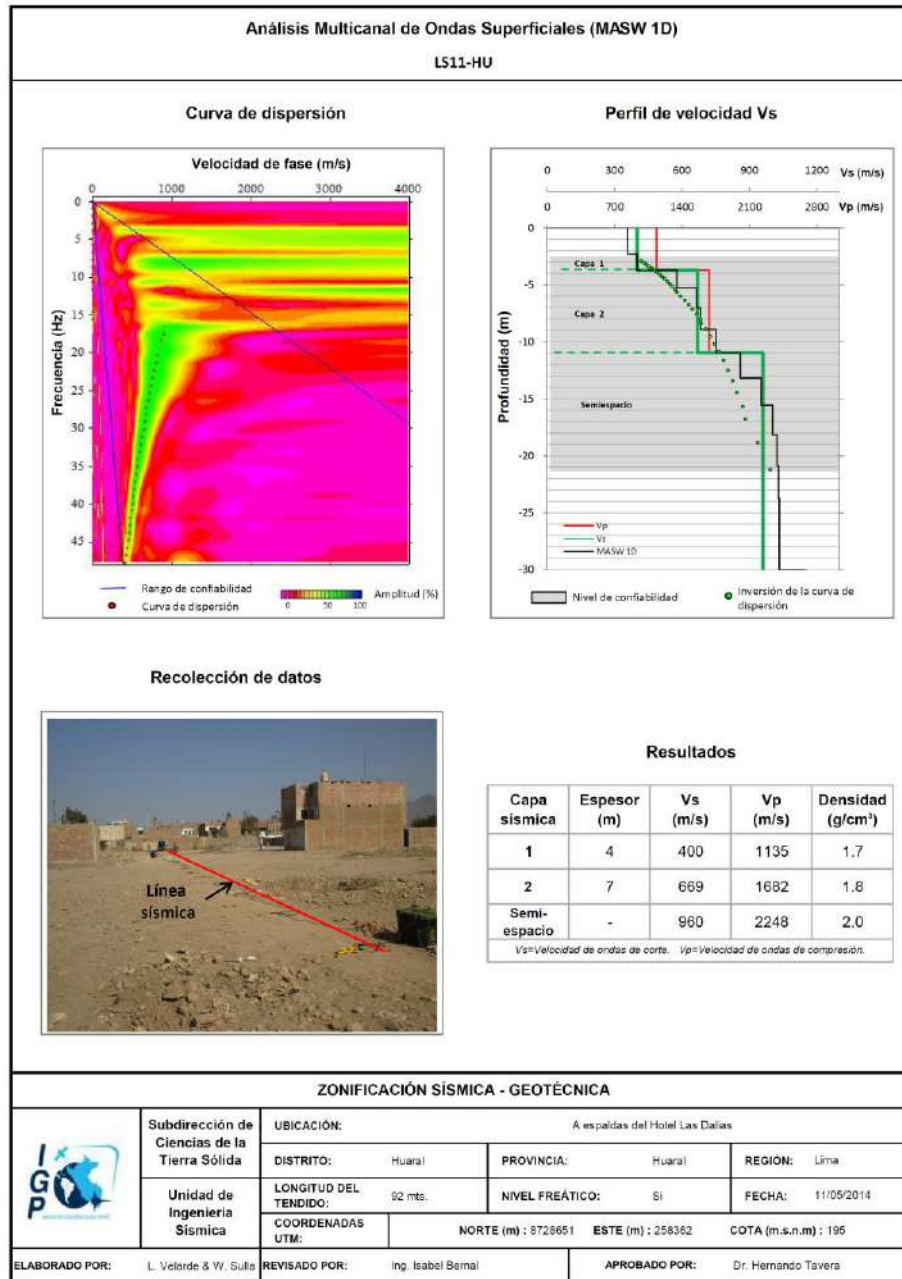


Figura 53: j) Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS11-HU.

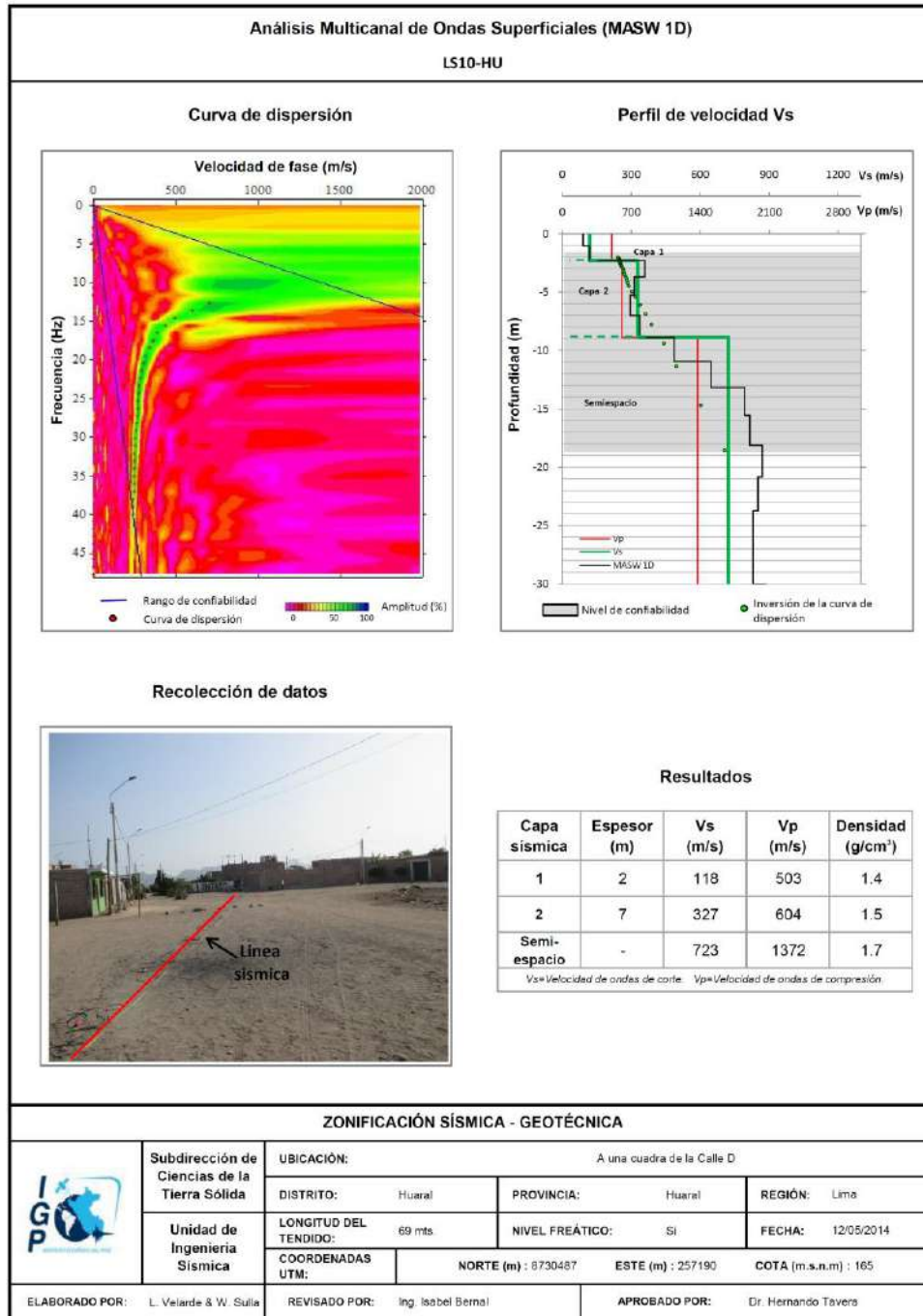


Figura 53: j) Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS10-HU.

