INSTITUTO GEOFISICO DEL PERU

Dirección de Sismología

ZONIFICACION SISMICO-GEOTECNICA
PARA SIETE DISTRITOS DE LIMA METROPOLITANA
(Comportamiento Dinámico del Suelo)

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

Lima-Perú
Setiembre, 2010

Elaboración de un Sistema de Información Geográfico y Análisis de Recursos Esenciales para la Respuesta y Recuperación Temprana ante la Ocurrencia de un sismo y/o tsunami en el Área Metropolitana de Lima y Callao
PNUD/SDP-052/2009

PROYECTO SIRAD

ZONIFICACION SISMICO-GEOTECNICA PARA SIETE DISTRITOS DE LIMA METROPOLITANA (Comportamiento Dinámico del Suelo)

SETIEMBRE - 2010

COOPERAZIONE INTERNAZIONALE – COOPI
Calle Coronel Zegarra – 264 Jesús María – Lima
Tel./Fax. 4710585 – RUC 20511733333
peru@coopi.org www.coopi.org

INFORME TECNICO

ZONIFICACION SISMICO-GEOTECNICA PARA SIETE DISTRITOS DE LIMA METROPOLITANA (Comportamiento Dinámico del Suelo)

Responsables Estudio:
Hernando Tavera
Isabel Bernal
Juan Carlos Gomez

Análisis y Cartografiado:
Bhila Herrera

Trabajo de Campo:
Henry Salas
Bihla Herrera
Ángel Ochoa
Christian Flores

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

SETIEMBRE - 2010

RESUMEN EJECUTIVO

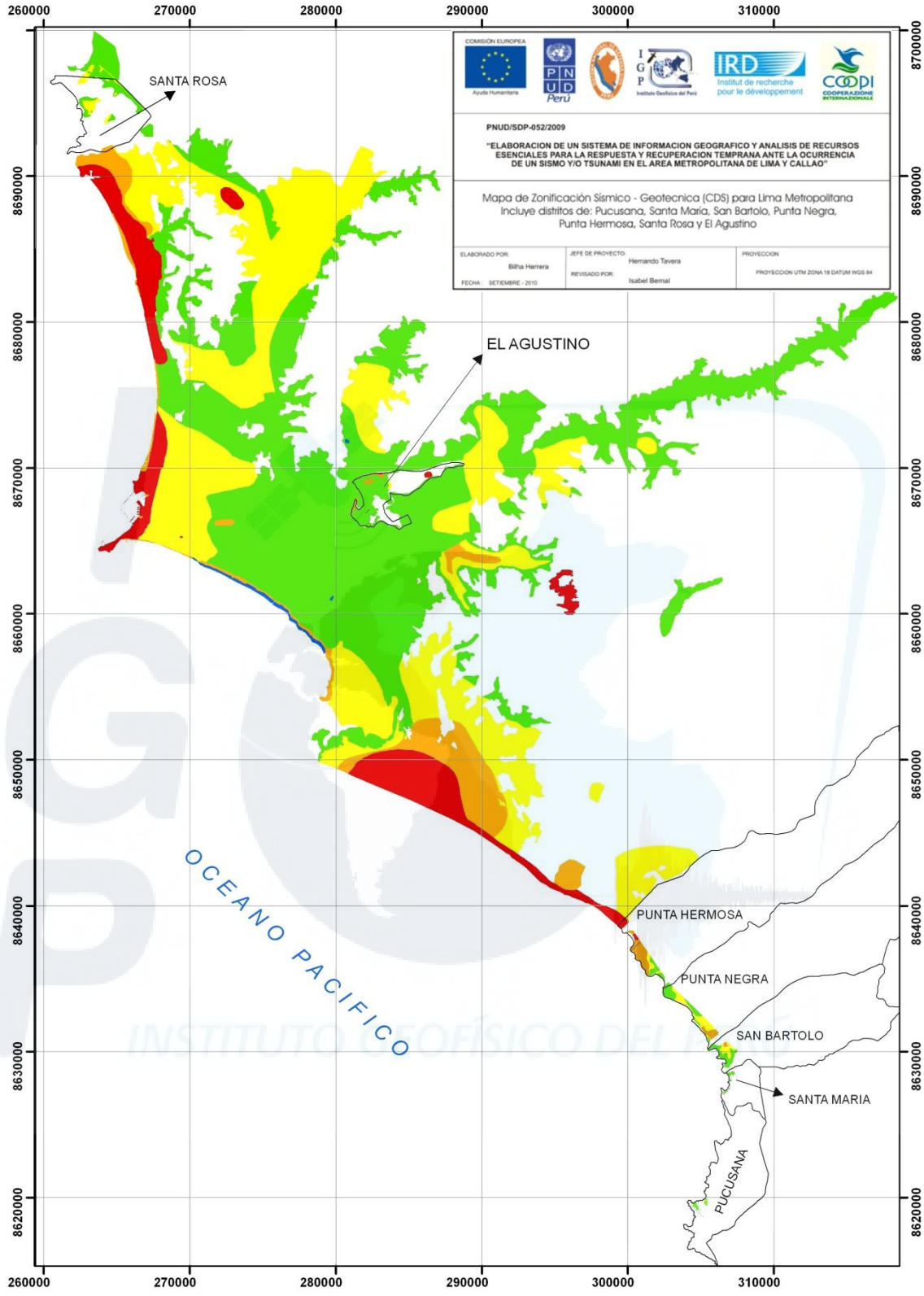
En el marco de la intervención indicada se ha realizado el estudio de Zonificación Sísmico-Geotécnica para siete (7) Distritos de Lima Metropolitana (Pucusana, Santa María, San Bartolo, Punta Negra, Punta Hermosa, Santa Rosa y El Agustino) a partir del ***Comportamiento Dinámico del Suelo (CDS)*** *evaluado con registros de vibración ambiental y la elaboración de calicatas para el análisis geotécnico. Se han utilizado dos estaciones sísmicas City Sharp II con bandas de frecuencia de registro entre 0.2-40 Hz y ganancias de 1024 dB.*

El estudio tiene como principales objetivos el determinar las frecuencias y periodos dominantes como también amplificaciones máximas relativas; herramientas para evaluar el ***comportamiento dinámico del suelo****. Asimismo, realizar la clasificación de los suelos según el sistema SUCS y determinar la capacidad portante del suelo. El resultado final consiste en proponer mapas de Zonificación Sísmica-Geotécnica (CDS) para cada Distrito estudiado.*

Los resultados obtenidos han permitido identificar, según el procedimiento establecido en APESEG (2005), la presencia de cuatro (4) zonas sísmicas-geotécnicas en el total de los siete Distritos. Esta clasificación está considerada en la Norma E-030 (2003).

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

Los mapas de zonificación sísmico-geotécnica (CDS) para los Distritos de Pucusana, Santa María, San Bartolo, Punta Negra, Punta Hermosa, Santa Rosa y El Agustino, han permitido completar el Mapa de Zonificación propuesto para Lima Metropolitana por APESEG (2005), tal como se muestra en la figura adjunta.



Mapa de Zonificación Sísmica para Lima Metropolitana en la cual se incluyen los Distritos de Pucusana, Santa María, San Bartolo, Punta Negra, Punta Hermosa, Santa Rosa y El Agustino.

INDICE

1.- INTRODUCCION 8

2.- OBJETIVOS 10

3.- ANTECEDENTES 11

4.- CONDICIONES LOCALES DE SITIO 13

5.- CONDICIONES MECANICAS-DINAMICAS DE SUELOS: NORMA E-030 15

6.- DISTRIBUCION DE SUELOS 17

7.- INSTRUMENTACION Y DATOS 21

8.- METODOLOGIA EN SISMICA – REGISTROS DE VIBRACION AMBIENTAL 24

9.- METODOLOGIA EN GEOTECNIA 26

10.- ZONIFICACION SISMICO-GEOTECNICA 28

10.1.- DISTRITO DE PUNTA HERMOSA 29

10.1.1.-Zona de Estudio 29

10.1.2.- Geología Local 31

10.1.3.- Geomorfología Local 32

10.1.4.- Comportamiento Dinámico del Suelo 34

***10.1.4.1.- Recolección de datos* 34**

***10.1.4.2.- Distribución de Periodos Dominantes* 35**

10.1.5.- Aspectos Geotécnicos 43

10.1.6.- Zonificación Sísmico-Geotécnica (CDS) 45

CONCLUSIONES 48

BIBLIOGRAFIA 52

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

ANEXOS

ANEXO 1: Mapas de distribución espacial de calicatas - Geotecnia
ANEXO 2: Base de datos de calicatas - Geotecnia
ANEXO 3: Base de datos de Corte Directo - Geotecnia
ANEXO 4: Base de datos de Granulometría - Geotécnica
ANEXO 5: Mapas de geología, geomorfología y suelos - Geotecnia
ANEXO 6: Mapa de distribución de registros sísmicos – Sísmica
ANEXO 7: Base de datos fotos de puntos de medición VA
ANEXO 8 Mapas sísmicos: períodos dominantes, amplificación máxima relativa y zonificación sísmico-geotécnica (CDS)

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

1.- INTRODUCCION

La historia sísmica de la región central del Perú pone en evidencia que, desde el pasado, Lima Metropolitana y la Provincia Constitucional del Callao han sido y vienen siendo afectadas por la ocurrencia continua, a través del tiempo, de sismos de gran magnitud e intensidad. Estos sismos han producido, en dichas ciudades y en reiteradas ocasiones, pérdidas de vidas humanas y daños materiales. La recopilación detallada de los sismos ocurridos en esta región, desde el año 1500, puede ser consultada en detalle en Silgado (1978) y Dorbath et al (1990).

La principal fuente que genera estos sismos se encuentra en la superficie de fricción existente entre las placas de Nazca y Sudamericana debido al proceso de convergencia que se desarrolla entre ambas. En esta fuente, los sismos históricos habrían alcanzado magnitudes de hasta 9.0Mw como el ocurrido en Octubre de 1746; sismos recientes presentaron magnitudes de hasta 8.0Mw, tal es el caso de los ocurridos en Mayo de 1940, Octubre de 1966 y Octubre de 1974. De acuerdo al desarrollo urbanístico de Lima Metropolitana, a través de los años, los posibles efectos desastrosos de estos sismos serían más fuertes debido principalmente a condiciones como antigüedad de las construcciones, mala calidad del material utilizado y, principalmente, al poco conocimiento de la calidad del suelo sobre el cual se ha levantado la ciudad y en otras áreas consideradas como proyectos de expansión urbana. Ejemplos recientes, son los procesos de licuación de suelos que se produjeron en Tambo de Mora (Ica) con la ocurrencia del sismo de Agosto del 2007.

En el estudio realizado se han ilustrado los resultados obtenidos del estudio detallado de Microzonificación Sísmica-Geotécnica (*comportamiento dinámico del suelo*) en siete (7) Distritos de Lima Metropolitana (Pucusana, Santa María, San Bartolo, Punta Negra, Punta Hermosa, Santa Rosa y El Agustino) haciendo uso de registros de vibración ambiental y geotécnica (Figura 1) y aplicando metodologías internacionalmente aceptadas para el procesamiento e interpretación de la información recolectada en campo.

Figura 1.-. *Distribución espacial de los siete (7) Distritos considerados en el estudio*

2.- OBJETIVOS

Este informe tiene como objetivo presentar los resultados obtenidos del estudio de Microzonificación Sísmica-Geotécnica, ***a partir de comportamiento dinámico del suelo (CDS)***, realizado por el Instituto Geofísico del Perú en siete (7) Distritos de Lima Metropolitana haciendo uso de registros de vibración ambiental, aplicando la técnica de razones espectrales (H/V) y estudios de geotecnia mediante el análisis de suelos. La presentación de los resultados se realiza de acuerdo al procedimiento propuesto por el CISMID en el "Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo de Sismo en 42 Distritos de Lima y Callao" proporcionado por la Asociación Peruana de Empresas de Seguros (APESEG, 2005).

Los Distritos de Lima Metropolitana parte del estudio realizado son: Pucusana, Santa María, San Bartolo, Punta Negra, Punta Hermosa, Santa Rosa y El Agustino. La distribución espacial de estos Distritos se muestra en la Figura 1.

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

3.- ANTECEDENTES

La historia ha mostrado que la ciudad de Lima Metropolitana presenta un alto índice de ocurrencia de eventos sísmicos y, que de acuerdo a su magnitud, muchos de ellos han derivado en efectos secundarios como asentamientos, licuación de suelos, derrumbes, caídas de roca y tsunamis que, en conjunto, han propiciado el incremento de pérdidas humanas y materiales en sus Distritos (Silgado, 1978; Ocola, 1984; Huaco, 1985).

A partir de los años 80, la ciudad de Lima Metropolitana soporta procesos continuos de migración de la población proveniente de las provincias del interior del país y, debido a la falta de planificación urbanística y de acertadas políticas de planeamiento, la población inmigrante ha ocupado áreas de alto riesgo ante la ocurrencia de peligros como los sismos y tsunamis, además de sus efectos secundarios. A estas condiciones se suma el hecho de que las viviendas son construidas de manera inadecuada, sin seguir ningún criterio de ordenamiento territorial y, mucho menos, respetando la Norma de construcción vigente (Norma E-030). Asimismo, en algunos Distritos las viviendas se asientan en las laderas de cerros y ríos, cauces de quebradas secas y zonas de terrazas inundables sin medir su vulnerabilidad e incrementando, de este modo, el riesgo en dichas áreas.

