



**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 Geográfica 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**



SETIEMBRE - 2010

COOPERAZIONE INTERNAZIONALE - COOPI  
Calle Coronel Zegarra - 264 Jesús María - Lima  
Tel./Fax. 4710585 - RUC 20511733333  
[peru@coopi.org](mailto:peru@coopi.org) [www.coopi.org](http://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*

SETIEMBRE - 2010

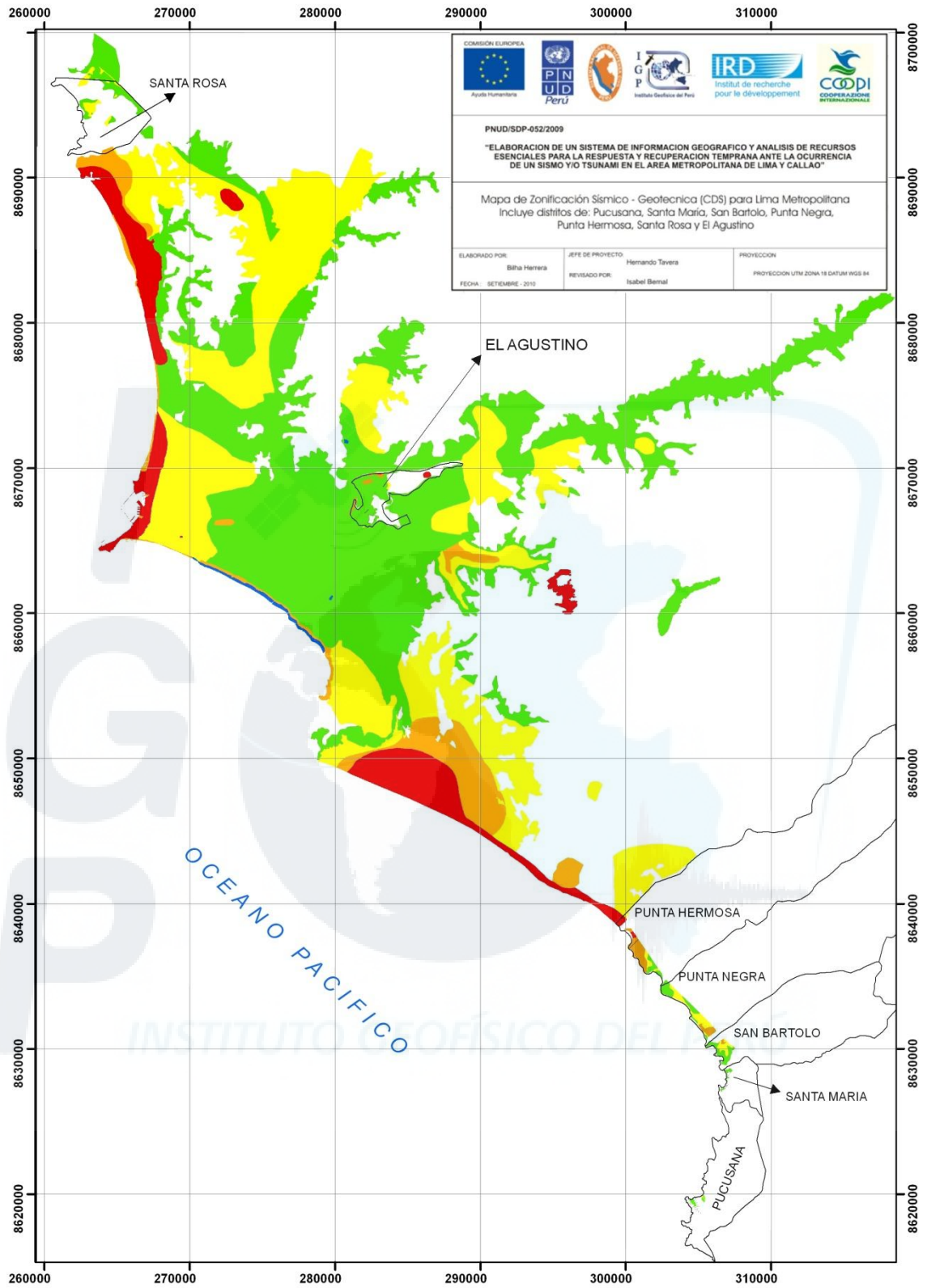
## **RESUMEN EJECUTIVO**

*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).*

*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
8.- METODOLOGIA EN GEOTECNIA .....	26
10.- ZONIFICACION SISMICO-GEOTECNICA .....	28
10.1.- DISTRITO DE PUNTA NEGRA .....	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.- <i>Recolección de Datos</i> .....	34
10.1.4.2.- <i>Distribución de Periodos Dominantes</i> .....	36
10.1.5.- Aspectos Geotécnicos .....	41
10.1.6.- Zonificación Sísmico-Geotécnica (CDS).....	43
CONCLUSIONES.....	46
BIBLIOGRAFIA .....	50