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-HU	390	4	679	8	940
LS02-HU	347	4	491	8	630
LS03-HU	448	5	565	8	649
LS04-HU	434	5	752	10	940
LS05-HU	411	4	523	3	716
LS06-HU	182	5	332	8	609
LS07-HU	344	5	659	8	853
LS08-HU	415	5	731	6	906
LS09-HU	348	4	662	9	925
LS10-HU	118	2	327	7	723
LS11-HU	400	4	669	7	960
Suelos blandos ($V_s < 180$ m/s)					
Suelos duros ($V_s=180$ m/s - 500m/s)					
moderadamente duros (180 – 350 m/s)					
duros (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 estudios de refracción sísmica (método MASW) realizados en la ciudad de Huaral, han permitido identificar la presencia de suelos conformados por 2 capas. La primera con 5 metros de espesor, estaría compuesta por suelos moderadamente duros a duros (340 m/s a 450 m/s), todos conformados por terrenos de cultivo. En el caso de la LS01, los suelos están compuestos por depósitos de bolonerías sueltos o removidos y la línea LS10, por depósitos de arenas, coherentes con los valores de velocidad identificados para estos suelos (<182 m/s). La segunda capa, que en su mayoría corresponde a suelos muy duros o roca blanda, presenta espesores del orden de 8 metros y estarían conformadas por depósitos fluviales (material pedregoso y bolonerías). En general, el semiespacio presenta velocidades de hasta 960 m/s, evidenciando la presencia de rocas blandas a moderadamente duras como suelos de base.

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 54 se muestra la distribución espacial de los valores de periodos dominantes en la ciudad de Huaral y ellos muestran que en un alto porcentaje del área de estudio, se tiene el predominio de periodos entre 0.4 a 0.5 segundos, y en ciertos sectores del extremo oeste y noroeste de la ciudad, se tienen periodos entre 0.6 y 0.7 segundos. Adicionalmente, hacia los extremos NO, SO y este, sobresalen periodos con valores entre 0.1 a 0.3 segundos, lo cual evidencia una mayor complejidad en la respuesta del suelo.

Los periodos dominantes que caracterizan a los suelos de la ciudad de Huaral 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 300 m/s y 600 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.5 segundos, se estima para la capa superficial espesores entre 30 a 70 metros, seguida por una capa con espesores de hasta 60 metros. Estos valores muestran coherencia con los obtenidos aplicando métodos geofísicos.

En la ciudad de Huaral, el mapa de periodos dominantes muestra la presencia de suelos dinámicamente similares y en algunas áreas con baja amplificación, principalmente en la zona céntrica y en el extremo NE del área de la ciudad. Los suelos resultan ser más complejos hacia el extremo Sur, SO y Norte por la variedad de periodos dominantes, y porque se observa valores altos para el factor de amplificación.

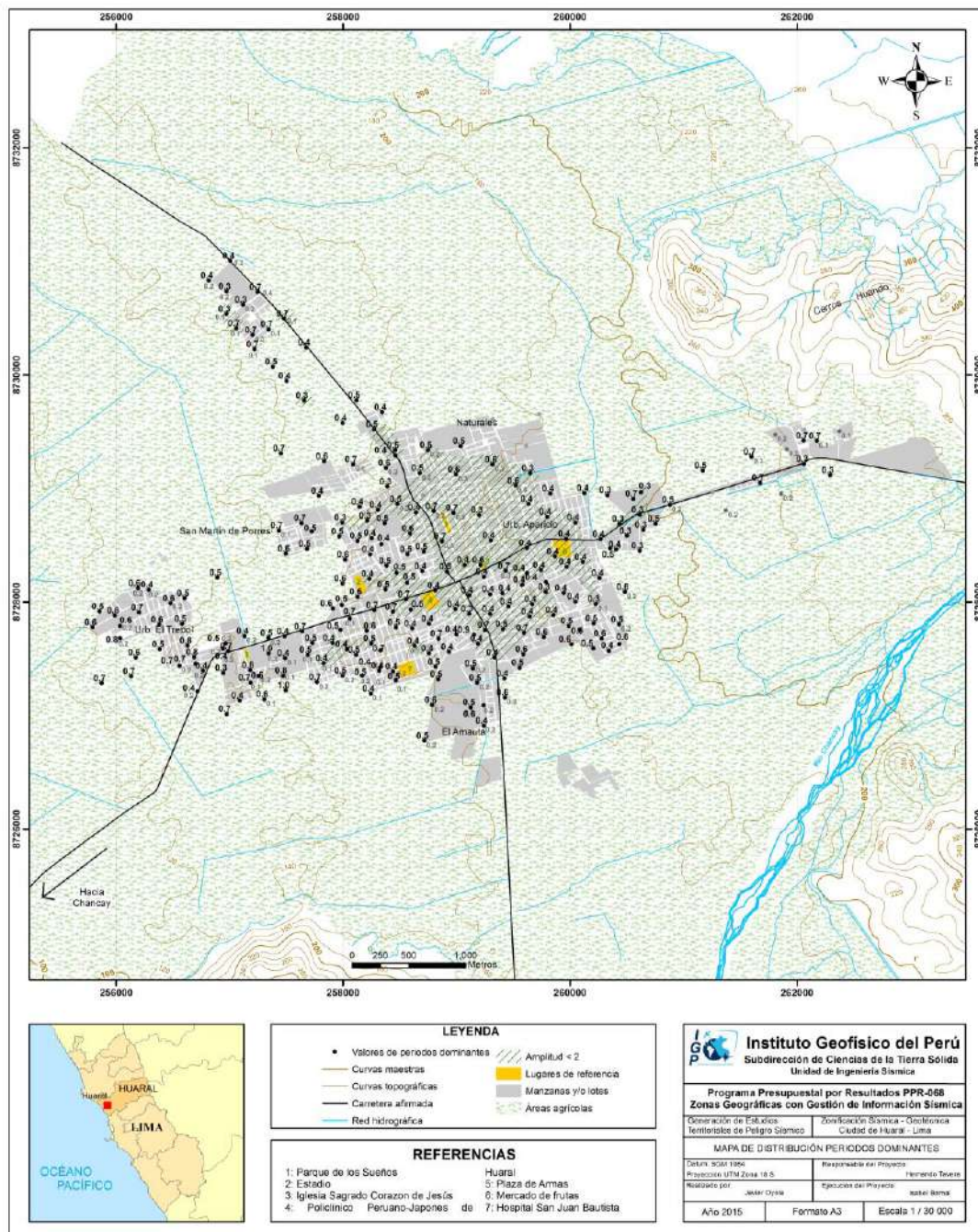


Figura 54: Mapa de la ciudad de Huaral y distribución espacial de los valores de periodos dominantes.