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, el mismo que se constituye como información primaria y de base para cualquier otra investigación o proyectos en Gestión de Riesgo en Lima Metropolitana. Sin embargo, estos estudios no consideraron a los Distritos de Pucusana, Santa María, San Bartolo, Punta Negra, Punta Hermosa, Santa Rosa y El Agustino y, por ello, el Instituto Geofísico del Perú (IGP) realiza este estudio a fin de completar la información para el total de los Distritos que conforman la ciudad de Lima Metropolitana.

De acuerdo a los resultados obtenidos por APESEG y en este estudio, para Lima Metropolitana es importante contar con un plan de planificación urbana y una rigurosa política de planeamiento en base a los mapas de Zonificación Sísmico-

Geotécnica obtenido del comportamiento dinámico del suelo (CDS) y que fueron propuestos en diversas investigaciones o proyectos desarrollados para tal fin.

4.- 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 sufridos por las edificaciones durante la ocurrencia de sismos severos. La amplificación sísmica es un efecto de las condiciones locales del sitio y es fuertemente dependiente de las condiciones sísmicas, geológicas, geomorfológicas y geotécnicas de las zonas en estudio.

Realizar estudios de microzonificación sísmica es una de las herramientas más importantes para minimizar los daños producidos por sismos, con la finalidad de evaluar el ***comportamiento dinámico de los suelos*** (CDS); teniendo en cuenta que la intensidad de las sacudidas sísmicas varía considerablemente a distancias muy cortas y en áreas pequeñas. Esto ha llevado a pensar que el factor esencial para la evaluación del daño en las estructuras son las condiciones locales del suelo; es decir, efectos de sitio en áreas urbanas, zonas de expansión urbana, complejos industriales y otros.

Una de las técnicas más aceptadas para realizar una aproximación de los efectos de sitio en regiones de moderada a alta sismicidad, es el uso de la razón espectral de registros de sismos fuertes (conocida como razón espectral estándar) obtenidos simultáneamente en estaciones ubicadas sobre suelo blando con respecto a una estación de referencia ubicada en suelo firme (asumiéndola libre de efectos de sitio). Sin embargo, el registro de estos sismos fuertes conlleva a un mayor tiempo de espera para realizar la evaluación (King y Tucker, 1984; Singh et al., 1988; Lermo y Chávez-García, 1994).

Para resolver, recientemente se ha introducido la técnica de Nakamura (1989) para interpretar registros de vibración ambiental (micro tremores) a partir de la razón espectral entre las componentes horizontales y la vertical de un mismo registro (H/V). La ventaja más importante de esta técnica es que elimina el requerimiento de una estación de referencia (Kanai y Tanaka, 1954). Los parámetros obtenidos con el análisis de los registros de los micro tremores son la frecuencia predominante o periodo dominante (To) y, de manera referencial, la amplificación máxima relativa (Ar) del suelo. La técnica de Nakamura fue evaluada y discutida por Lermo y Chávez-

García (1994a,b) a partir de la comparación de los resultados obtenidos de registros de micro tremores contra la razón espectral estándar obtenida con registros de sismos, concluyendo que los micro tremores, cuando son analizados con H/V, permiten determinar, con buena precisión, del período dominante (To) de los sedimentos sujetos a una amplificación dinámica dentro de un intervalo de frecuencias que van entre 0.4 y 10 Hz, junto con una estimación preliminar del nivel de amplificación (Ar).

Se concluye que los efectos que produce cada tipo de suelo sobre la amplitud y naturaleza de las ondas sísmicas, ha sido reconocido y su estudio aceptado internacionalmente como una herramienta útil para la estimación del comportamiento dinámico del suelo, a fin de proponer mapas de zonificación del tipo de suelo para una determinada ciudad, localidad o área de interés.

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

5.- CONDICIONES MECANICAS-DINAMICAS DE SUELOS: NORMA E-030

En la actualidad, la construcción de obras civiles de cualquier envergadura se basa en la Norma E-030 (2003), la cual clasifica a los suelos en función de sus propiedades mecánicas, espesor del estrato, período fundamental de vibración y la velocidad de propagación de las ondas de corte. Según la norma antes indicada, los suelos son de cuatro tipos:

.- Suelos muy rígidos (Tipo S1).

A este tipo corresponden los suelos muy rígidos en los cuales la velocidad de propagación de la onda de corte es similar al de una roca, además el período fundamental de vibración del suelo es de baja amplitud sin exceder los 0,25 s. Se incluyen los casos en los cuales se cimienta sobre:

- *Roca sana o parcialmente alterada, con una resistencia a la compresión no confinada mayor o igual que 500 kPa (5 kg/cm^2).*
- *Grava arenosa densa.*
- *Estrato de no más de 20 m de material cohesivo muy rígido, con una resistencia al corte, en condiciones no drenadas, superior a 100 kPa (1 kg/cm^2), sobre roca u otro material con velocidad de onda de corte similar al de una roca.*
- *Estrato de no más de 20 m de arena muy densa con N > 30, sobre roca u otro material con velocidad de onda de corte similar al de una roca.*

.- Suelos intermedios (Tipo S2).

Suelos con características intermedias entre las indicadas para los suelos S_1 y S_3.

.- Suelos flexibles o con estratos de gran espesor (Tipo S3).

Corresponden a este tipo los suelos flexibles o estratos de gran espesor en los cuales el período fundamental para vibraciones de baja amplitud es mayor a 0,6 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 deberá considerarse el tipo de suelo que mejor describa las condiciones locales de cada zona de interés y utilizar los correspondientes valores de periodos T_p y del factor de amplificación del suelo S definido en la Norma E-030 (2003), ver Tabla 1.

Tabla 1. *Parámetros del suelo según la Norma E-030 (2003)*

Tipo	Descripción	T_p (s)	S
S_1	Roca o suelos muy rígidos	0,4	1,0
S_2	Suelos intermedios	0,6	1,2
S_3	Suelos flexibles o con estratos de gran espesor	0,9	1,4
S_4	Condiciones excepcionales	*	*

(*) Los valores de T_p y S para este caso serán establecidos por el especialista, pero en ningún caso serán menores que los especificados para el perfil tipo S_3.

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

6.- DISTRIBUCION DE SUELOS

Para analizar la distribución de suelos en Lima Metropolitana se ha recopilado información sísmica, geológica, geomorfológica, geotécnicas y la densidad poblacional existente en cada Distrito, siendo la información base la propuesta en el "Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo de Sismo en 43 Distritos de Lima y Callao" proporcionado por la Asociación Peruana de Empresas de Seguros (APESEG).

Desde el punto de vista demográfico, Lima Metropolitana tiene una población que alcanza la cifra de 8 millones 472 mil 935 habitantes (INEI, 2007), siendo aproximadamente la tercera parte de la población nacional. La ciudad de Lima Metropolitana limita por el norte con la provincia de Chancay, por el sur con Chilca, por el este con la Comunidad Campesina de Jicamarca y Huarochiri y por el oeste con el Océano Pacífico.

La geomorfología del área de Lima Metropolitana muestra que se encuentra rodeada por colinas y montañas, cuyas laderas presentan pendientes moderadas a fuertes. La mayoría de los afloramientos corresponden a rocas intrusivas tipo granodiorita y dioritas, seguidas por rocas volcánicas y, en menor cantidad, por rocas sedimentarias tipo calcáreas, lutitas y areniscas. Estas estructuras se encuentran disecadas por los ríos Lurín, Rímac y Chillón y quebradas afluentes (río Seco, Huaycoloro, Jicamarca, Canto Grande, Collique, Caballero, Torre Blanca, etc), que en sus desembocaduras, han formado conos y terrazas extensas en donde se ha ubicado gran parte de la ciudad de Lima Metropolitana.

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

La caracterización del tipo de suelo en Lima Metropolitana considera las propiedades mecánicas y dinámicas contenidas en el Código de Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Construcciones (Norma E-030, 2003) y las premisas de estudios realizados por el CISMID para la Asociación Peruana de Empresas de Seguros (APSEG, 2005). En la Figura 2 se presenta la clasificación de los suelos para Lima Metropolitana, siendo sus principales características las siguientes:

ZONA I: *Esta zona está conformada por los afloramientos rocosos, los estratos de*

grava coluvial-aluvial de los pies de las laderas que se encuentran a nivel superficial o cubiertos por un estrato de material fino de poco espesor. Este suelo tiene un 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. Para la evaluación del peligro sísmico a nivel de superficie del terreno se considera que el factor de amplificación sísmica por efecto local del suelo es de S=1.0 y un periodo natural de Ts=0.4 s, correspondiendo a un suelo Tipo-1 de la norma sismo resistente peruana.

ZONA II: *En esta se incluyen las áreas de terreno conformado por un estrato superficial de suelos granulares finos y suelos arcillosos, cuyas potencias varían entre 3.0 y 10.0 m. Subyaciendo a estos estratos se encuentra la grava aluvial o grava coluvial. Los periodos predominantes del terreno determinados por las mediciones de micro trepidaciones, en esta zona varían entre 0.3 y 0.5 s. Para la evaluación del peligro sísmico, a nivel de superficie del terreno, se considera que el factor de amplificación sísmica por efecto local del suelo, es S=1.2 y el periodo natural del suelo es Ts=0.6 s, correspondiendo a un suelo Tipo-2 de la norma sismo resistente peruana.*

ZONA III: *Esta zona está conformada, en su mayor parte, por los depósitos de suelos finos y arenas de gran espesor, que se encuentran 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 un suelo Tipo-3 de la norma sismo resistente peruana, con un factor de amplificación sísmica S=1.4 y un periodo natural de Ts=0.9 s.*

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

ZONA IV: *Esta zona está conformada por los depósitos de arena eólicas de gran espesor y sueltas, depósitos fluviales, depósitos marinos y suelos pantanosos. Los periodos predominantes encontrados en estos suelos son mayores que 0.7 s, por lo que su comportamiento dinámico ha sido tipificado como un suelo Tipo-4 de la norma sismo resistente peruana, asignándoles un factor de amplificación sísmica S=1.6 y un periodo natural de Ts=1.2 s (caso especial según la Norma).*

ZONA V: *Están constituidos por áreas puntuales conformadas por depósitos de*

rellenos sueltos de desmontes heterogéneos que han sido colocados en depresiones naturales o excavaciones realizadas en el pasado, con potencias entre 5 y 15 m. En esta zona se incluyen también a los rellenos sanitarios que en el pasado se encontraban fuera del área urbana y en la actualidad han sido urbanizados. El comportamiento dinámico de estos rellenos es incierto por lo que requiere un estudio específico.

En el mapa de la Figura 2, están excluidos los Distritos de Pucusana, Santa María, San Bartolo, Punta Negra, Punta Hermosa, Santa Rosa y El Agustino, que han sido analizados en este nuevo estudio.

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

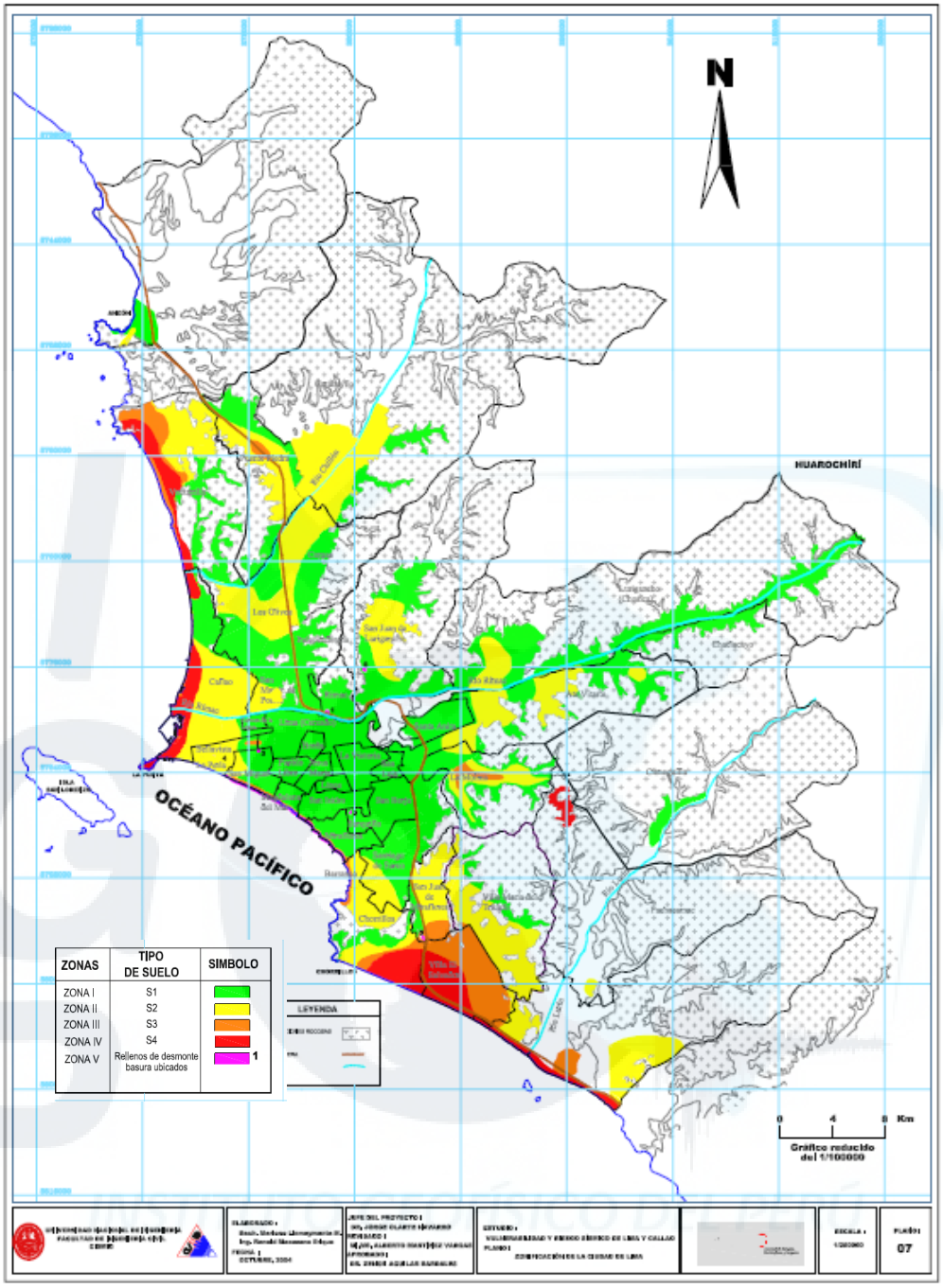


Figura 2.- *Mapa de Zonificación de tipos de suelos para Lima Metropolitana elaborado por el CISMID para la APESEG (2005).*

7.- INSTRUMENTACION Y DATOS

Para este estudio se utilizaron registros de vibración ambiental obtenidos con dos sismómetros de tres componentes ortogonales (Vertical, Norte-Sur, Este-Oeste) marca Lennarzt, modelo LE-3D/5s con un rango dinámico de 140Db y banda de frecuencias que fluctúa entre 0.2 y 40 Hz. El registrador es de Marca LEAS (Modelo City Shark II) que registra a una frecuencia de muestreo de 200 Hz en un rango de ganancias de 1024 dB. La longitud del registro es de 15 minutos, el cual es almacenado en una memoria Compac Flash (Figura 3).