## 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)



## 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.

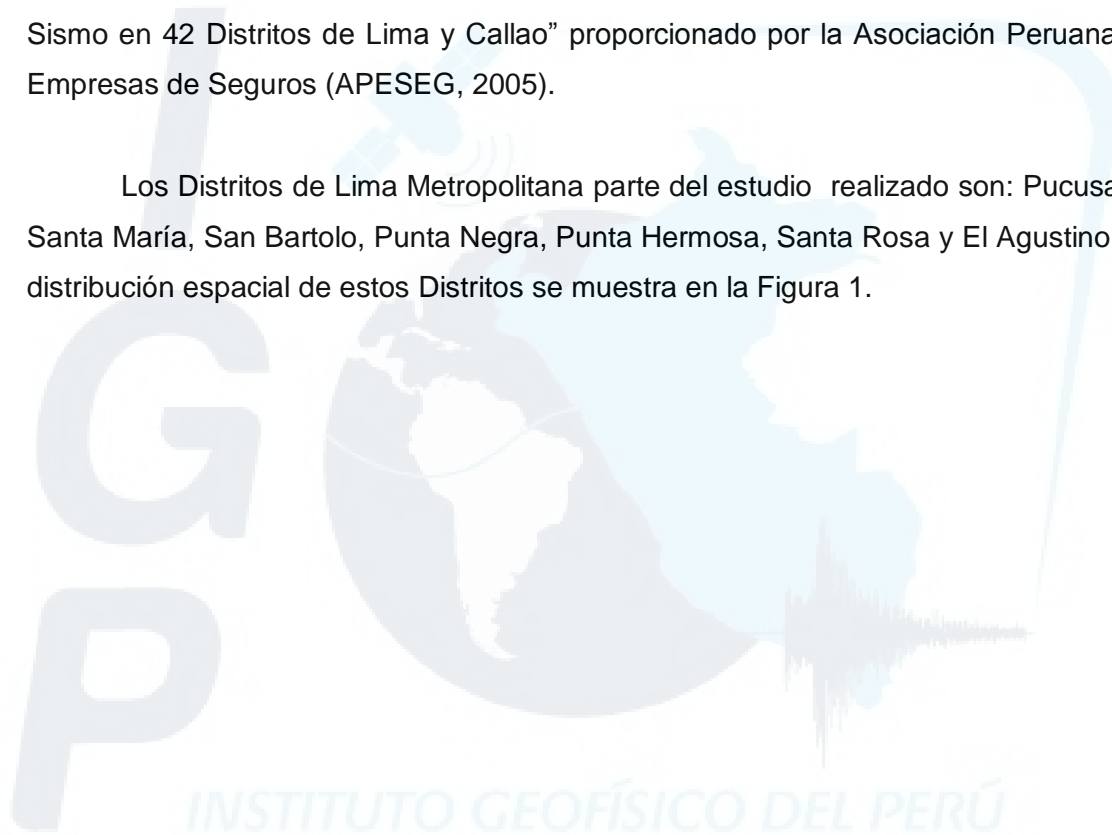


**Figura 1.-** Distribución espacial de los siete (7) Distritos considerados en el estudio

## 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.



### 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 ( $T_0$ ) y, de manera referencial, la amplificación máxima relativa ( $A_r$ ) 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 ( $T_0$ ) 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 ( $A_r$ ).

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.



## 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<sup>2</sup>).*
- *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<sup>2</sup>), 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<sub>1</sub> y S<sub>3</sub>.

### ***.- 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)***

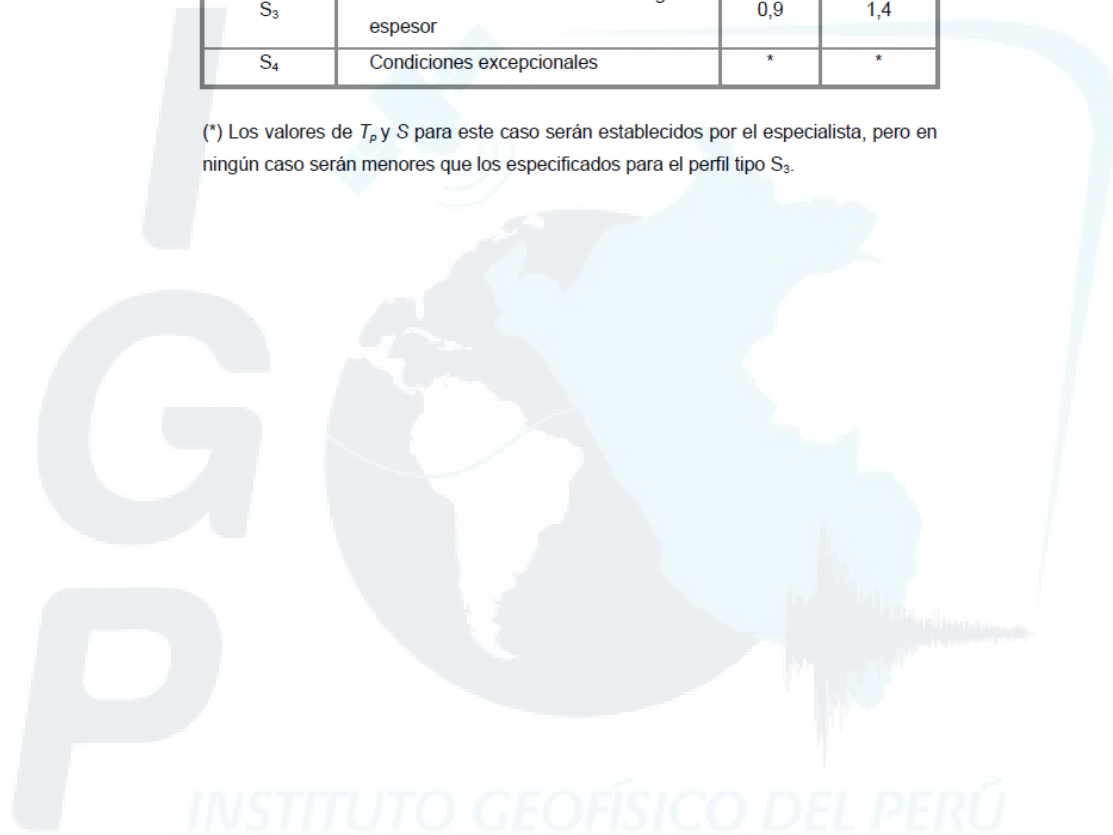
A este tipo corresponden los suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables.

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 <sub>1</sub>	Roca o suelos muy rígidos	0,4	1,0
S <sub>2</sub>	Suelos intermedios	0,6	1,2
S <sub>3</sub>	Suelos flexibles o con estratos de gran espesor	0,9	1,4
S <sub>4</sub>	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<sub>3</sub>.



## 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.

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 (APESEG, 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  $T_s=0.4$  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  $T_s=0.6$  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  $T_s=0.9$  s.

**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  $T_s=1.2$  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.