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 Huaral se han realizado 7 líneas de tomografía eléctrica con el dispositivo polo-dipolo (Figura 55) 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 electrodos	Extensión de la línea	Orientación de la línea
LE01-HU	10 m / 25 electrodos	240 m	NO - SE
LE02-HU	10 m / 25 electrodos	240 m	N - S
LE03-HU	6 m / 25 electrodos	144 m	NO - SE
LE04-HU	10 m / 25 electrodos	144 m	NO - SE
LE05-HU	6 m / 25 electrodos	144 m	N - S
LE06-HU	6 m / 25 electrodos	144 m	O - E
LE07-HU	10 m / 25 electrodos	240 m	NO - SE

A continuación, se describe las características de cada una de las secciones geo-eléctricas realizadas y cuya información permitirá conocer el valor real de la resistividad del subsuelo en la ciudad de Huaral (Figura 56).

.- Línea de Tomografía Eléctrica LE01-HU: Línea eléctrica con orientación noreste a sureste, realizada en dirección perpendicular a la calle Prolongación Palmo, ubicada en la parte central y sur de la ciudad de Huaral. El rango de valores de resistividad varía desde 2 a 1200ohm.m. con el predominio de valores bajos y muy bajos resistivos en profundidad. Desde la estación 40 y hasta el extremo sureste de la línea se distribuyen valores muy altos resistivos, mayores de 500ohm.m hasta una profundidad promedio de 15 metros. Por debajo de

estos valores se tiene otros bajos resistivos entre 2 a 100 ohm.m, que configuran capas con espesores entre 15 y 25 metros. La saturación de los suelos puede asociarse a la presencia de terrenos agrícolas (Figura 56a). Los materiales que se observan son de grano fino a medio, arena y gravas. La línea fue realizada sobre una pista afirmada adyacente de un terreno agrícola.

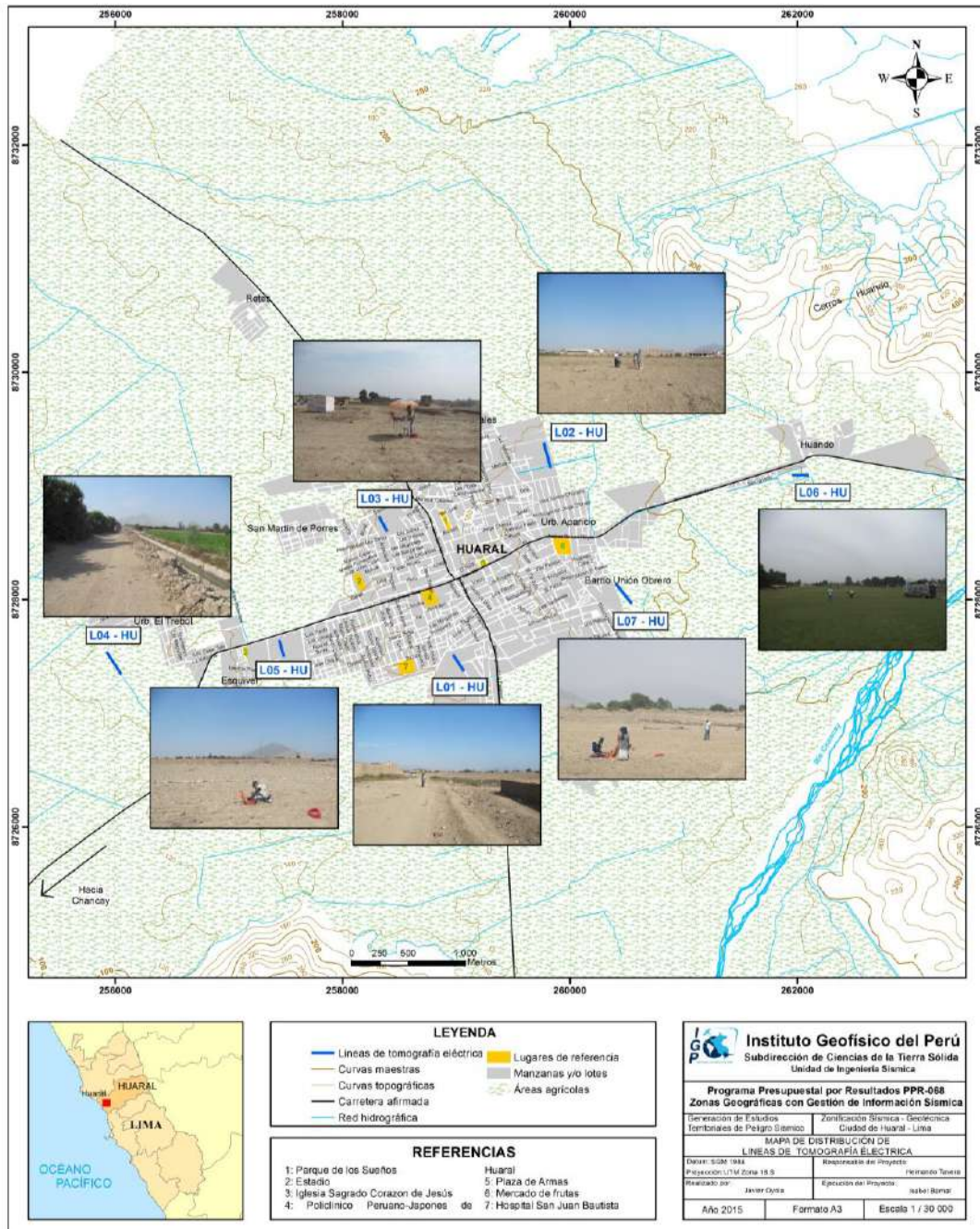


Figura 55: Mapa de la ciudad de Huaral y ubicación de las 7 líneas de tomografía eléctrica.