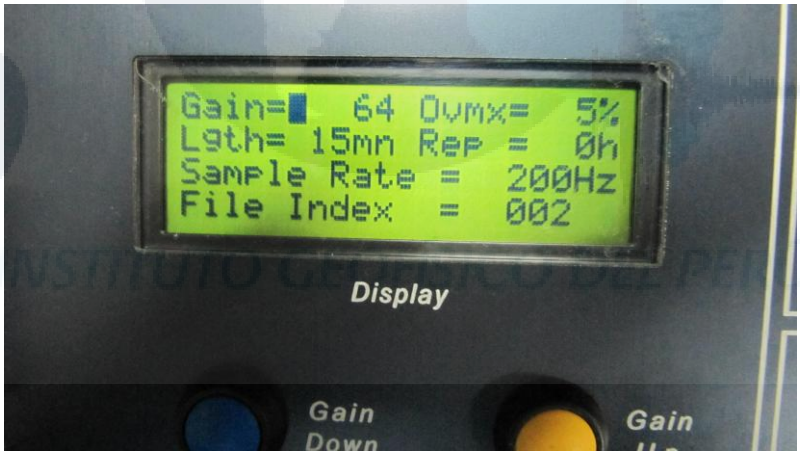
De acuerdo a estas características instrumentales, los registros de vibración ambiental fueron obtenidos a 200 muestras/segundo en cada componente de registro. El equipo sísmico permite visualizar la información registrada en cada punto, lo cual permite evaluar la calidad del dato y, de presentar alguna alteración en su registro, volver a repetir el registro hasta obtener señales de buena calidad para los objetivos del estudio. El tiempo de registro y ubicación de cada punto fue controlado por un GPS (Figura 4).

Para la toma de datos se consideró un número de puntos definidos para cada zona de estudio de acuerdo a las condiciones tectónicas, geológicas, geomorfológicas, geotécnicas y demográficas de cada Distrito. El tiempo de registro en cada punto fue de 15 minutos, lo cual permite tener buena cantidad de información para su posterior análisis.

La data obtenida en cada punto fue transferida a una estación de trabajo para el cambio de formatos respectivos y corrección por línea base (offset) sin la utilización de ningún tipo de filtro a fin de no alterar la señal original. Asimismo, las incidencias y características instrumentales consideradas en cada punto de medición fueron cuidadosamente anotadas en una cartilla y cuyo formato permite contar con el total de información para la evaluación de las condiciones en las cuales se adquirieron los registros antes de su análisis y procesamiento.

Vista de los sensores y registradores

Vista del registrador City Shark II



Vista del Display del registrador

Figura 3. *Equipo Sísmico utilizado en este estudio para la toma de datos en campo.*

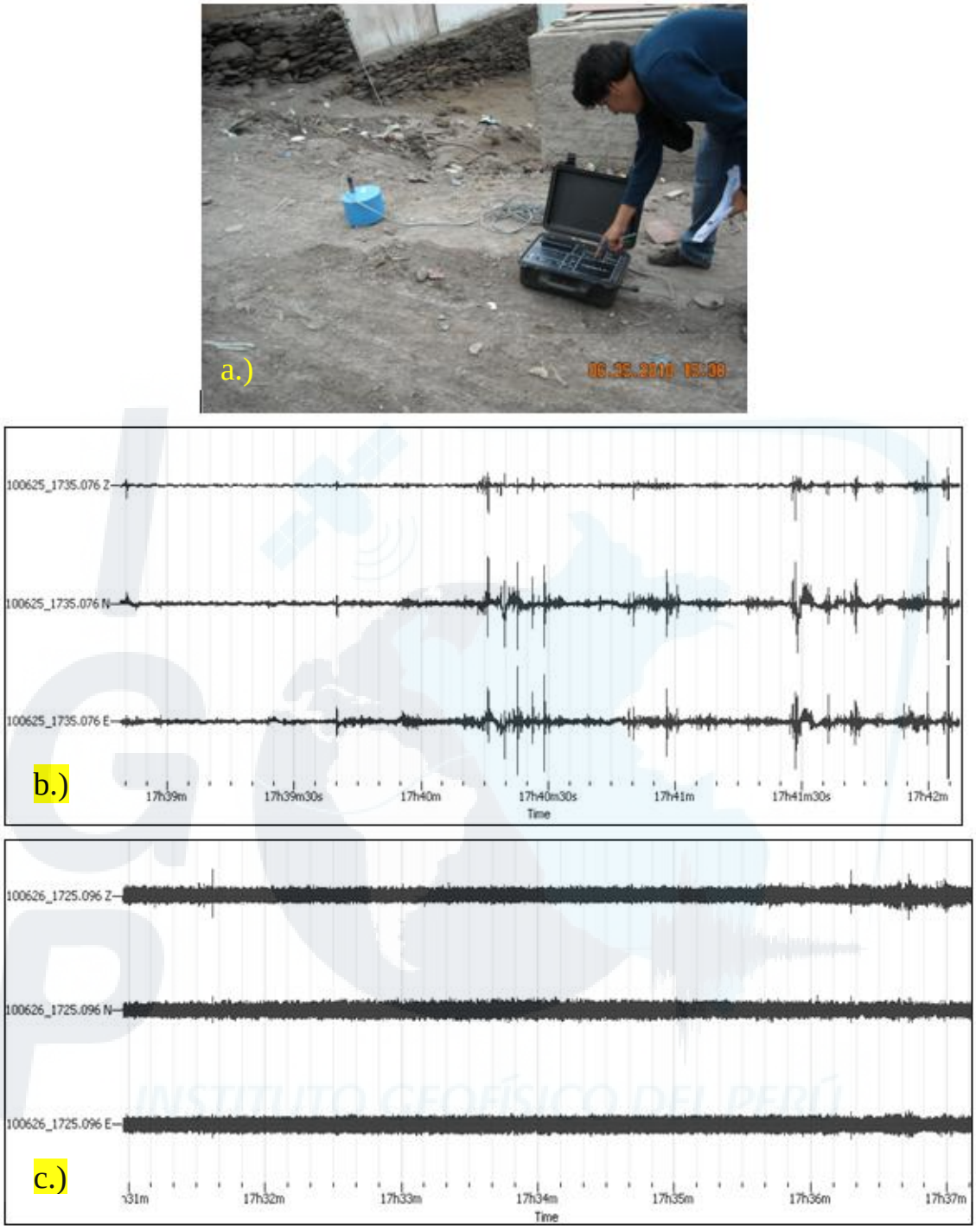


Figura 4. ***a)*** *Imagen donde se observa la disposición del equipo a la hora de tomar los datos en campo.* ***b)*** *Ejemplo de un registro de vibración ambiental perturbado por el paso de peatones cerca del sensor y* ***c)*** *Ejemplo de un registro de vibración ambiental obtenido durante un periodo estable.*

8.- METODOLOGIA EN SISMICA – REGISTROS DE VIBRACION AMBIENTAL

Para caracterizar el comportamiento dinámico del suelo en cada uno de los siete Distritos considerados en este estudio, se han utilizados registros de vibración ambiental (micro trepidaciones) producidos tanto por fuentes naturales como artificiales y la técnica de razones espectrales (H/V) propuesta por Nakamura (1980). La técnica H/V considera como hipótesis de base que las vibraciones ambientales se deben principalmente a la excitación de las ondas Rayleigh en las capas superficiales generadas por la actividad humana. La información recolectada y su interpretación permiten conocer el periodo natural del suelo y el factor de amplificación, parámetros que definen el comportamiento dinámico del suelo ante la ocurrencia de un evento sísmico. Estos resultados son correlacionados y complementados con los obtenidos del estudio de geotecnia para cada Distrito considerado en este estudio.

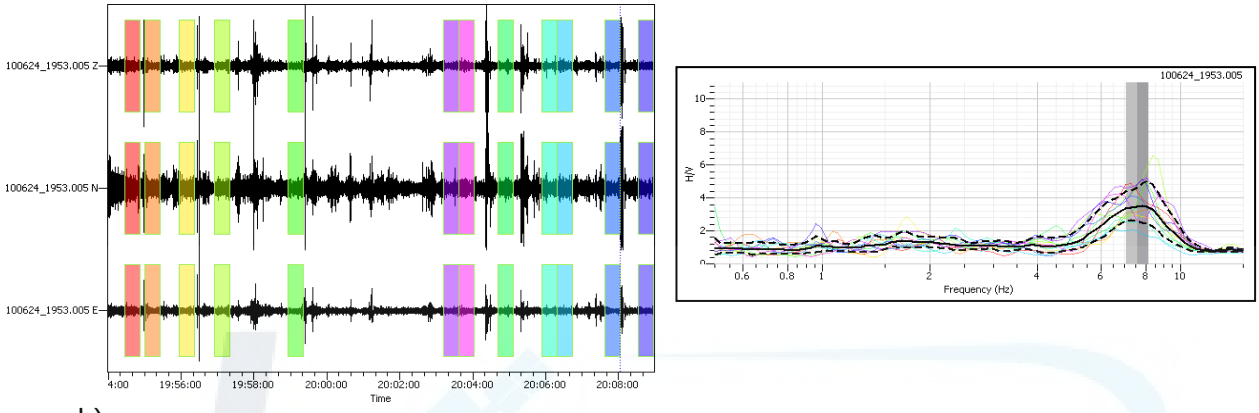
De las razones espectrales, se identifican las frecuencias predominantes y amplificaciones relativas que caracterizan al tipo de suelo presente en el área de estudio (ver Figura 5), el mismo que está definido por las condiciones geológicas y geomorfológicas de las primeras decenas de metros de la superficie terrestre. Debe entenderse que, de acuerdo a la variación de las propiedades físicas del suelo, cualquier medio al ser afectado por algún tipo de onda de cuerpo o superficial puede causar la amplificación o de-amplificación de las mismas debido al efecto de las capas estratigráficas superficiales de diferente espesor, geometría y composición geológica.

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

1) *Los registros de vibración ambiental fueron tratados por ventanas de 2048 muestras (20 segundos) con un traslape del 10%. Debido a la disponibilidad de considerable tiempo de registro, se procedió a seleccionar de forma aleatoria tramos de señal.*
2) *Se calcula la transformada Rápida de Fourier para un número mayor a 10 ventanas de observación para cada punto.*
3) *Los espectros horizontales se dividieron entre el espectro vertical para obtener la relación H/V y luego se promediaron estos para cada punto de observación considerando su respectiva desviación estándar (Figura 5). Luego se procedió a identificar la frecuencia predominante y la amplitud máxima relativa.*

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

a)



b)

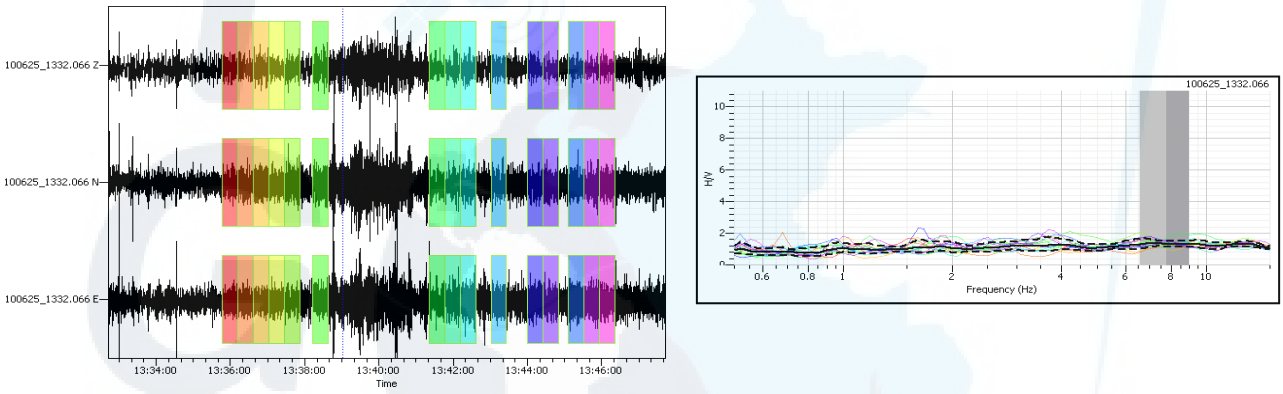


Figura 5.- *Ejemplo de selección de ventanas de registro de vibración ambiental (rectángulos de colores) en sus tres componentes con sus respectivos gráficos de razones espectrales H/V.* ***a)*** *registros y razones H/V donde se identifican frecuencias predominantes,* ***b)*** *Registros en los cuales no resalta ninguna frecuencia predominante. Las líneas gruesas en las gráficas H/V indican el promedio de las curvas de razones espectrales y las líneas discontinuas su desviación estándar.*

Para definir la frecuencia predominante se consideran tres criterios:

- primero, debe estar presente en un rango de interés que fluctúa entre 0.4 a 10 Hz (Lermo y Chávez-García -1994 a,b; Lachet y Bard, 1994);
- segundo, debe presentar amplificaciones relativas de al menos 2 veces (se considera la amplitud de “1” como punto de referencia)
- tercero, se considera el pico/rango de frecuencias más representativos para cada punto de medida.