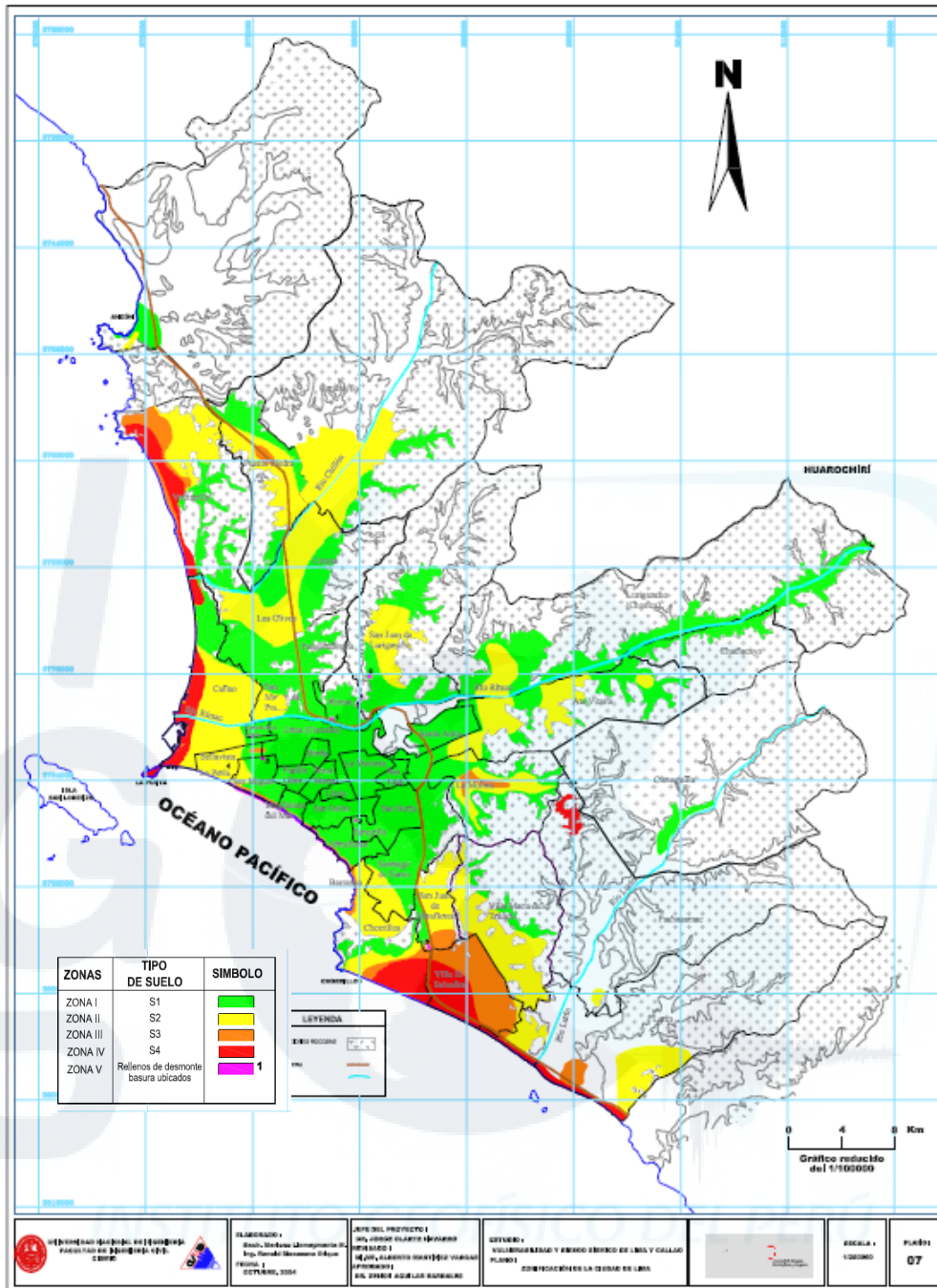


Figura 2.- Mapa de Zonificación de tipos de suelos para Lima Metropolitana elaborado por el CISMID para la APESEG (2005).

## 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.

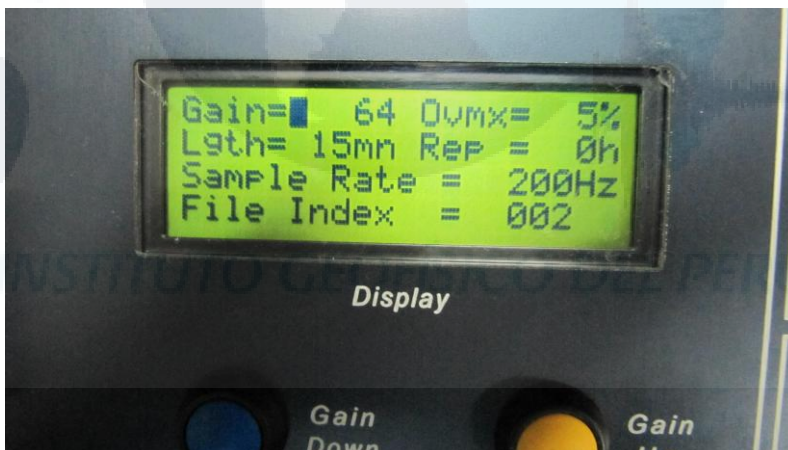
La data obtenida en cada punto fue transferida a una estación de trabajo para el cambio de formatos respectivos y corrección por línea base (offset) sin la utilización de ningún tipo de filtro a fin de no alterar la señal original. Asimismo, las incidencias y características instrumentales consideradas 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