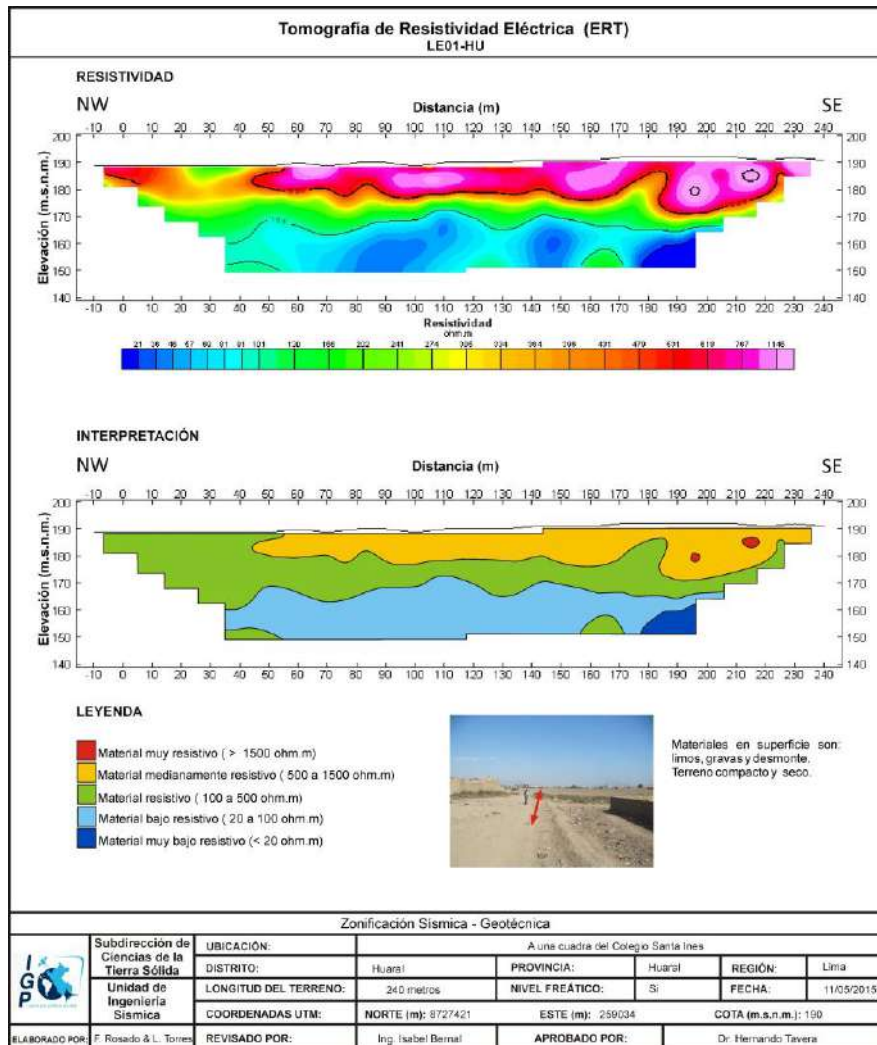


Figura 56a: Análisis e interpretación de la Línea LE01-HU de tomografía eléctrica.

.- Línea de Tomografía Eléctrica LE02-HU: Línea eléctrica con orientación de norte a sur, realizada próximo al colegio “Los Naturales” ubicado en dirección perpendicular a la prolongación Circunvalación Norte, extremo norte del área urbana de Huaral (Figura 55). El rango de valores de resistividad varía de 2 a 1500 ohm.m. con el predominio de valores bajos resistivos. A lo largo de la línea, se distribuyen valores muy resistivos (> 500 ohm.m), de forma paralela a la superficie, entre las estaciones -10 y 20; entre las estaciones 30 y 40, y entre las estaciones 60 y 240, alcanzando profundidades variables entre 5 y 12 metros. A mayor profundidad, los valores son muy altos resistivos y se distribuyen entre las estaciones 110 a 180 tomando formas de elipsoides alargados. Por debajo de estos valores, se distribuyen valores altos resistivos entre 100 a 500 ohm.m, que sugieren que los suelos reciben aporte de agua por haber sido terrenos de

cultivo. A mayor profundidad (~30 m) y entre las estaciones 100 a 200, se distribuyen valores bajos resistivos con valores entre 2 y 100 ohm.m, (Figura 56b). La línea se realizó sobre un terreno compactado y compuesto por limos, arena y gravas.

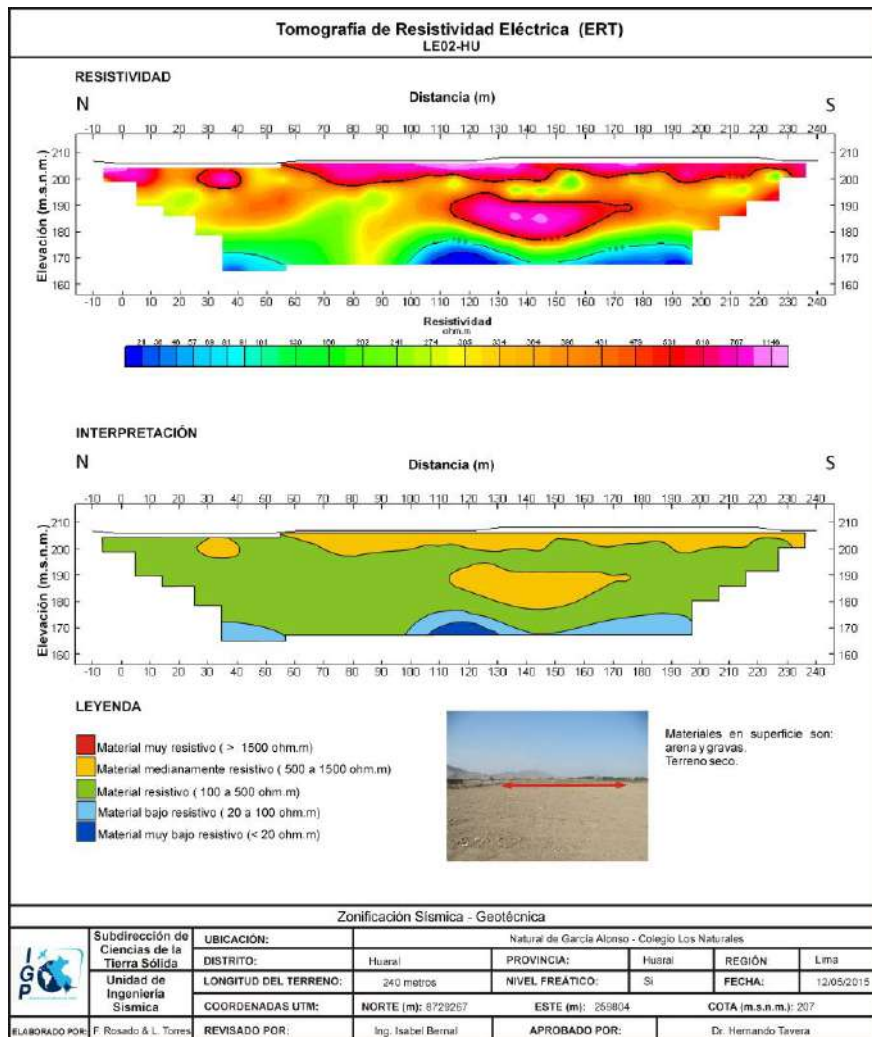


Figura 56b: Análisis e interpretación de la Línea LE02-HU de tomografía eléctrica.

.- Línea de tomografía eléctrica LE03-HU: Línea eléctrica con orientación noroeste a sureste, realizada en el terreno de la Lotizadora Machagua, ubicada en dirección perpendicular a la Calle Las Dalias, extremo norte del área urbana de Huaral (Figura 55). El rango de valores de la escala de resistividad varía desde 2 a 1500 ohm.m. con el predominio de valores bajos resistivos. En el extremo superior de la sección se distribuyen valores resistivos muy altos (> 500 ohm.m.), hasta una profundidad de 6 metros asumiendo una geometría paralela a la superficie sugiriendo la presencia de un suelo homogéneo. Por debajo de

estos valores de resistividad se distribuyen otros altos resistivos que van entre 100 y 500 ohm.m, excepto entre las estaciones 54 y 60 donde se presentan valores muy altos de resistividad y que en profundidad tiene una forma ovoide. A mayor profundidad (~20 m) se identifica la presencia de valores bajos resistivos, entre 2 a 100 ohm.m, que podrían estar influenciados por la presencia de niveles freáticos distribuidos a diferentes niveles de profundidad. En el área donde se realizó la línea, el suelo se encuentra seco y compactado en superficie con la presencia de materiales de grano fino y medio, arenas y gravas (Figura 56c).