Finalmente, las frecuencias son expresadas en periodos dominantes.

9.- METODOLOGIA EN GEOTECNIA

Para el análisis geotécnico de los siete Distritos considerados en este estudio ha sido necesario realizar el cartografiado geológico y geomorfológico teniendo como información base, la presentada en estudios anteriores, como por ejemplo Martínez (1975) e INGEMMET (1982 y 1994). Estos estudios son de carácter general y consideran toda el área de Lima Metropolitana.

Para complementar la información contenida en los mapas se realizaron varios trabajos de campo en cada uno de los siete Distritos, teniendo como base topográfica los mapas catastrales proporcionados por las Municipalidades de cada Distrito. Los estudios geotécnicos han sido elaborados a partir de la construcción de siete (7) calicatas por cada Distrito, de tal forma que cubran, con la geometría adecuada y representativa, los suelos existentes en dichas áreas de estudio.

Las calicatas tuvieron las dimensiones siguientes: 1.5 m x 1.5 m de lado x 3.0 m de profundidad máxima. Las excavaciones estuvieron a cargo de personal técnico del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), quienes se encargaron también de obtener dos muestras de suelos por cada calicata. La UNALM igualmente se encargó del análisis geotécnico de las muestras de suelos obtenidas en el campo. Las muestras se obtuvieron de la capa más profunda y representativa del tipo de suelo en el sitio evaluado.

En la primera muestra de suelo obtenida se hicieron los análisis granulométricos, límites de elasticidad y contenido de humedad y, con estos datos, se procedió a realizar la Clasificación Unificada de Suelos (SUCS) de la muestra. La SUCS es un sistema propuesto por Arturo Casagrande y sus modificaciones en el año de 1942. Esta clasificación es la más utilizada a nivel mundial para la clasificación de suelos desde un punto de vista geotécnico.

La Clasificación SUCS divide 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 gruesos corresponden a los retenidos en dicho tamiz y los finos a los que lo pasan, de esta forma se considera que un suelo es grueso si más del 50% de las partículas del mismo son retenidas en el tamiz No. 200 y fino si más del 50% de sus partículas son menores que dicho tamiz.

Los suelos se designan por símbolos de grupo. El símbolo de cada grupo consta 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 (ver mapas para cada Distrito en Anexos):

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

La segunda muestra fue utilizada para el análisis de corte directo que consiste en la aplicación de cargas diferenciadas hasta que falle la muestra. Esto permite determinar la capacidad portante del suelo (capacidad admisible última). En caso de que la muestra de suelo sea una grava sin contenido de arena, no es posible aplicar el ensayo de corte directo, sino de densidad máxima que también permite estimar el valor de capacidad portante. Esto último se aplicó para 5 muestras de El Agustino y 1 muestra de Santa María.

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

10.- ZONIFICACION SISMICO-GEOTECNICA
(Comportamiento Dinámico del Suelo)

DISTRITO DE PUNTA HERMOSA

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

10.1.- DISTRITO DE PUNTA HERMOSA

10.1.1.-Zona de Estudio

El Distrito de Punta Hermosa se ubica a 36 km al SO de la ciudad de Lima y ocupa un área de casi 1.5 km^2 de una superficie aproximada de 119 km^2 cuadrados, limitando al Norte con el Distrito de Lurín, al Este con la Provincia de Huarochiri, al Sur con el Distrito de Punta Negra y al Oeste con el Océano Pacífico (Figura 6).

Figura 6.- *Mapa de ubicación y límites del Distrito de Punta Hermosa*

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (2007), el Distrito tiene una población cercana a los 4676 habitantes que edificaron sus viviendas sobre una amplia planicie marino-aluvial cubiertas por depósitos eólicos hacia su extremo SO y Este (Figura 7).

Figura 7.- *Vistas del tipo de suelo y viviendas en el Distrito de Punta Hermosa. En las fotos superiores resaltan las viviendas de uno y dos niveles edificadas sobre planicies marino-aluviales, próximas a quebradas con cauces secos y/o sobre terrazas marinas. En el extremo inferior derecho se observan viviendas edificadas en la orilla del mar.*

10.1.2.- Geología Local

Las unidades geológicas identificadas en el Distrito de Punta Hermosa son la unidad de afloramientos rocosos de naturaleza volcánica (derrames andesíticos de la Fm. Chilca del Terciario Inferior) y depósitos cuaternarios conformados por materiales aluviales, marinos y eólicos, además de materiales fluviales y coluviales en menor proporción (Figuras 8 y 9).

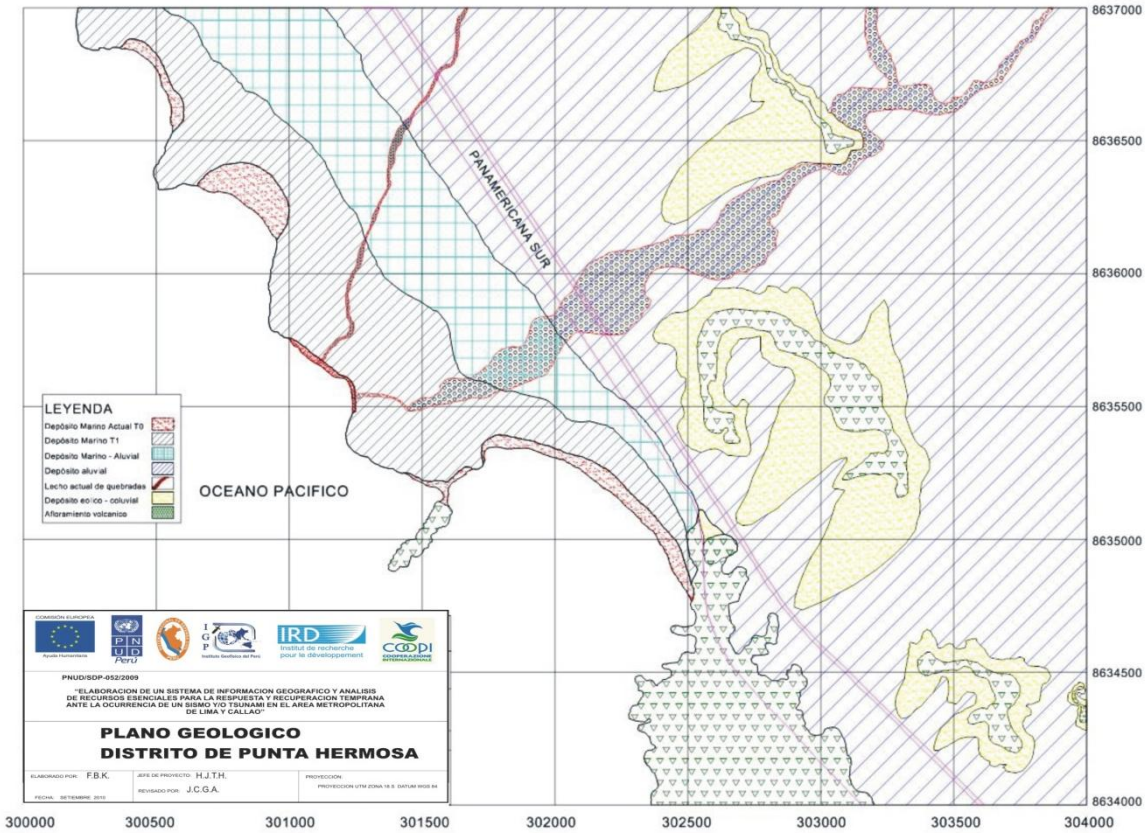


Figura 8.- *Mapa geológico para el Distrito de Punta Hermosa*

Figura 9.- *Vista en dirección NO del Distrito de Punta Hermosa. Se observan edificaciones sobre una terraza marina-aluvial y, al fondo, un cordón o pequeña península conformada por rocas volcánicas.*

10.1.3.- Geomorfología Local

Los rasgos geomorfológicos más resaltantes en el Distrito de Punta Hermosa corresponden a las unidades de colinas con superficies onduladas por la intensa erosión eólica y marina que se emplazan al SO y Este del Distrito, la llanura aluvial circunscrita en las inmediaciones de la quebrada con cauce seco que atraviesa el Distrito en el sector norte y las terrazas marinas, marino-aluvial en la parte central, donde se asientan las principales edificaciones (Figuras 10 y 11).

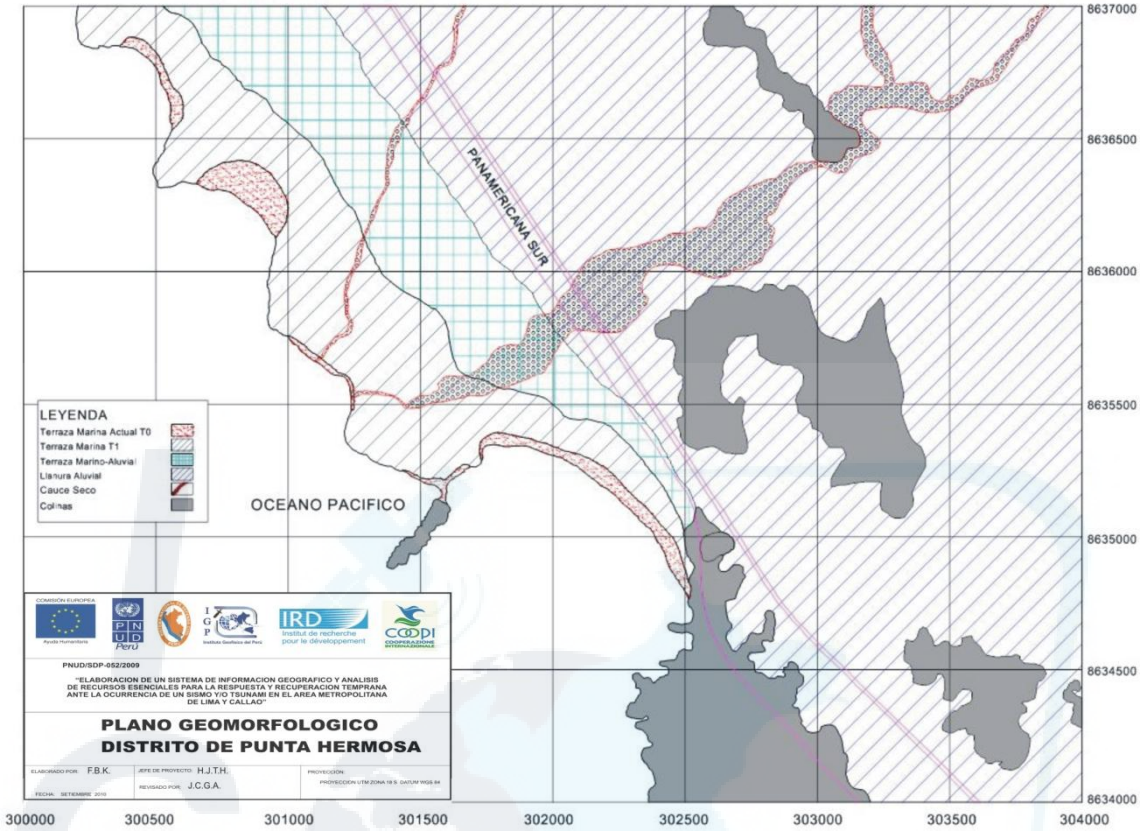


Figura 10.- *Mapa geomorfológico del Distrito de Punta Hermosa.*

Figura 11.- *Quebrada con cauce seco que atraviesa el Distrito Punta Hermosa en su sector norte, notese la predominancia de sedimentos finos en el cauce actual*

10.1.4.- Comportamiento Dinámico del Suelo

10.1.4.1.- Recolección de datos

Para realizar el análisis evaluación de los suelos en el Distrito de Punta Hermosa y estimar el comportamiento dinámico de estos, se dividió al Distrito en cuatro áreas teniendo en cuenta básicamente la distribución de viviendas y la densidad poblacional (Figura 12). Los aspectos más resaltantes de esta etapa son:

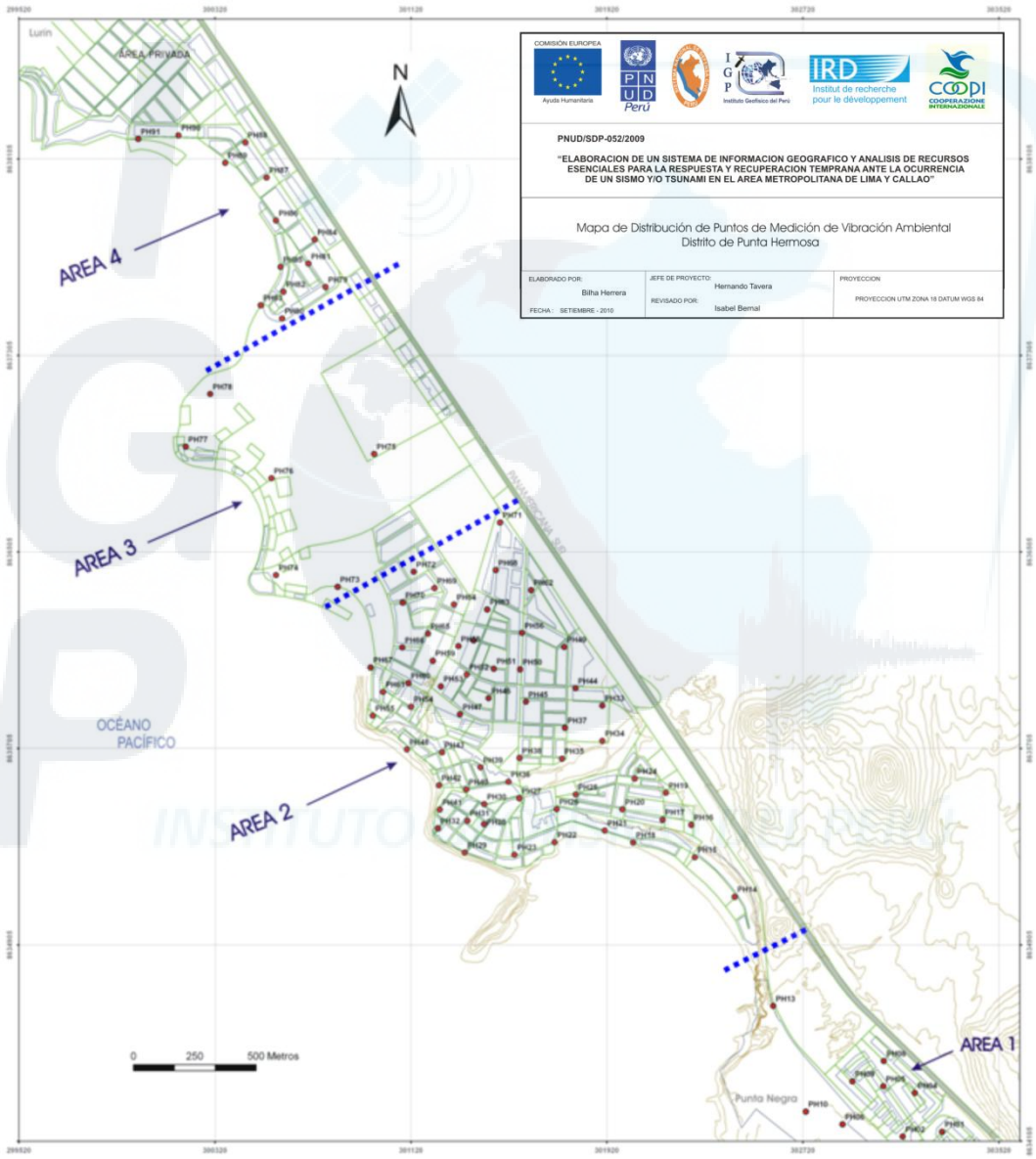


Figura 12.- *Distribución de puntos donde se tomaron datos de vibración ambiental en el Distrito de Punta Hermosa. Para las Áreas delimitadas con líneas discontinuas, ver texto.*

a.). Los puntos de toma de datos fueron seleccionados considerando el mapa catastral de Punta Hermosa llegándose a considerar un total de 91 puntos de medición y, de ellos, 9 se encuentran en el Área-1; 63 en el Área-2; 6 en el Área-3 y 13 en el Área-4. El mayor número de puntos fueron distribuidos en el Área-2 debido a que allí se concentra el mayor número de edificaciones y por ende a la mayor densidad poblacional.

b.). Durante los días entre el 8 y 10 de Julio del 2010 se tomaron datos en 91 puntos evitando en todo momento el paso de peatones y vehículos, aunque en algunas ocasiones se realizó más de una medida. En cada punto se anotó la hora del registro, su ubicación y sus coordenadas geográficas (GPS).

c.). Siguiendo la metodología antes indicada, se procedió con el análisis de la señal y elaboración de los espectros a fin de identificar la frecuencia predominante considerando los criterios antes indicados.

10.1.4.2.- Distribución de Periodos Dominantes

Para caracterizar el comportamiento dinámico del suelo en el Distrito de Punta Hermosa se han tomado registros de vibración ambiental en 91 puntos de observación, los mismos que aseguran la cobertura de todo el Distrito (Figura 12). El análisis y evaluación de la información permite determinar el periodo dominante de vibración natural del suelo y en algunos casos, el factor de amplificación sísmica, parámetros que definen el comportamiento dinámico del suelo durante un evento sísmico.

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

En la Figura 13 se presentan ejemplos de razones espectrales obtenidas para las diferentes áreas definidas en este estudio: PH-04, PH-10 y PH-11 para el Área-1; PH-25, PH-32, PH-35, PH-37, PH-41 y PH-67 para el Área-2; PH-76, PH-77 y PH-78 para el Área-3 y los Puntos PH-86, PH-87 y PH-88 para el Área-4.

- En las Figuras 13a se muestran las razones espectrales obtenidas para el Área-1 que corresponden al extremo sur del Distrito (próximo a los afloramientos rocosos) y en la cual resaltan las frecuencias predominantes que fluctúan entre 3Hz, y de 4 a 6Hz con amplificaciones de al menos 4 veces.

- En las Figuras 13b-c se muestran las razones espectrales obtenidas para el Área-2 que corresponden al extremo Sur y Oeste del Distrito, para el primero sobresalen frecuencias predominantes que fluctúan entre 3 a 4Hz y, en la segunda, entre 1.5 a 2Hz. De modo general, estas frecuencias se incrementan conforme se tiende hacia el Este y reflejan la diferencia de potencia de cada depósito, las cuales son atravesadas por quebradas con cauces secos.

- En la Figura 13d se muestran las razones espectrales obtenidas para el Área-3 y allí se observa que no resalta ningún rango de frecuencias predominantes considerando los criterios antes indicados (amplificaciones de al menos 2 veces); sin embargo, se observan pequeñas amplificaciones entre las frecuencias de 1 a 2Hz.

- En la Figura 13e se presentan las razones espectrales obtenidas para el Área-4 con frecuencias predominantes que fluctúan entre 1 a 2Hz y amplificaciones máximas relativas de hasta 8 veces.

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

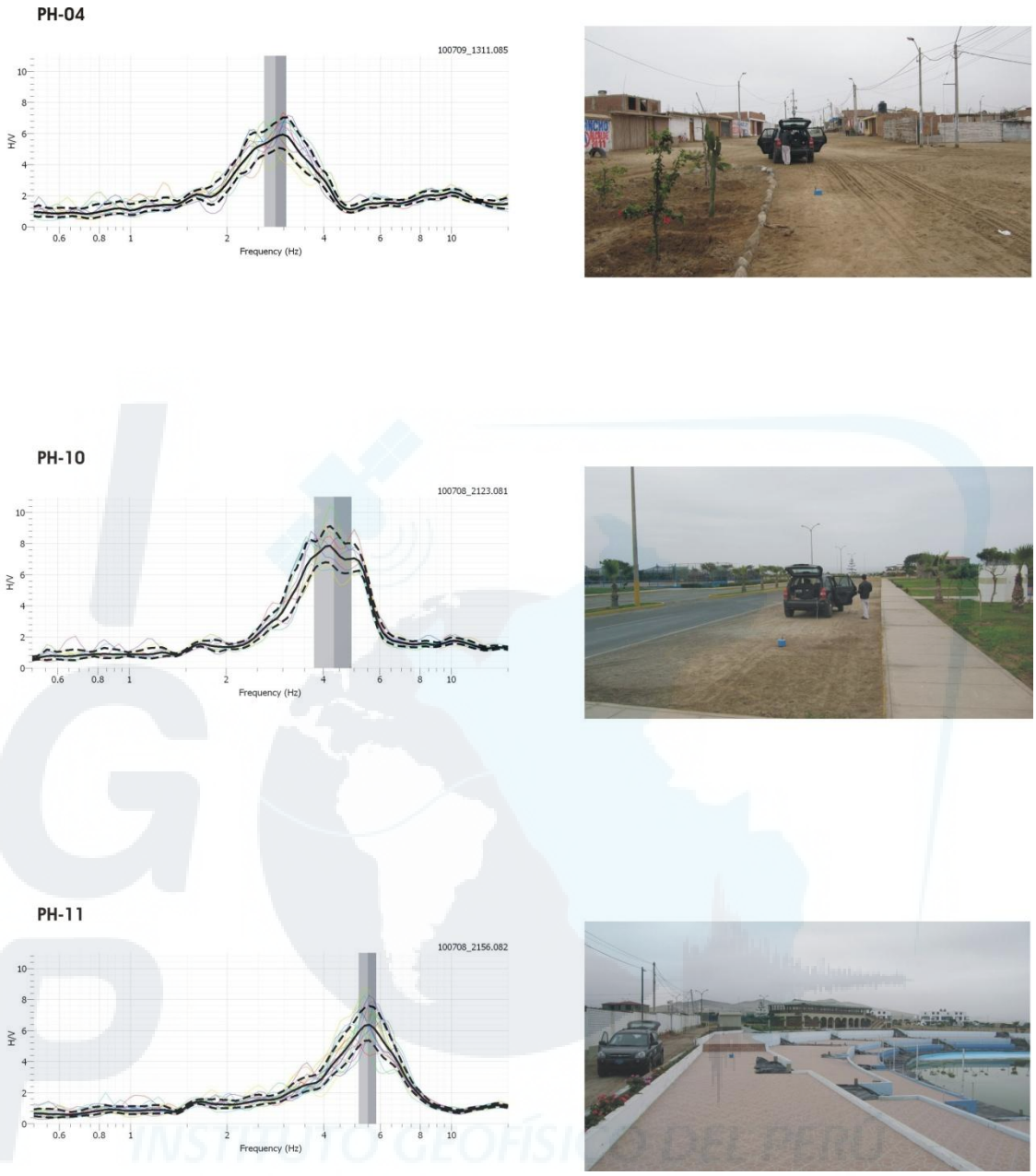


Figura 13a.- *Ejemplo de gráficas de razones espectrales obtenidas en el extremo Sur del Distrito de Punta Hermosa (Área-1). Los puntos PH-04, PH-10, PH-11 presentan frecuencias predominantes que varían entorno a 3Hz y de 4 a 6Hz. Las líneas delgadas continuas corresponden a las razones espectrales obtenidas para cada ventana de observación, la línea gruesa el promedio de estas curvas y las líneas discontinuas, su desviación estándar.*

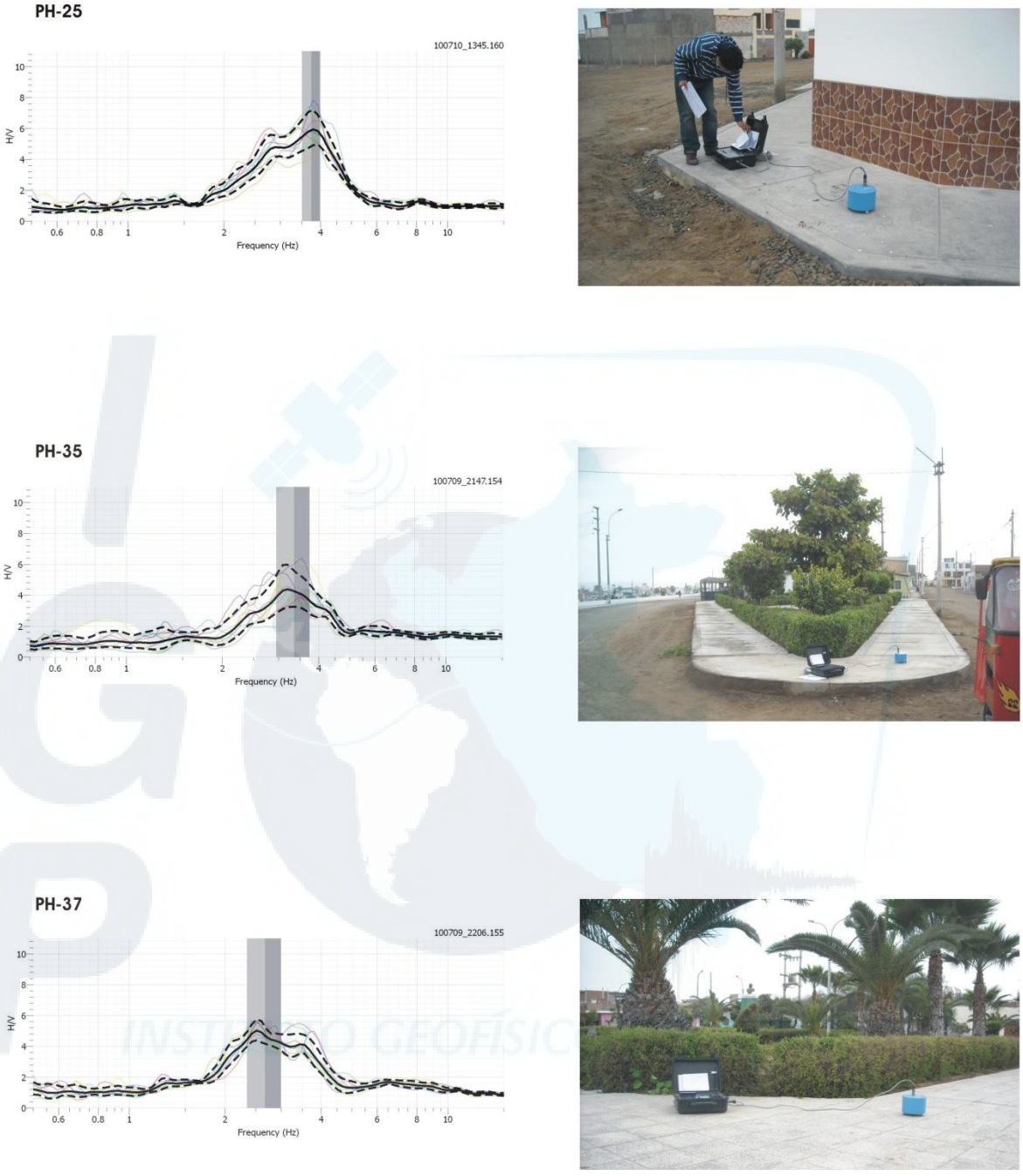


Figura 13b.- *Ejemplo de gráficas de razones espectrales obtenidas en el extremo sur del Área-2 del Distrito de Punta Hermosa. Los puntos PH-25, PH-35, PH-37 presentan frecuencias que fluctúan entre 2 a 4Hz. Otros, ver Figura 13a.*