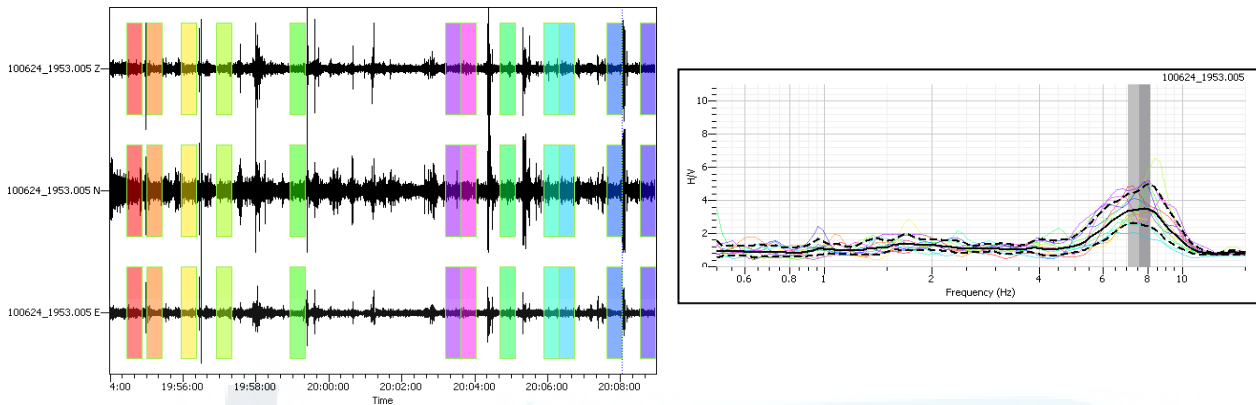
Para caracterizar el comportamiento dinámico del suelo en cada uno de los siete Distritos considerados en este estudio, se han utilizados registros de vibración ambiental (micro trepidaciones) producidos tanto por fuentes naturales como artificiales y la técnica de razones espectrales (H/V) propuesta 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.

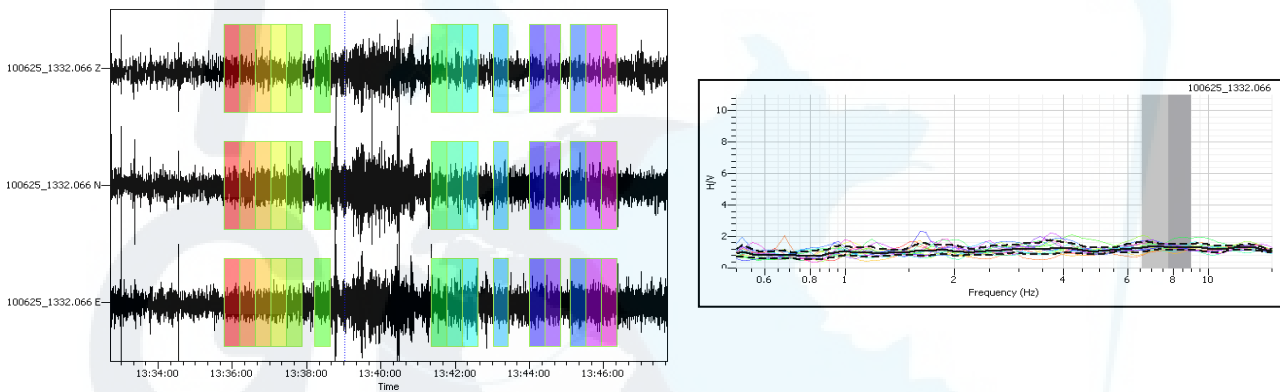
Para aplicar la técnica H/V, se consideran los siguientes pasos:

- 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.*

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.

## 8.- 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.



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

**DISTRITO DE PUNTA NEGRA**

## 10.1.- DISTRITO DE PUNTA NEGRA

### 10.1.1.- Zona de Estudio

El Distrito de Punta Negra se ubica a 38 km al SO del centro de Lima. El Distrito tiene una extensión de 130.5km<sup>2</sup> y limita por el norte con el Distrito de Punta Hermosa, al este con la Provincia de Huarochiri, al sur con el Distrito de San Bartolo y al oeste con el Océano Pacífico (Figura 6).



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

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (2007), el Distrito tiene una población cercana a los 4473 habitantes que edificaron sus viviendas principalmente a lo largo del borde litoral, siendo en su mayoría de uno o dos niveles y en general, de ladrillo y concreto (Figura 7).



**Figura 7.-** Vistas del tipo de suelo y viviendas en el Distrito de Punta Negra. En las fotos superiores se observan viviendas edificadas sobre suelos arenosos y, en algunos casos, sobre zonas de rellenos compuestos de ladrillos y fragmentos de rocas. En este Distrito predominan edificaciones de uno y dos niveles.



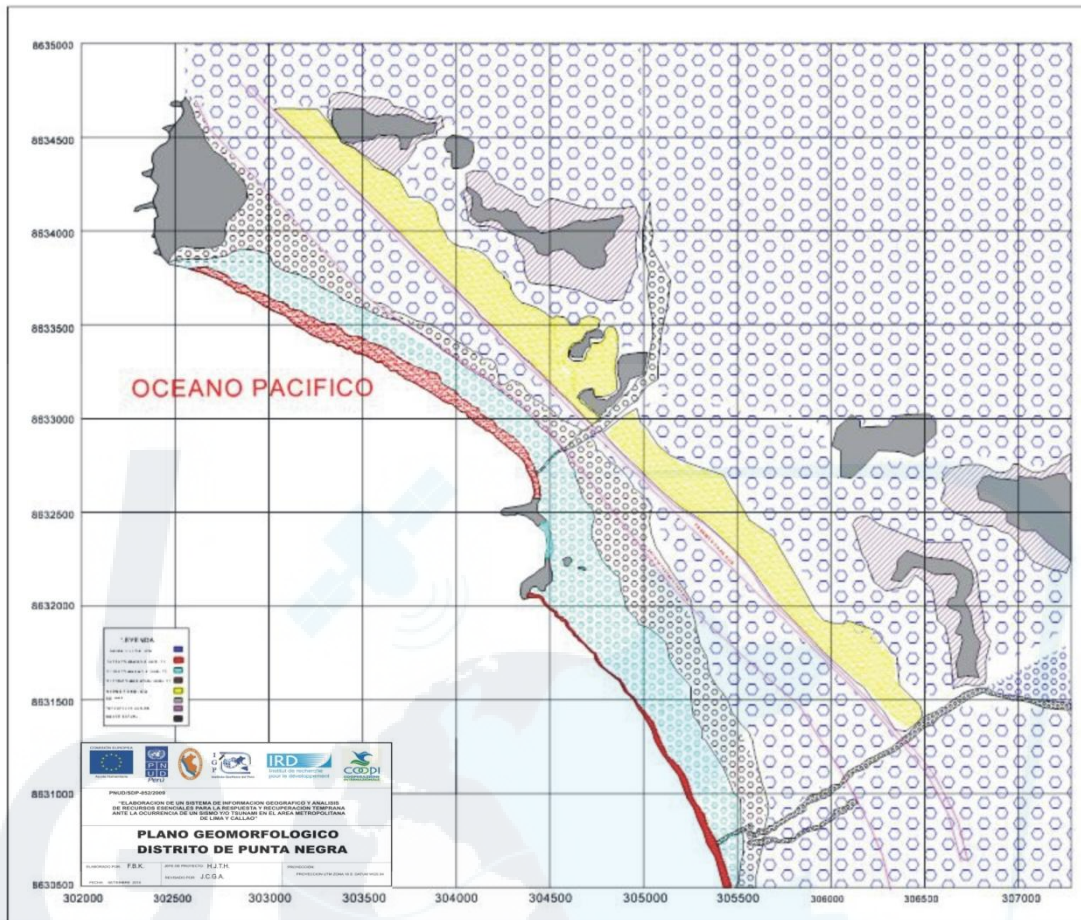
edificaciones (Figura 9). Finalmente, los depósitos coluviales bordean a los afloramientos rocosos en la parte oriental del Distrito.