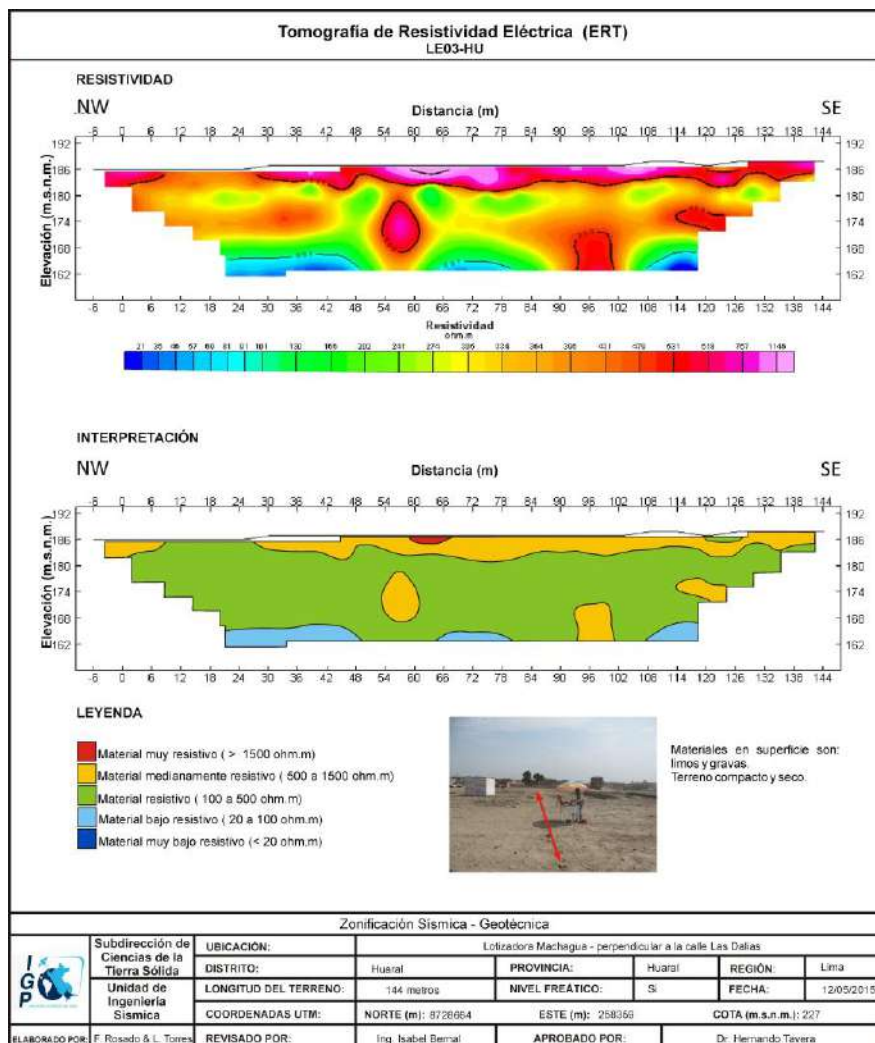


Figura 56c: Análisis e interpretación de la Línea LE03-HU de tomografía eléctrica.

.- Línea de tomografía eléctrica LE04-HU: Línea eléctrica con orientación noroeste a sureste, realizada en la Av. Tijuana en el lugar denominado “Casa Blanca”, ubicado en el extremo oeste de la zona urbana de Huaral (Figura 55). El rango de valores de resistividad varía desde 2 a 1500 ohm.m. con el predominio

de valores bajos resistivos. En la sección los valores de muy alta resistividad se distribuyen a profundidades intermedias y con cierto espaciamiento, presentan forma de ovoides alargados y están presentes entre las estaciones 20 y 30, 80 y 110 y entre las estaciones 190 y 210. En la parte superficial e intermedia de la sección, se identifica la presencia de valores altos resistivos en el orden de 100 a 500 ohm.m, que tienden a estar presentes a mayor profundidad en el extremo noroeste de la línea. La saturación de los suelos se asociaría a la presencia de terrenos agrícolas alrededor y la existencia de un canal de agua paralelo a la línea. A profundidad, los valores de resistividad varían entre 2 y 100 ohm.m, principalmente entre las estaciones 50 y 120, y desde la estación 150 hasta el final de la línea. En el área de la línea, se observa la presencia suelos secos y afirmados compuestos por granos finos a medio, arenas, limos, arcillas y gravas. (Figura 56d).

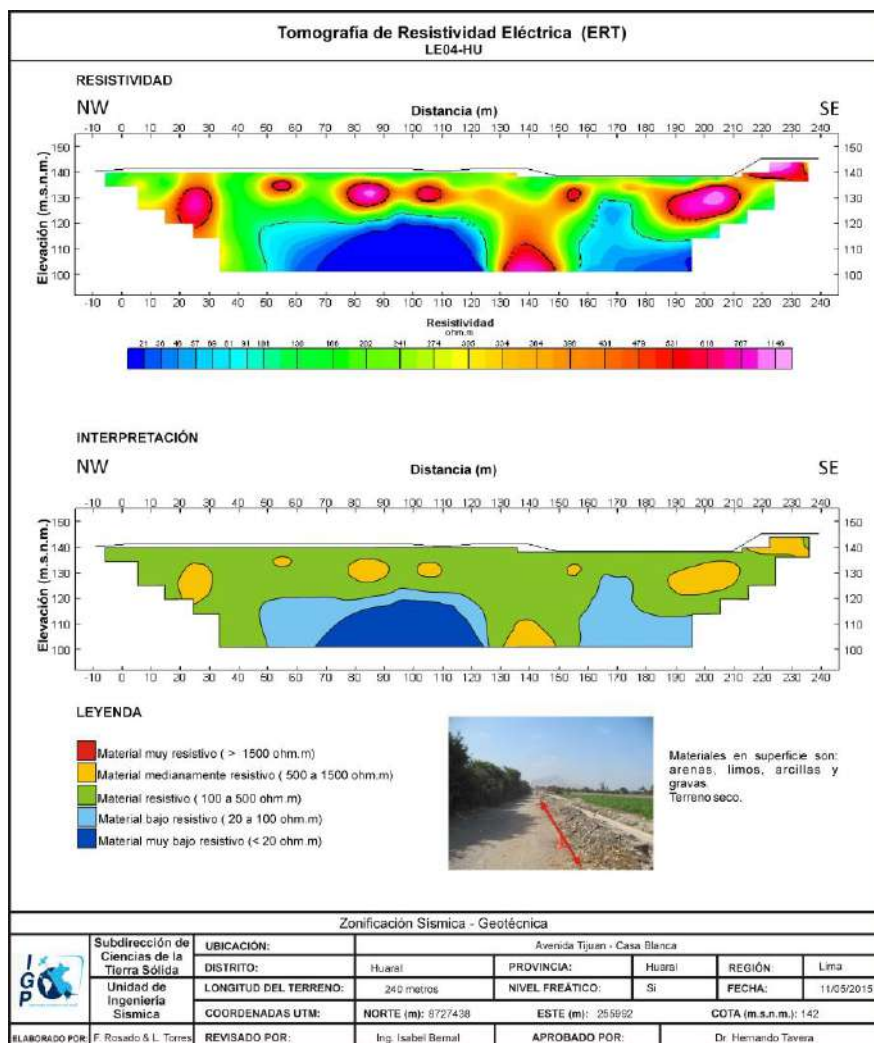


Figura 56d: Análisis e interpretación de la Línea LE04-HU de tomografía eléctrica.