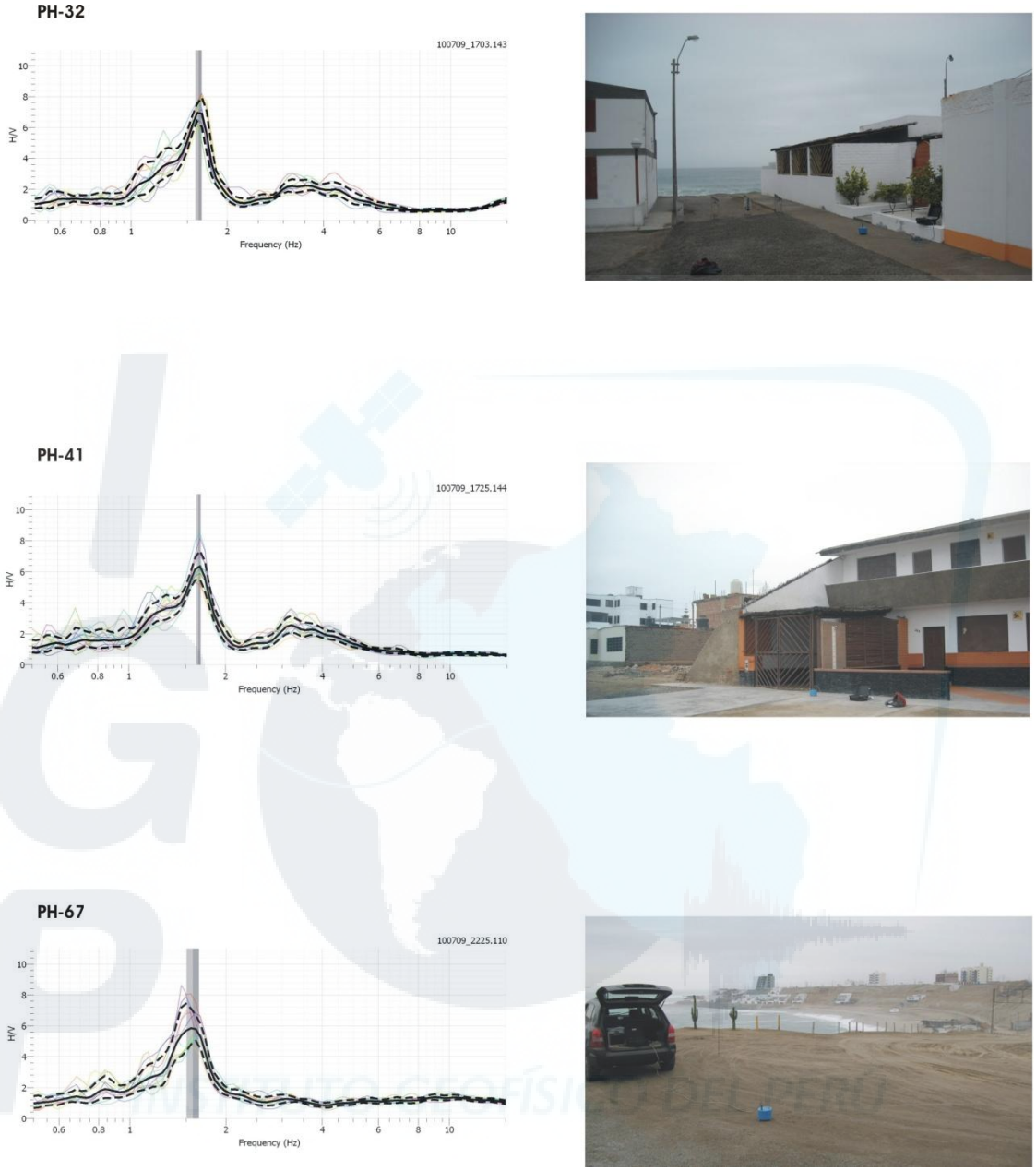


Figura 13c.- *Ejemplo de gráficas de razones espectrales obtenidas en el extremo Oeste el Área-2 del Distrito de Punta Hermosa. Los puntos PH-32, PH-41, PH-67 presentan frecuencias que fluctúan entre 1.5 a 2Hz. Otros, ver Figura 13a.*

Figura 13d.- *Ejemplo de gráficas de razones espectrales obtenidas en el Área-3 del Distrito de Punta Hermosa. Los puntos PH-76, PH-77 y PH-78 no presentan frecuencias predominantes. Otros, ver Figura 13a.*

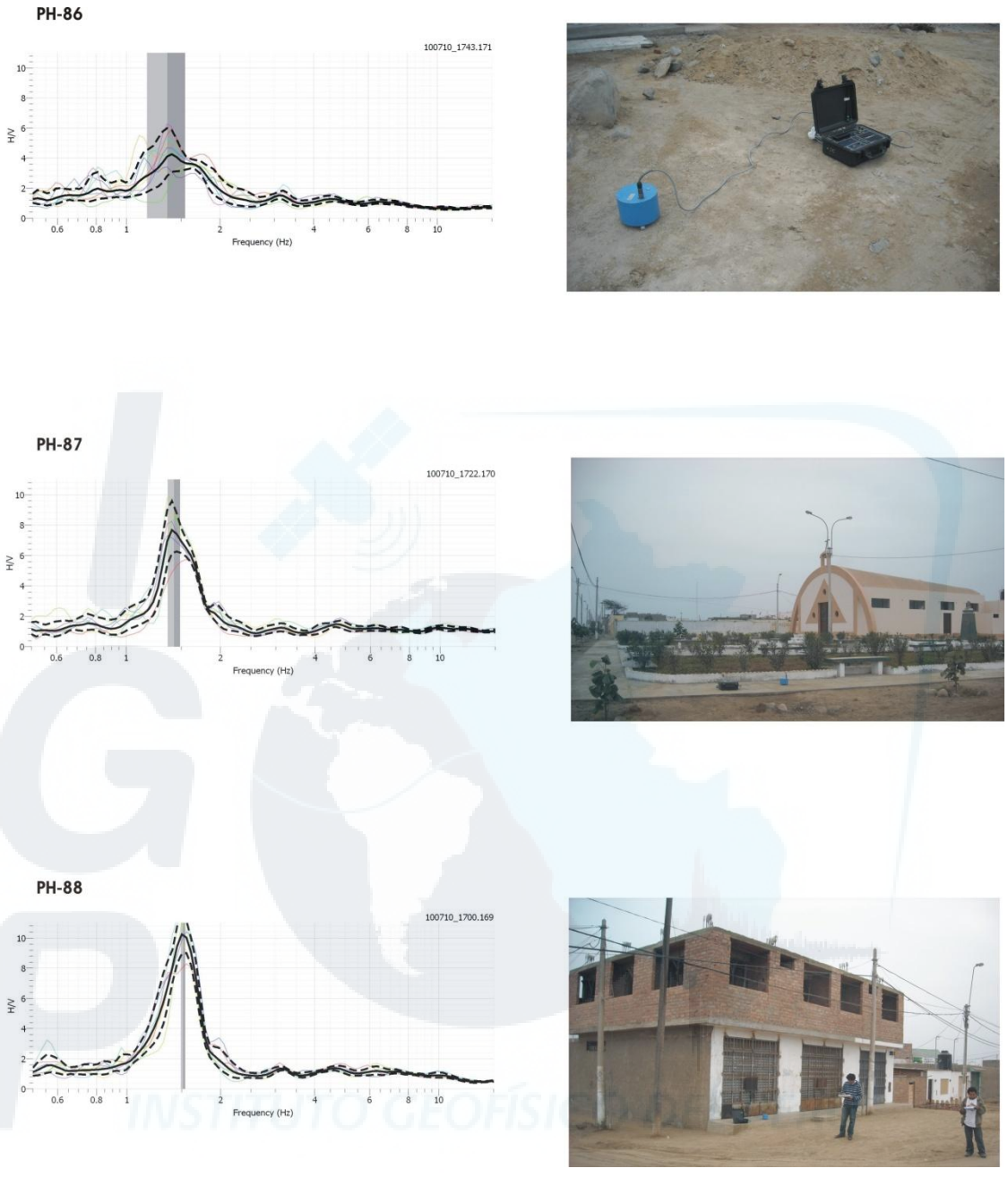


Figura 13e.- *Ejemplo de gráficas de razones espectrales obtenidas en el extremo Norte (Área-4) del Distrito de Punta Hermosa. Los puntos PH-86, PH-87, PH-88 presentan frecuencias que fluctúan entre 1 a 2Hz. Otros, ver Figura 13a.*

En la Figura 14 se muestra la distribución espacial de los periodos dominantes obtenidos a partir de las frecuencias predominantes en 91 puntos de observación. El

análisis de esta información permite definir en el Distrito de Punta Hermosa la presencia de cuatro zonas en las cuales el comportamiento sísmico es similar:

-La primera zona se localiza en una área pequeña ubicada en el extremo Norte del Distrito y que se caracteriza por presentar los periodos dominantes más altos (0.7 s) que podrían deberse a la presencia de estratos de gran potencia, a un alto nivel freático y/o efectos especiales asociados a la dinámica local del suelo. Para ser comprendido se requiere realizar estudios más detallados haciendo uso de otras técnicas que escapan a los objetivos de este estudio.

-La segunda zona se encuentra en dirección norte y sur con respecto a la primera y se caracteriza por presentar periodos dominantes relativamente altos (0.6 a 0.5 s) que, conforme tiende hacia él SE, disminuyen de manera gradual. Esta concentración de periodos relativamente altos es concordante con la geomorfología del Distrito, donde se asienta un depósito marino-aluvial de considerable potencia.

-La tercera zona está constituida por áreas pequeñas que se caracterizan por presentar períodos dominantes de 0.3s y 0.4s.

-La cuarta zona se encuentra en el extremo sur del Distrito y se caracteriza por presentar periodos dominantes bajos (0.2 s), siendo concordante con zonas de rellenos de menor espesor compuestos por desmontes de arenas gruesas con fragmentos de roca angulosa y/o otros.

En la Figura 14, las áreas achuradas representan a suelos en los cuales no se han identificado frecuencias predominantes, lo cual sugiere la existencia de suelos relativamente más estables.