**Figura 9.-** Borde litoral y colinas de rocas volcánicas donde se asientan modernas edificaciones en el Distrito de Punta Negra.

### **10.1.3.- Geomorfología Local**

Los aspectos geomorfológicos más resaltantes en el Distrito de Punta Negra lo conforman mayormente los depósitos cuaternarios de origen marino, aluvial, coluvial y eólico conjuntamente con colinas formadas por afloramientos rocosos mayormente volcánicos (Figura 10).



**Figura 10.-** Mapa geomorfológico para el Distrito de Punta Negra.

La unidad de colinas se emplaza en el sector sur del Distrito y, en su parte oriental, presenta un cordón paralelo al borde litoral que contiene a los materiales eólicos. Los depósitos fluviales se enmarcan en la quebrada seca que atraviesa el Distrito rodeado de depósitos aluviales y coluviales. Finalmente, junto al borde litoral, se emplazan los depósitos de origen marinos conformados por tres terrazas escalonadas (Figura 11).



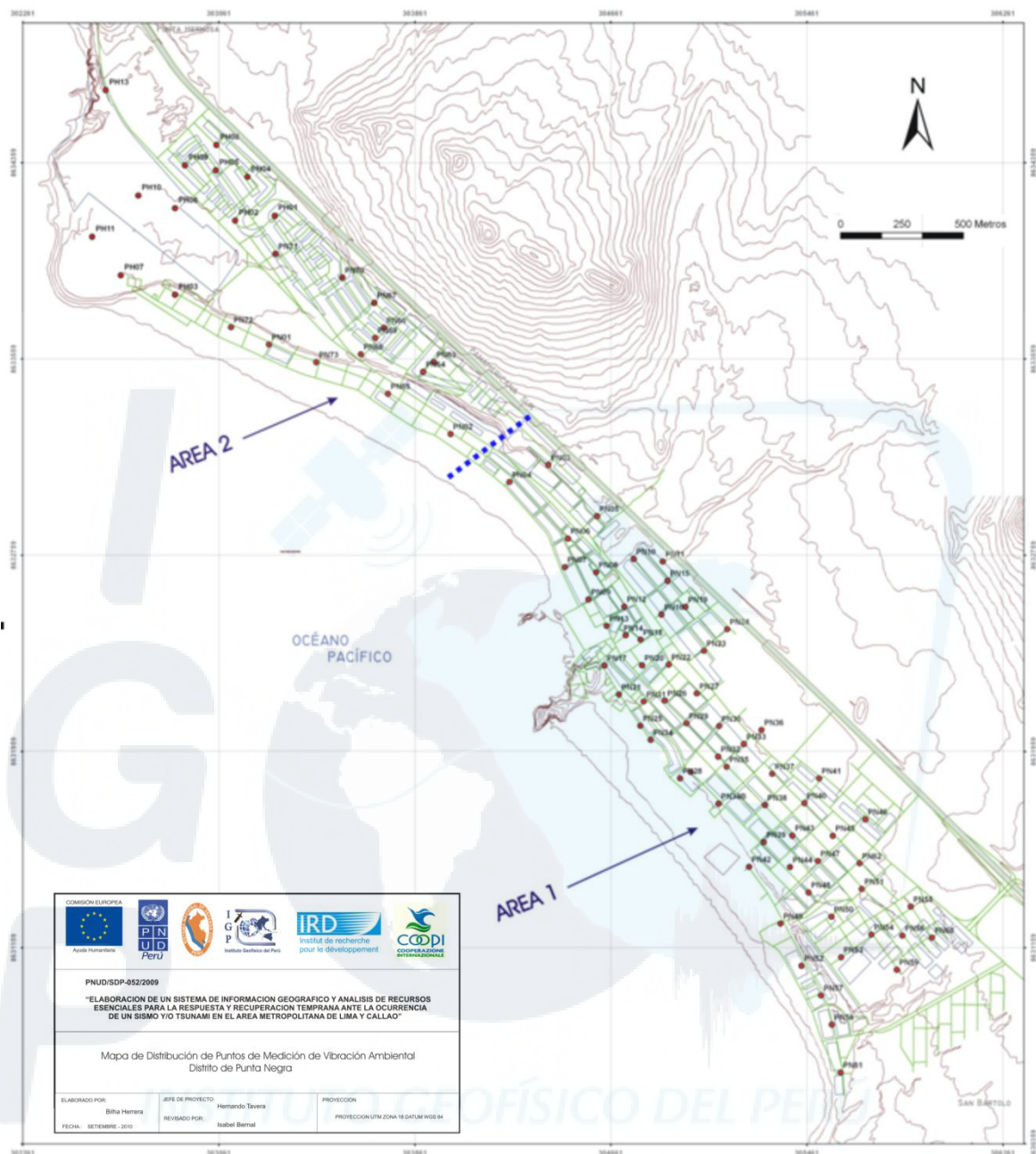
**Figura 11.-** *Parte superior: presencia de depósitos de arenas eólicas. Parte media: suelos constituidos por arena media y gruesa, limos con clastos angulosos de hasta 20 cm denominados “aluviales desérticos” con abundante contenido salino. Parte inferior: suelos conformados por arenas, nivel actual del mar “playa”.*