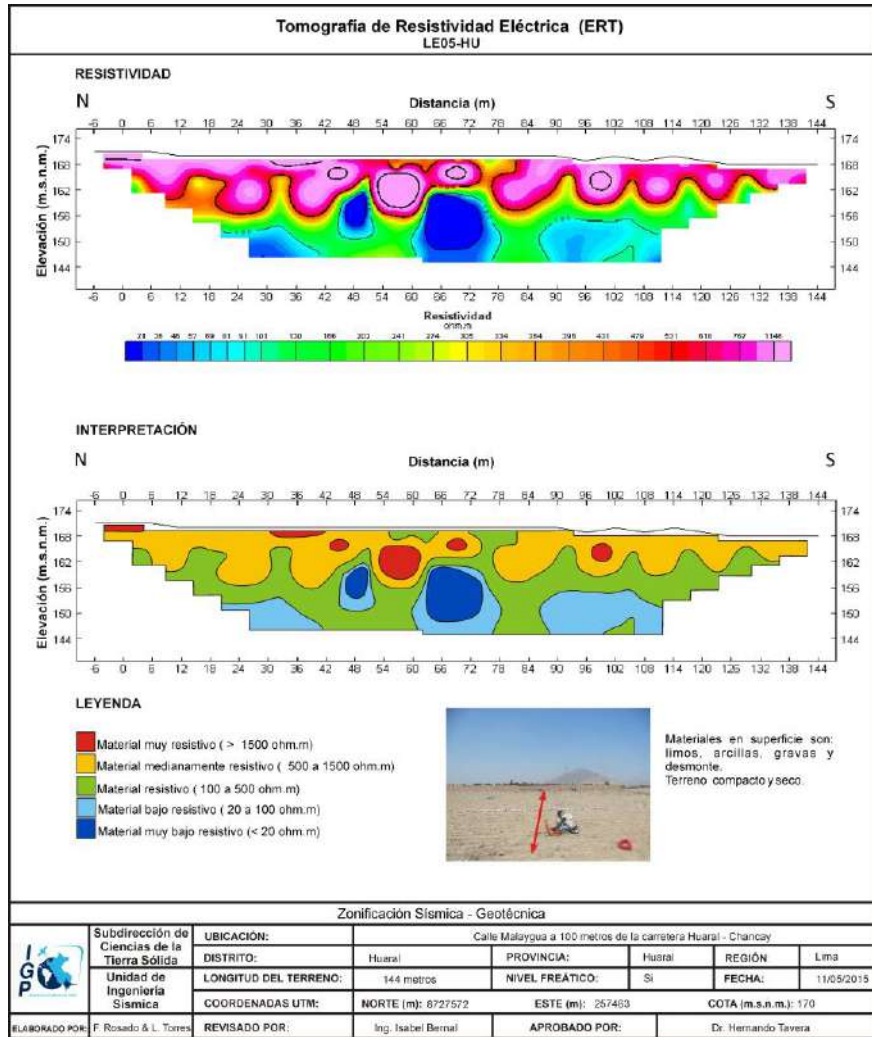


Figura 56e: Análisis e interpretación de la Línea LE05-HU de tomografía eléctrica.

- Línea de tomografía eléctrica LE05-HU: Línea eléctrica con orientación norte a sur, realizada sobre un terreno destinado a vivienda, ubicado en el extremo oeste del área urbana de Huaral (Figura 55). El rango de valores de la escala de resistividad varía desde 2 a 1500 ohm.m. con el predominio de valores muy altos y altos resistivos. A lo largo de toda la sección se distribuyen valores entre 500 y 1500 ohm.m, hasta profundidades que varían entre 6 y 14 metros, que podrían estar asociados a la presencia de suelos compactos. Por debajo de estos valores de resistividad se distribuyen otros que van de 100 a 500 ohm.m; además de valores bajos resistivos que aparecen dispersos en profundidad (2 a 100 ohm.m) y entre las estaciones 18 y 42, luego con formas pseudo-ovoide entre las estaciones 60 y 78, y por último, entre las estaciones 90 y 114. En esta sección la saturación de los suelos podrían estar influenciados por niveles freáticos presentes a diferentes niveles de profundidad. En el área de línea se

observa la presencia de materiales conformados por arenas, limos, arcillas y gravas; además de material de desmonte (Figura 56e).

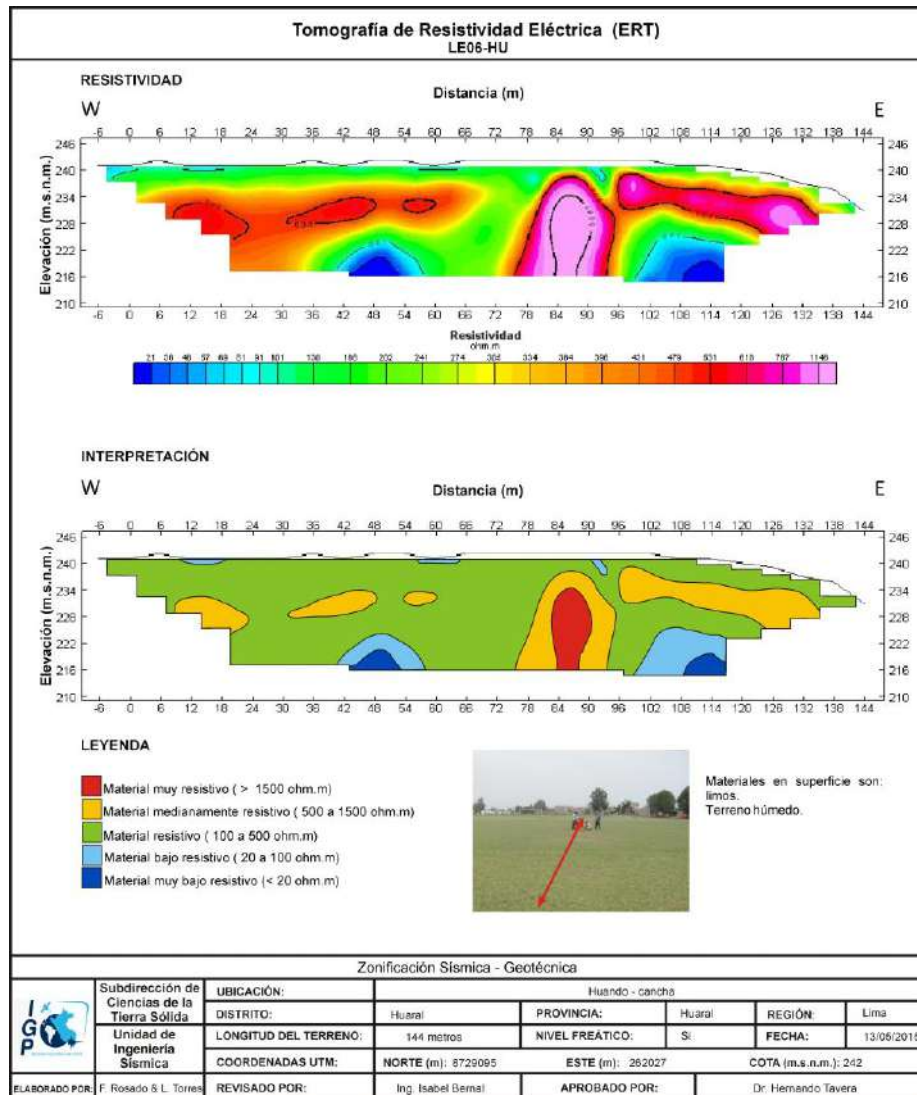


Figura 56f: Análisis e interpretación de la Línea LE06-CH de tomografía eléctrica