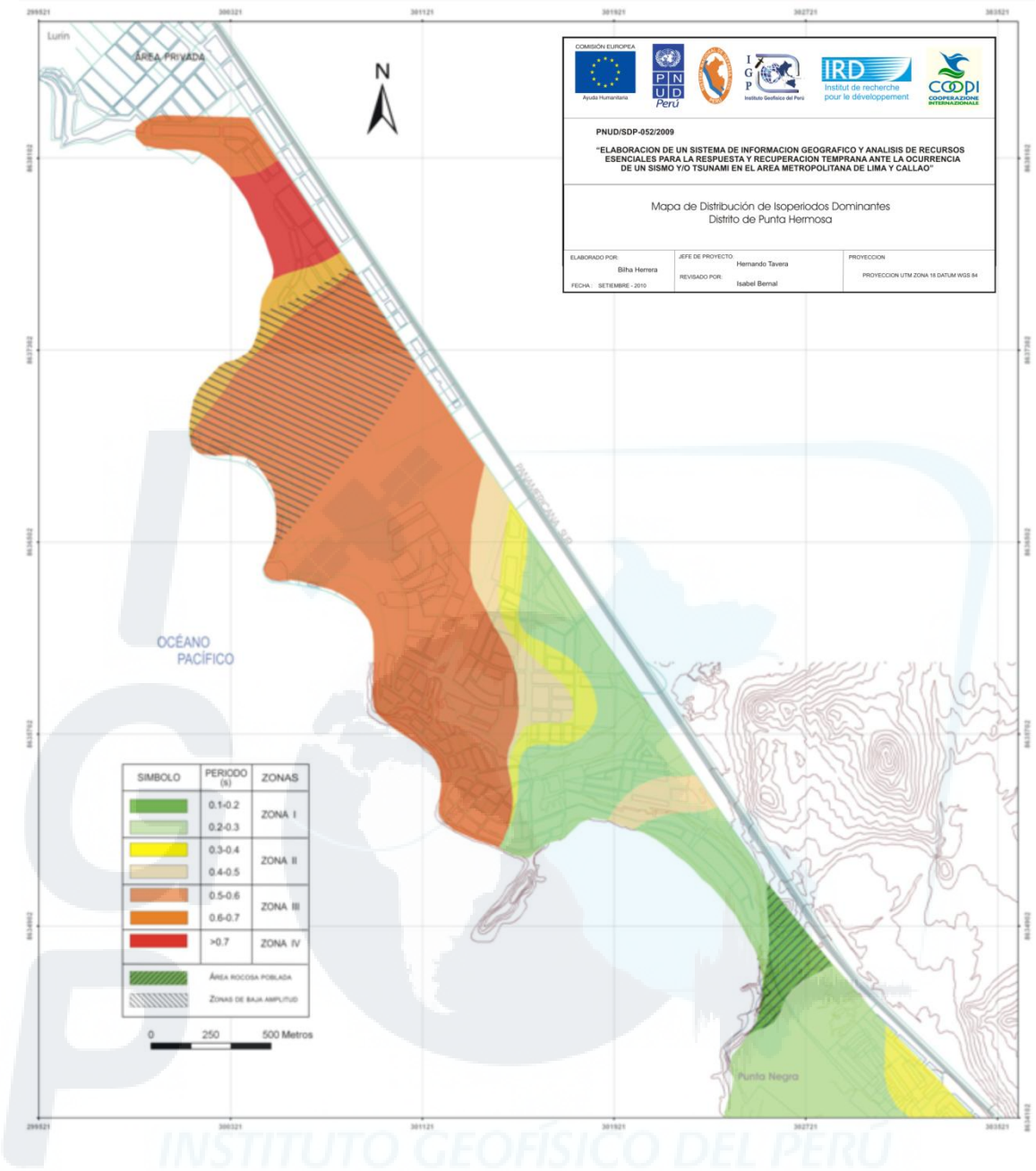


Figura 14.- *Mapa de distribución de periodos dominantes (comportamiento dinámico del suelo) para el Distrito de Punta Hermosa.*

10.1.5.- Aspectos Geotécnicos

En el Distrito de Punta Hermosa se programaron 7 calicatas, las cuales sirvieron para identificar hasta 5 tipos de suelos que se describen (Figura 15).

El suelo tipo GW es el predominante en la parte oriental del Distrito, corresponde a gravas bien gradadas, conformada por materiales de origen aluvial.

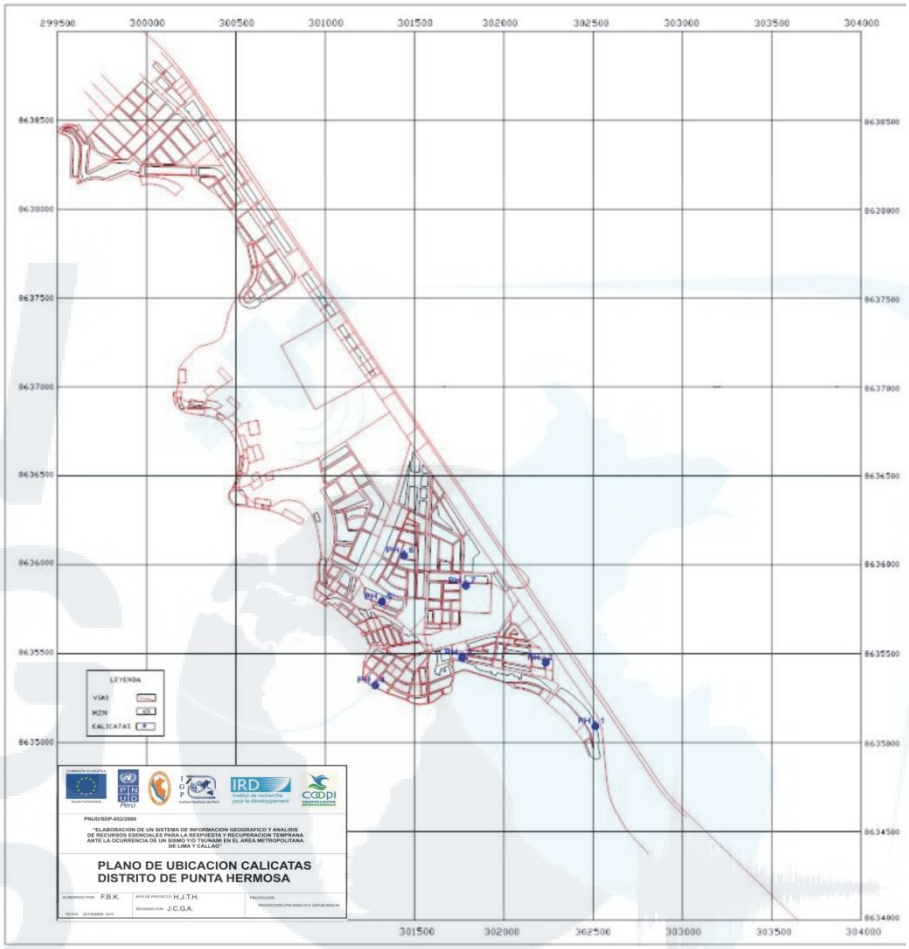


Figura 15.- *Distribución espacial de las siete (7) calicatas elaboradas en el Distrito de Punta Hermosa.*

La parte central alta del poblado se asienta sobre suelos tipo SP que corresponden a arenas medias a gruesas pobremente gradadas con clastos sub-angulosos conformados por materiales de origen aluvial.

El Distrito propiamente dicho se asienta sobre suelos tipo SM arenas gruesas a medias con regular gradación y presencia de limos con clastos sub-angulosos que corresponden a depósitos aluvio-fluviales.

Finalmente, el suelo tipo ML que conforman arenas finas y poco finas conforman las terrazas marinas actuales en el borde litoral. También en las inmediaciones de los afloramientos rocosos se encuentran suelos GP que corresponden a depósitos de origen coluvial.

En base al análisis granulométrico y los ensayos de corte directo ha sido posible calcular la capacidad portante de los suelos para los siete sitios analizados y los resultados obtenidos se muestran en el siguiente cuadro:

CODIGO DE LA MUESTRA	CAPACIDAD PORTANTE (Kg/cm2)
PH-1	6.51
PH-2	5.04
PH-3	3.80
PH-4	8.69
PH-5	3.90
PH-6	3.41
PH-7	6.82

Según estos resultados (cuadro anterior), los suelos en el Distrito de Punta Hermosa pueden ser clasificados de regular a baja resistencia al corte y falla. Así, los suelos en los sitios PH-1 y PH-2, aledaños a la carretera Panamericana Antigua, presentan valores regulares de capacidad portante, así como también el sitio PH-4 aledaño al litoral, puesto que la muestra presenta materiales aluviales y el sitio PH-7, localizado en las inmediaciones del estadio de la localidad. Los sitios PH-3, PH-5 y PH-6 ubicados en la parte central del Distrito presentan valores bajos de capacidad portante.

10.1.6.- Zonificación Sísmico-Geotécnica (CDS)

El mapa de zonificación sísmico-geotécnica (CDS) para el Distrito de Punta Hermosa considera el análisis e interpretación de la información sísmica (vibración ambiental) y geotécnica

para este Distrito las siguientes zonas (Figura 16):

ZONA I: *Esta zona está conformada por estratos de depósitos aluviales y coluvial cubiertos por un estrato de material fino de poco espesor y arena gruesa con ligero contenido de limo y arcilla. Este suelo tiene un comportamiento rígido con periodos de vibración natural determinados por las mediciones de vibración ambiental que varían entre 0.1 y 0.3 s. Asimismo, en la zona predominan periodos de 0.2 s que se concentran en tres áreas relativamente pequeñas ubicadas en el extremo sur del Distrito.*

ZONA II: *En esta zona se incluyen las áreas de depósitos aluvial-marino cuyas potencias varían entre 3.0 y 10.0 m. Los periodos predominantes del terreno determinados por las mediciones de vibración ambiental varían entre 0.3 y 0.5 s. Estas características se observan hasta en tres áreas del Distrito.*

De acuerdo a los resultados de geotécnica, se clasifica a esta zona como de regular resistencia al corte y falla.

ZONA III: *Esta zona está conformada, en su mayor parte, por depósitos de suelos marino-aluvial además de la presencia de arena con moderada a baja compactación. Los periodos predominantes encontrados en estos suelos varían entre 0.5 y 0.6 s. Esta zona abarca el 40% del Distrito con el predominio de periodos de 0.6 s (extremo Norte-Oeste).*

De acuerdo a los resultados de geotécnica, se clasifica a esta zona como de regular a baja resistencia al corte y falla.

ZONA IV: *Esta zona abarca un área pequeña ubicada en el extremo norte del Distrito concentrando periodos de 0.7s con amplificaciones máximas relativas de hasta 8 veces. Los valores altos para los periodos dominantes que caracterizan a esta zona pueden deberse a la potencia de este estrato o a efectos especiales asociados a la dinámica local del suelo. Para ser comprendido se requiere realizar estudios más detallados haciendo uso de otras técnicas que escapan a los objetivos de este estudio.*

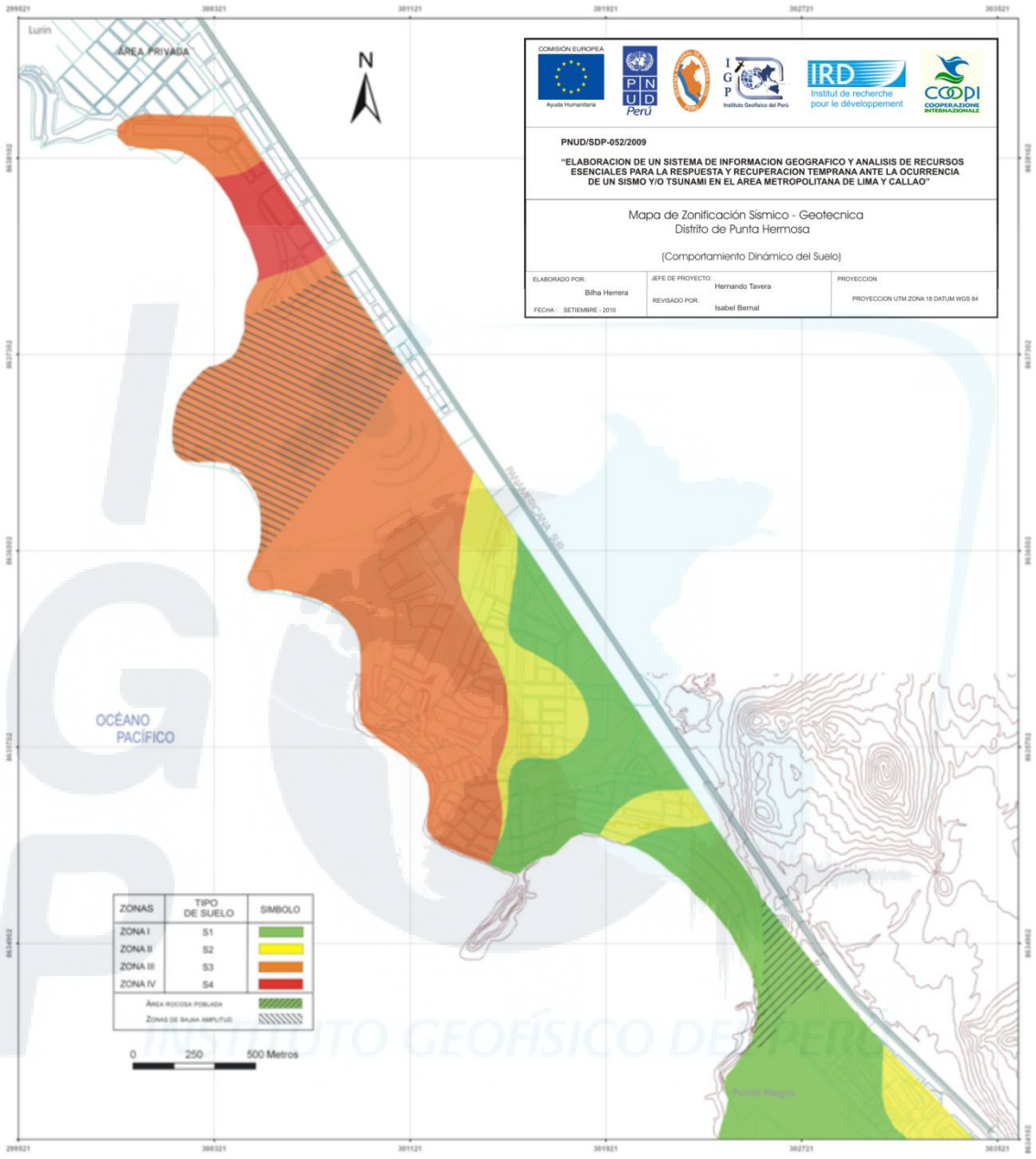


Figura 16.- *Mapa de Zonificación Sísmico-Geotécnica (comportamiento dinámico del suelo) del Distrito de Punta Hermosa.*

CONCLUSIONES

La realización del estudio de Zonificación Sísmico-Geotécnica a partir del comportamiento dinámico del suelo para siete (7) Distritos de Lima Metropolitana (Pucusana, Santa María, San Bartolo, Punta Negra, Punta Hermosa, Santa Rosa y El Agustino), ha permitido llegar a las siguientes conclusiones.