#### **10.1.4.- Comportamiento Dinámico del Suelo**

##### **10.1.4.1.- Recolección de Datos**

A fin de realizar el análisis y evaluación de los suelos en el Distrito de Punta Negra y estimar el comportamiento dinámico de estos, se dividió el Distrito en dos áreas teniendo en cuenta la distribución de viviendas y la densidad poblacional, tal como se observa en la Figura 12. El trabajo de campo fue realizado de la siguiente manera:

a.). Los puntos de toma de datos fueron seleccionados considerando el mapa catastral de Punta Negra, lográndose identificar un total de 73 puntos distribuidos sobre todo el Distrito (Figura 12). Del total de puntos, 49 se encuentran en el Área-1 y 24 en el Área-2. El mayor número de puntos se distribuyen sobre el Área-1 por concentrar el mayor número de edificaciones y, por ende, a la mayor población del Distrito.



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

b.). Durante los días del 6 al 8 de Julio del 2010, se tomaron datos en los 73 puntos seleccionados cuidando, en todo momento, evitar el registro de ruido causado por el paso de peatones y/o vehículos, procediendo en muchas oportunidades a realizar

varias medidas. En cada punto se anotó la hora del registro, su ubicación y sus coordenadas geográficas (GPS).

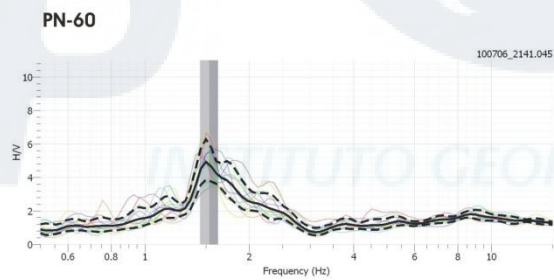
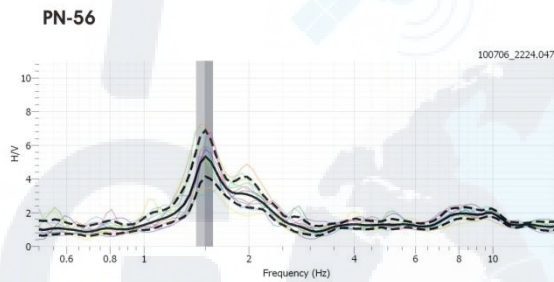
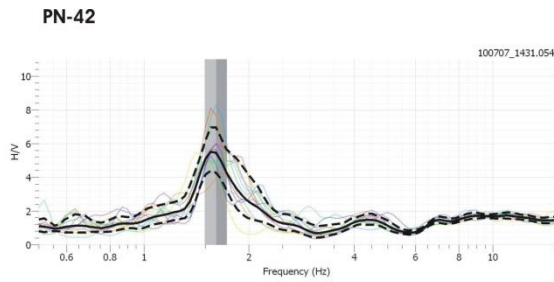
c.). Siguiendo la metodología antes indicada, se procedió con el análisis de la señal y elaboración de los espectros a fin de identificar la frecuencia predominante considerando los criterios antes indicados.

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

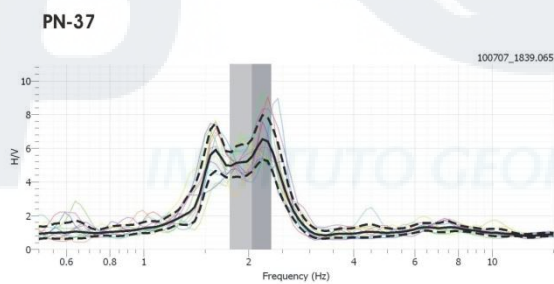
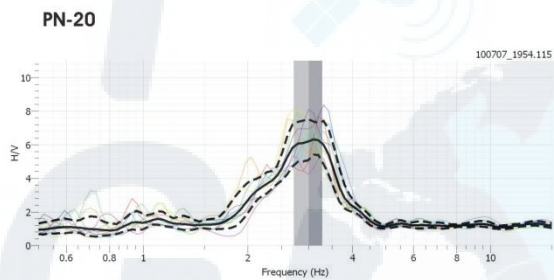
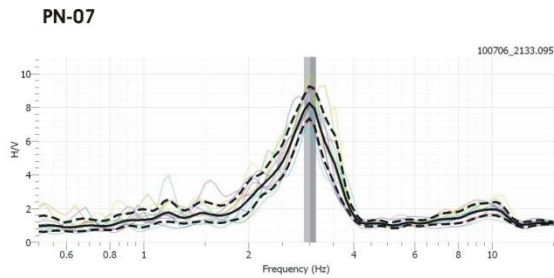
Para caracterizar el comportamiento dinámico del terreno en el área del Distrito de Punta Negra se han tomado registros de vibración ambiental en 73 puntos de observación, los mismos que han permitido cubrir toda el área urbanizada del Distrito. El análisis y evaluación de los datos obtenidos han permitido determinar el periodo dominante de vibración natural del terreno y, en algunos casos, el factor de amplificación sísmica, parámetro que define el comportamiento dinámico del terreno durante un evento sísmico.