.- Línea de tomografía eléctrica LE06-HU: Línea eléctrica con orientación oeste a este, realizada en una cancha de fútbol ubicada en Huando, extremo este del área urbana de Huaral (Figura 55). El rango de valores de la escala de resistividad varía desde 2 a 1500 ohm.m. con el predominio de valores altos resistivos. En la parte superior de la línea predominan valores altos resistivos en el orden de 100 a 250 ohm.m hasta profundidades de 6 metros, con la presencia de suelos que albergan vegetación. Subyace a estos suelos, un medio con valores muy altos resistivos (>500 ohm.m) dando forma a geometrías alargadas y discontinuas en profundidad, principalmente desde el inicio de la línea hasta la

estación 66, y luego entre las estaciones 72 y 96. A mayores profundidades, se distribuyen valores entre 2 y 100 ohm.m en dos sectores. primero entre las estaciones 42 y 60 y luego desde la estación 96 hacia el final de la línea (Figura 56f).

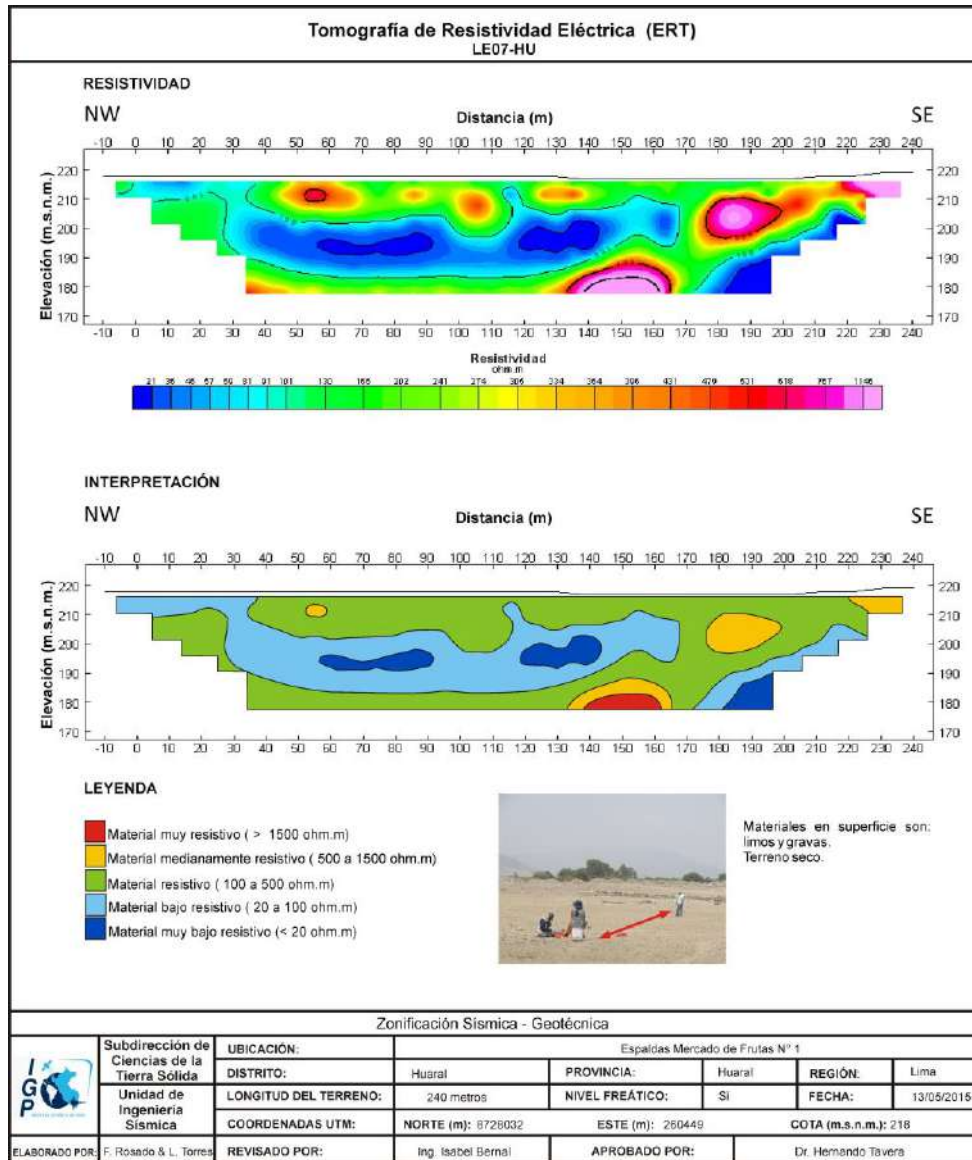


Figura 56g: Análisis e interpretación de la Línea LE07-CH de tomografía eléctrica

.- Línea de tomografía eléctrica LE07-HU: Línea eléctrica con orientación noroeste a sureste, realizada en una cancha de futbol ubicada a espaldas del Mercado de Frutas N° 1, extremo sureste del área urbana de Huaral (Figura 55). El rango de valores de la escala de resistividad varía desde 2 a 1500 ohm.m. con el predominio de valores bajos y altos resistivos. En la parte superior de la línea

predominan valores altos resistivos entre 100 a 500 ohm.m hasta una profundidad de 15 metros correspondiente a suelos conformados por escombros y basura. Debajo de estos valores, se tiene otros bajos resistivos inferiores a 100 ohm.m desde el inicio de la línea (extremo NO) hasta la estación 170. De manera irregular aparecen medios con valores muy altos resistivos (>500 ohm.m), entre las estaciones 130 y 160, y entre las estaciones 180 y 200, estos medios presentan formas elipsoidales (Figura 56g). Los materiales que se observan en el área de la sección son limos, arcillas, arenas y gravas, además de basura producto de las actividades humanas.

En resumen, en la ciudad de Huaral la distribución de los valores de resistividad evidencian la presencia de suelos compuestos por capas muy resistivas a niveles superficiales y que podrían estar asociados a la presencia de suelos compactos hasta una profundidad de hasta 14 metros. A mayores profundidades, la resistividad del suelo disminuye de 500 a 200 ohm.m, y probablemente sea debido a que los suelos son terrenos agrícolas y en algunos casos, presentan saturación, tal como se observa en el extremo SE del área de estudio, próximo al río Chancay.