Aspectos Geológicos:

- Los Distritos ubicados en el sector Sur de Lima se caracterizan por presentar una secuencia rocosa de naturaleza intrusiva-sedimentaria atravesada por algunos diques volcánicos. La secuencia varia hacia el norte pasando a otra volcano-sedimentaria en Pucusana, Santa María y San Bartolo, mostrándose netamente volcánica en Punta Negra y Punta Hermosa. En estos cinco Distritos la cobertura Cuaternaria la conforman depósitos aluviales, coluviales, eólicos y marinos. En el Distrito de Santa Rosa afloran rocas volcánicas andesíticas que conforman la base de la columna estratigráfica de Lima (Jurásico Superior) con una cobertura de depósitos Cuaternarios compuestos por materiales aluviales, coluviales, eólicos y marinos.
- En el Distrito de El Agustino el basamento rocoso está compuesto por rocas intrusivas del batolito de la Costa, de naturaleza granítica con una cobertura de depósitos cuaternarios predominantemente de origen aluvial y coluvial.

Aspectos Geomorfológicos:

- En los Distritos situados en los balnearios del Sur y Norte de Lima, la morfología está condicionada por la dinámica marina y los procesos de intemperismo y erosión que ocurren en este tipo de ambiente y que han permitido diferenciar hasta 3 unidades geomorfológicas: las zonas de colinas, conformadas mayormente por afloramientos rocosos, las zonas de terrazas aluviales o aluvio-coluviales que conforman una planicie sub-horizontal y la terraza marina adyacente al borde litoral.
- En el Distrito de El Agustino se distinguen dos unidades geomorfológicas: la terraza o planicie aluvial en las inmediaciones del río Rímac y las zonas de cerros o colinas que conforman el basamento ígneo en la zona.

Aspectos Sísmicos:

- La recolección de registros de vibración ambiental se realizó de acuerdo a lo planificado y contando, en todo momento, con el apoyo de las autoridades de cada Distrito.
- El análisis de las razones espectrales H/V ha permitido observar gran variedad de periodos dominantes que van desde 0.1 a 0.6 segundos con amplificaciones de hasta 6 veces, lo cual sugiere la existencia de suelos con diferentes características dinámicas, pudiendo causar amplificación o de-amplificación de las ondas sísmicas de volumen y/o superficiales debido al efecto de las capas estratificadas superficiales de diferente potencia, geometría y composición geológica, evidenciadas por los periodos dominantes obtenidos para cada Distrito.
- En algunas áreas pequeñas de los Distritos de Punta Hermosa y El Agustino se han observado periodos de hasta 0.7 s que podrían estar asociados al alto contenido de humedad, al nivel freático próximo a la superficie y/o condiciones especiales asociados a la dinámica local del suelo; por lo tanto, se requiere realizar estudios complementarios en detalle.
- De acuerdo a los valores de periodos dominantes, los Distritos con suelos homogéneos y relativamente más competentes en orden decreciente son: El Agustino, Santa María y Pucusana, y los heterogéneos, Santa Rosa, San Bartolo, Punta Negra y Punta Hermosa.

Aspectos Geotécnicos:

- De acuerdo a la clasificación SUCS de suelos se han podido diferenciar hasta 7 tipos de suelos en los Distritos estudiados: GW, GM, GP, SM, SP, SW y ML.
- Las capacidades portantes determinadas en base a ensayos de corte directo y densidad máxima han permitido diferenciar que los suelos GW y GM presentan los valores más altos de resistencia de carga (mayores a 9 kg/cm^2).
- Considerando la clasificación geotécnica utilizada por APESEG (2004), los suelos de los siete (7) Distritos se califican como: Zona I, suelos tipo GW y GM con capacidades portantes promedio superior a 9 kg/cm^2; Zona II, Suelos GP, SW y SM, con capacidades portantes entre 4 a 9 kg/cm^2; Zona III, Suelos SP con capacidades portantes menores a 4 kg/cm^2 y zona IV, Suelo ML, con capacidades menores a 4 kg/cm^2 que a diferencia del Suelo III, corresponden a materiales de origen marino (arena fina).

Zonificación Sísmico-Geotécnica:

- Los resultados obtenidos en este estudio han permitido identificar, según el procedimiento establecido en APESEG (2005), la existencia de 4 zonas sísmico-geotécnicas en el total de Distritos. Esta clasificación está considerada en la Norma E-030 (2003).

  .- Distrito de Pucusana: Zonas I y II, corresponden a suelos S1 y S2.

  .- Distrito de Santa María: Zona I, que corresponde a suelos S1.

  .- Distrito de San Bartolo: Zonas I, II y III, que corresponden a suelos S1, S2 y S3.

  .- Distrito de Punta Negra: Zonas I, II y III, que corresponden a suelos S1, S2 y S3.

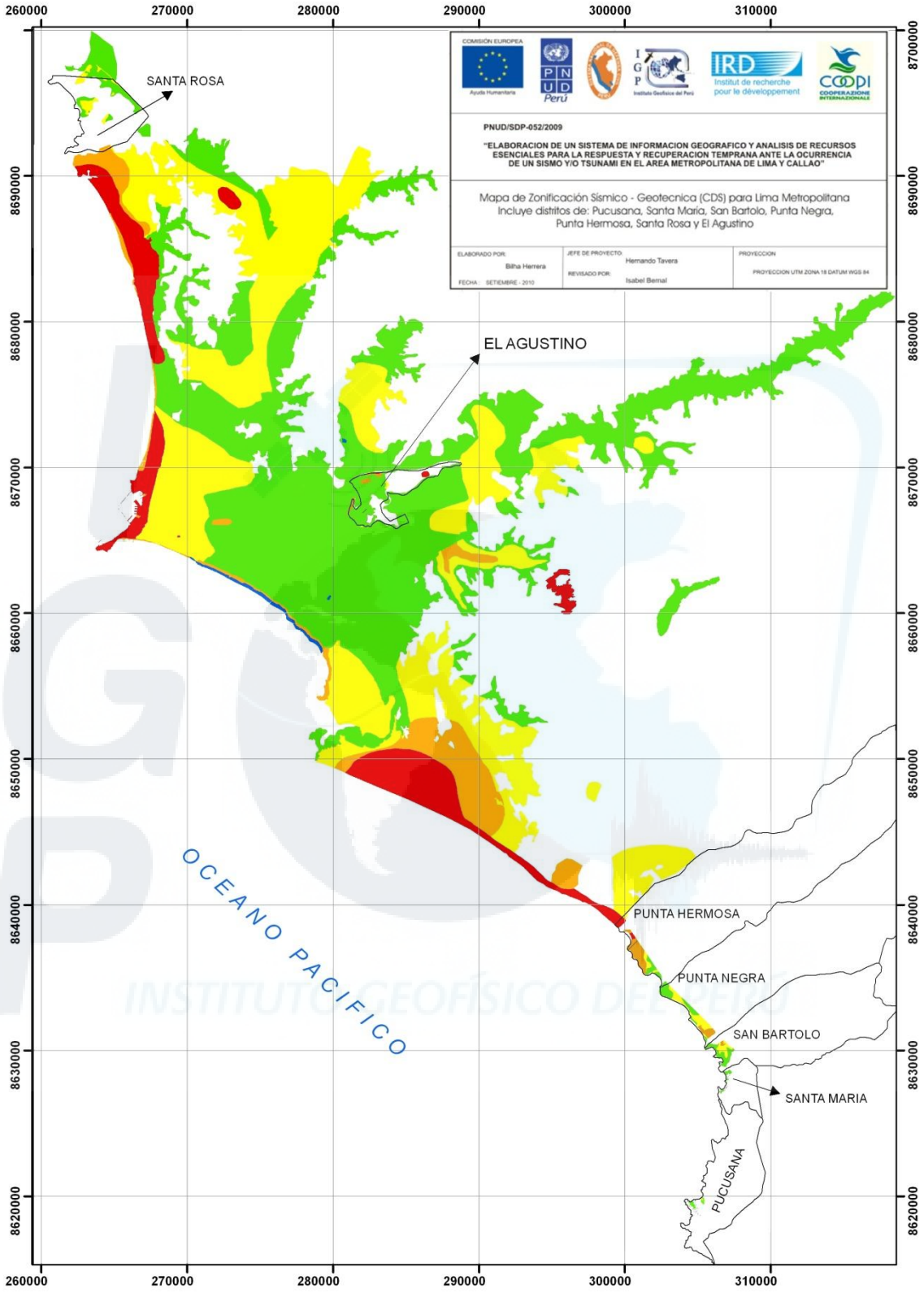
  .- Distrito de Punta Hermosa: Zonas I, II, III, que corresponde a suelos S1, S2 y S3. Además, se ha identificado una Zona IV que correspondería a suelos S4, pero requiere de estudios complementarios en detalle.

  .- Distrito de Santa Rosa: Zonas I y II, que corresponden a suelos S1 y S2.

  .- Distrito de El Agustino: Zonas I y II, que corresponde a suelos S1 y S2. Además, se observa la existencia áreas pequeñas que corresponderían a Zonas III-IV, y que requieren estudios complementarios en detalle.

- Los mapas de zonificación sísmico-geotécnica para los Distritos de Pucusana, Santa María, San Bartolo, Punta Negra, Punta Hermosa, Santa Rosa y El Agustino han permitido completar el Mapa de Zonificación propuesto para Lima Metropolitana.

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ



Mapa de Zonificación para Lima Metropolitana en la cual se incluye los Distritos de Pucusana, Santa María, San Bartolo, Punta Negra, Punta Hermosa, Santa Rosa y El Agustino.

BIBLIOGRAFIA

Alfaro, A., Egozcue y A. Ugalde (1999), Determinación de características dinámicas del suelo a partir de micro tremores. Memorias del Primer Congreso de Ingeniería Sísmica, España.

APESEG (2005). Estudio de vulnerabilidad y riesgo sísmico en 42 Distritos de Lima y Callao, CISMID, 10 pag.

Bernal, I. y H. Tavera (2007). Pruebas de vibración ambiental realizadas en la localidad de Condormarca, Provincia de Bolívar. Dpto. de la Libertad. Informe Técnico, 23p.

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.

Bernal, I. y H. Tavera (2006). Análisis del comportamiento estructural de la presa de Tablachaca con registros de micro tremores. Informe presentado a ELECTROPERU, 22p.

Bernal, I., Tavera H. y Antayhua, Y. (2001). Evolución de la sismicidad y distribución de la Energía Sísmica en Perú Boletín SGP, Vol. 92, 67-78 p.

Casas, A. (1992). Estimación de daños por sismos y tsunamis en las zonas bajas del Callao, Tesis UNI.

Chavéz-García, J., L. R. Sánchez y D. Hatzfeld (1996), "Topographic site effects and HVSR. A comparison between observations and theory", *Bull. Seism. Soc. Am.* 86, 1559-1573.

Dorbath, L., Cisternas, A., Dorbath, C. (1990). Assessment of the size and great Historical Earhquakes in Peru, BSSA, Vol.80, Nº 3, 551 – 576p.

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.

INGEMMET (1999). 501 Cuadrángulos Geológicos Digitales de la Carta Nacional 1960-1999. Sector Energía y Minas.

King, J. L. y B. Tucker (1984), "Observed variations of earthquake motion across a sediment-filled valley". *Bull. Seism. Soc. Am*., 74 , 137- 151 pp.

Kono, K. y T. Tanaka (1998). Ground-motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremors. Bull. of the Seism. Soc. Am., 88, 228-241.

Kobayashi, K. (1980), A method for presuming deep ground soil structures by means of longer period microtremors. Proc. Of the 7th WCEE, Turkey, 1, 237-240.

Kuroiwa (1978). Planeamiento físico contra desastres naturales en el Peru, UNI, Lima, Peru

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.

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.

Nogoshi, M. y T. Igarashi (1971), On the amplitude characteristics of microtremors (Part-2), Jour. Seism. Soc. Japan, 24, 26-40.

Norma E-30 (2003). Technical Building Standard E.030 Earthquake Resistant Standards (E-030 Diseño Sismorresistente). Ministry of Housing, Construction and Sanitation.

Muria, 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.

Okada, H. (2003), “The Microtremor Survey Method”, Geophysical monograph series, No 12, Society of exploration geophysicists, 135 pp.

Reinoso, E. (2000), “Estudios para la Microzonificación”. *Memorias del VI Simposio Nocional de Ingeniería Sísmica y II reunión sobre la Enseñanza de la Ingeniería Sísmica en México*. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, A.C.

Sauter, F. (1989), “Introducción a la sismología”, Fundamentos de Ingeniería Sísmica I. Editorial Tecnológica de Costa Rica, 271pp.

Silgado, E. (1978). Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú 1513–1974, República de Perú Sector Energía y Minas, Instituto de Geología y Minería, Boletín Nº 3 Serie C, Geodinamica e Ingeniería Geológica, 130p.

Tavera H, I. Bernal y H. Salas (2007). El sismo de Pisco del 15 de Agosto, 2007 (7.9 Mw) Departamento de Ica-Perú. Informe Preliminar.

Tavera, H. y Buforn, E. (2001). Source mechanism of earthquake in Peru. Journal of sismology, V5,4, 519-540p.

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