12.- ZONIFICACIÓN SÍSMICA - GEOTÉCNICA

El Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica para la ciudad de Huaral considera el análisis e interpretación de la información geológica, geomorfológica, geodinámica, geotécnica, sísmica y geofísica. Para la ciudad de Huaral, las características dinámicas del suelo han permitido identificar, de acuerdo a la Norma de Construcción Sismorresistente (Norma E-030), la existencia de un solo tipo de suelos: Tipo S2.

12.1.- Mapa de Zonificación Sísmica - Geotécnica

Para la ciudad de Huaral se propone la siguiente Zonificación Sísmica-Geotécnica (Figura 57):

.- ZONA I: En el área de estudio no se identificó suelos Tipo S1.

.- ZONA II: Incluye las áreas de terreno conformado por estratos superficiales de depósitos aluviales (suelos granulares finos y suelos limosos) con grava mal gradada y con espesores que varían entre 30 y 70 metros. Subyaciendo a estos estratos se tiene otros más compactos. Los periodos predominantes del terreno son mayores de 0.4 y 0.5 segundos, correspondiendo a suelos Tipo S2 de la norma sismorresistente peruana. Esta zona presenta velocidades de ondas de corte (V_s) de 300 a 600 m/s. La zona presenta suelos con capacidad portante media ($>3.0 \text{ kg/cm}^2$).

Sobre el mapa se define con líneas inclinadas en rojo, las zonas que presentan amplificaciones mayores (> 4 veces) con periodos en el rango de 0.4 y 0.6 segundos. Adicionalmente, en esta zona sobresale un segundo rango de periodos que fluctúa entre 0.1 y 0.3 segundos con mínimas amplificaciones. Las líneas inclinadas en verde, definen zonas de baja amplificación y principalmente se encuentran en la zona céntrica de la ciudad de Huaral.

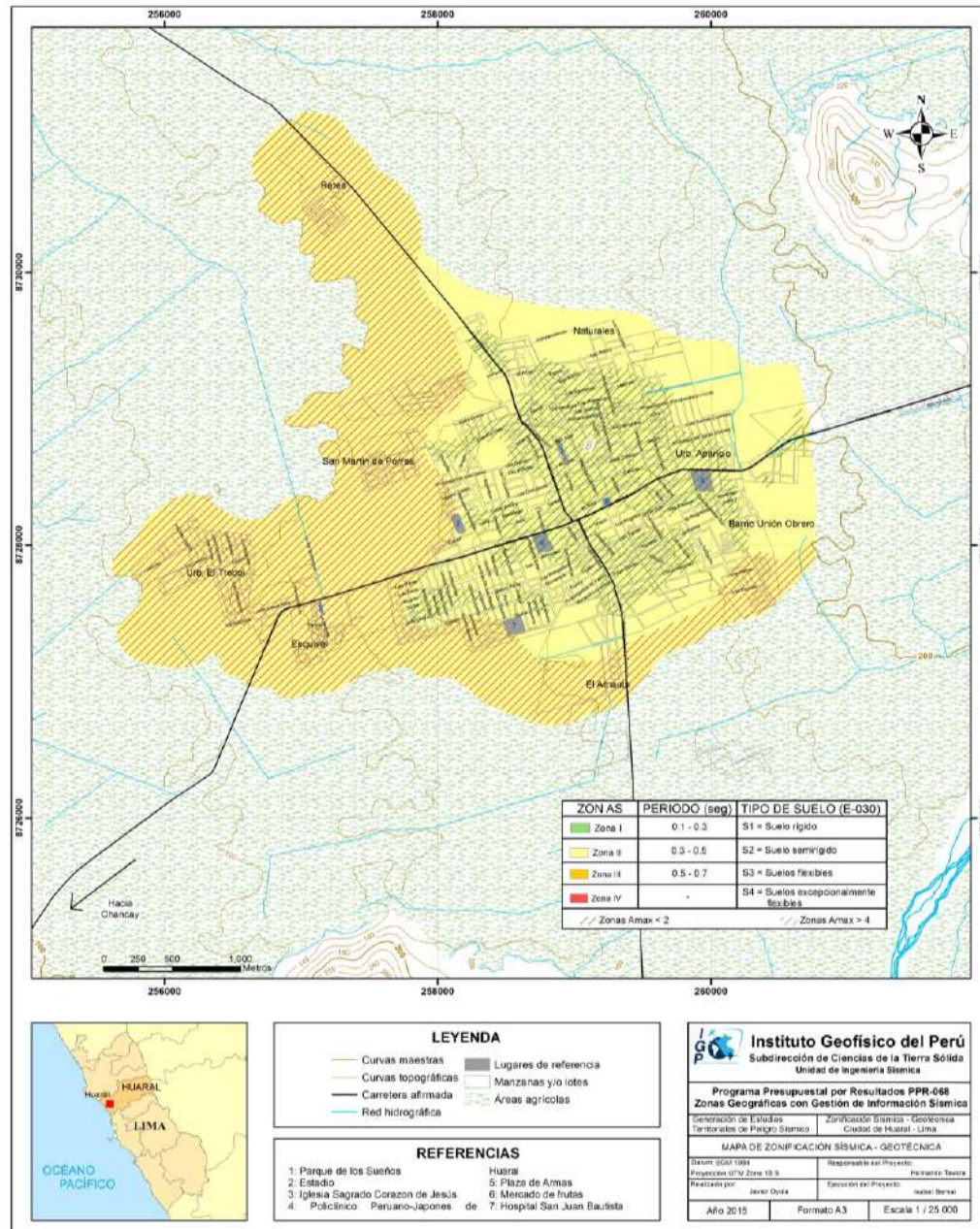


Figura 57: Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica para la ciudad de Huaral

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

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

CONCLUSIONES

La zona urbana de la ciudad de Huaral se asienta sobre la unidad geomorfológica llanura fluvio-aluvial, abarcando el 80% de la zona de estudio; mientras que, el área ubicada en el extremo noreste las zonas urbanas como La Hacienda Huando, se encuentra sobre lomas y montañas que ocupan el 10% de los suelos de Huaral. En el centro de la ciudad, sobre las colinas denominadas localmente como cerros San Cristóbal y La Merced, se encuentran asentados el resto de la población, representando el 10% de las geoformas restantes.

Como eventos geodinámicos, se han identificado procesos de caídas de rocas que se desarrollan principalmente en el cerro San Cristóbal debido a la cobertura detrítica y al estado de diaclasamiento de los afloramientos rocosos. Es necesario ejecutar un plan de ordenamiento territorial teniendo en cuenta este evento.

El Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica para la ciudad de Huaral ha permitido identificar, de acuerdo a la Norma de Construcción Sismorresistente (Norma E-030), la existencia de solamente suelos Tipo S2.

RECOMENDACIONES

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

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., Cisternas, A., Dorabath, C. (1990): Assessment in the size of large and great historical earthquake in Peru. B.S.S.A., 80,551-576
- Fäh D., Kind F. and Giardini D. (2002). Inversion of local S-wave velocity structures from average H/V ratios, and their use for the estimation of site effects. *Journal of Seismology*, 7, 449-467
- Felícísimo, 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/inventariovia/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., Bufo, 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



DIRECCIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA SOLIDA

Calle Calatrava 216 – Urb. Camino Real – La Molina

Teléfono: 3172300 (140)