En la Figura 13 se presentan ejemplos de razones espectrales obtenidas para las diferentes áreas: PN-42, PN-56, PN-60, PN-61, PN-07, PN-20 y PN-37 para el Área 1 y PN-03, PN-05 para el Área 2. Para el Área-1, se consideró un mayor número de ejemplos por presentar varios rangos de frecuencias predominantes a distancias muy cortas.

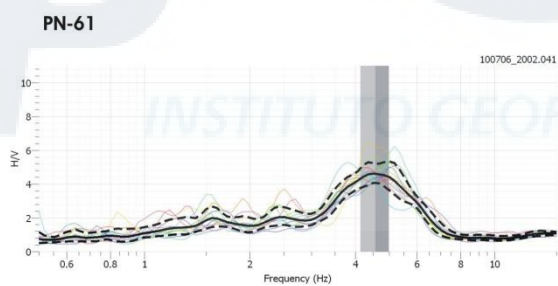
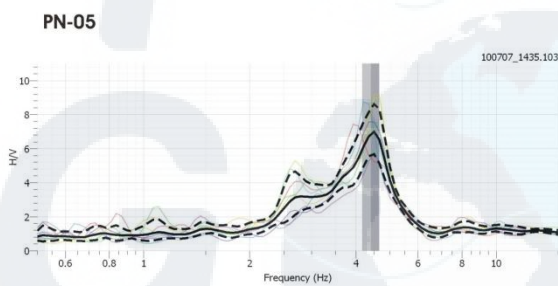
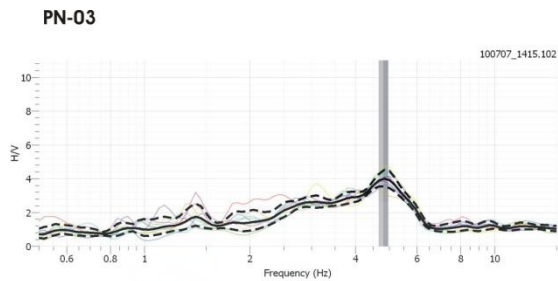
- Las Figuras 13a, b y c (PN-61) muestran las razones espectrales obtenidas para el Área-1. En la zona céntrica del Distrito las frecuencias predominantes varían en un rango de 4 a 5Hz y a 3 Hz con amplificaciones de al menos 4 veces y, conforme se tiende hacia el sur, dicha frecuencia fluctúa entre 1.5 a 2 Hz.
- En la Figura 13c (PN-03, PN-05) se muestran razones espectrales obtenidas para el Área-2 donde se distinguen frecuencias predominantes entre 4 a 5Hz, similar a lo obtenido para el Área-1, pero, en este caso, las amplificaciones son menores.



**Figura 13a.-** Ejemplo de gráficas de razones espectrales obtenidas en el extremo Sur del Distrito de Punta Negra (Área-1). Los puntos PN-42, PN-56, PN-60 presentan frecuencias predominantes que fluctúan entre 1.5 a 2Hz. Las líneas delgadas continuas representan 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 la zona céntrica del Distrito de Punta Negra (Área-1). Los puntos PN-07, PN-20, PN-37 presentan frecuencias de 3 Hz. El punto PN-37 responde en un rango de frecuencias de 1.5 a 3 Hz. Otros, ver Figura 13a.



**Figura 13c.-** Ejemplo de gráficas de razones espectrales obtenidas en el Área-2 (PN-03, PN-05) y Área-1 (PN-61) del Distrito de Punta Negra. Los puntos PN-03, PN-05, PN-6 presentan frecuencias que fluctúan entre 4 a 5Hz. 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 73 puntos de observación. El análisis de esta información permite definir en el Distrito de Punta Negra la presencia de tres zonas en las cuales el comportamiento sísmico es similar:

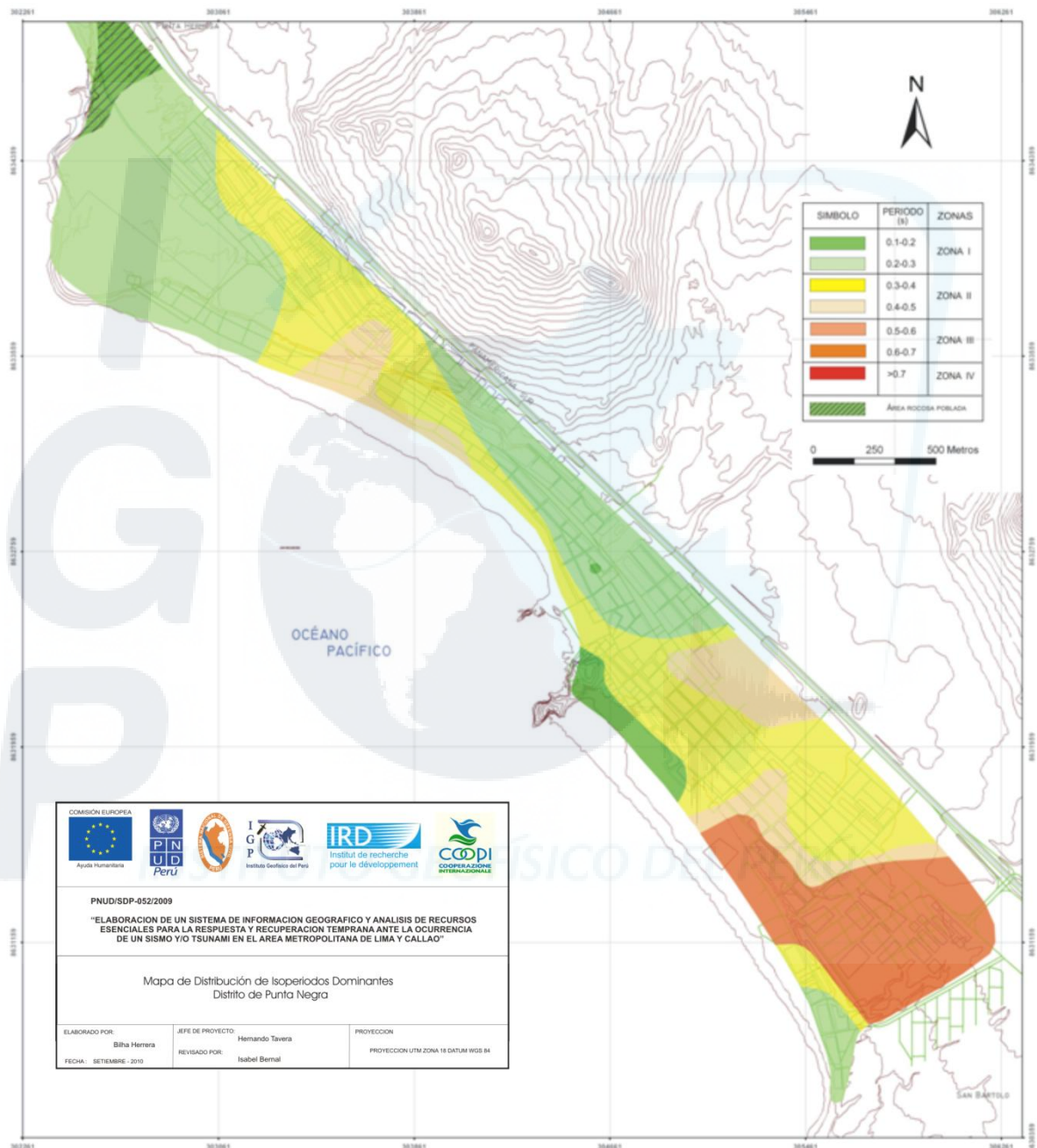


Figura 14.- Mapa de periodos dominantes para el Distrito de Punta Negra.

*-La primera zona se localiza en el extremo sur del Distrito y se caracteriza por presentar los periodos dominantes más altos (0.5 a 0.6 s) que, conforme tiende hacia el NE, disminuyen de manera gradual. La concentración de periodos altos es concordante con el mayor espesor de los depósitos fluvio-aluvial (quebrada Cruz de Hueso).*

*-La segunda zona rodea a la primera y se extiende hacia el NE y Norte, abarcando una mayor área respecto a la primera. Esta zona se caracteriza por presentar períodos dominantes de 0.3s y 0.4s.*

*-La tercera zona se distribuye de manera aleatoria sobre el Distrito y considera 4 grupos en los cuales se concentran principalmente periodos de 0.2 s.*

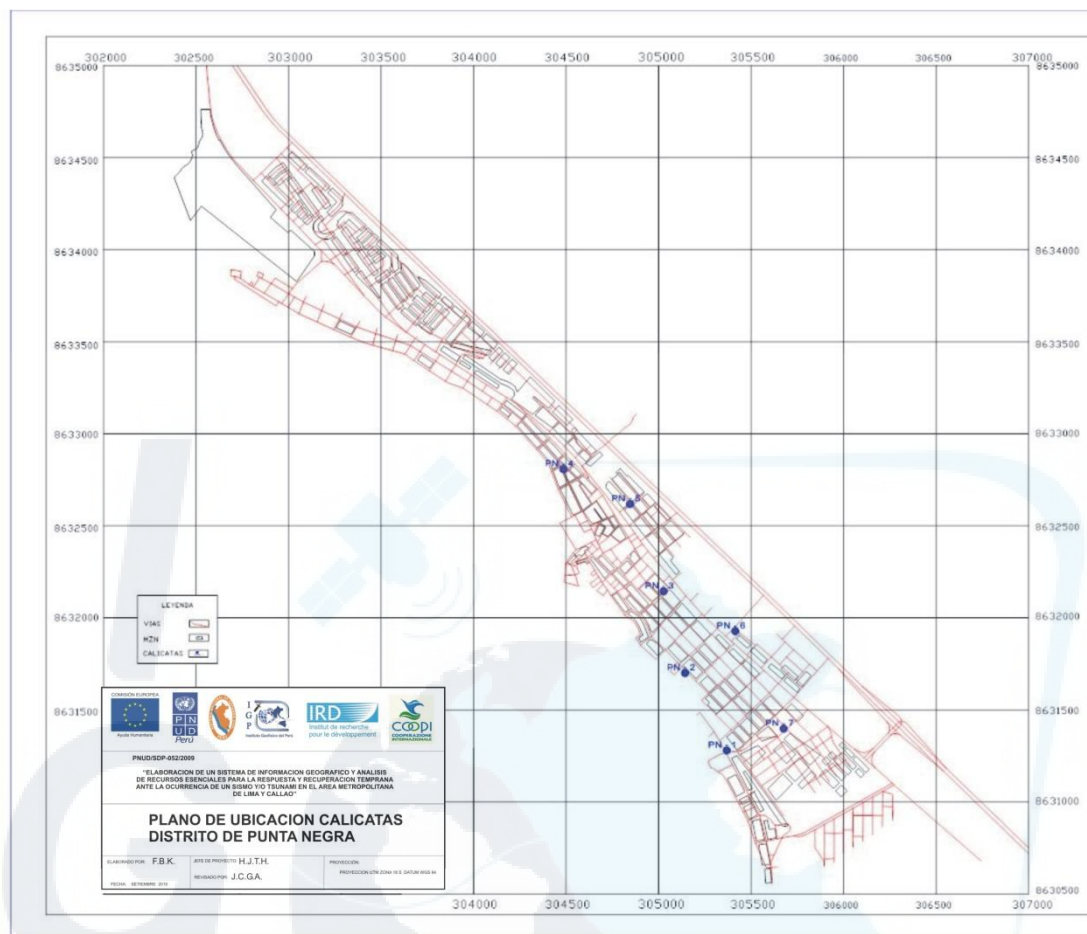
En la Figura 14, las áreas achuradas indican que sus registros no presentan frecuencias predominantes, lo cual sugiere que se trata de suelos estables.

#### **10.1.5.- Aspectos Geotécnicos**

En el Distrito de Punta Negra se ejecutaron siete (7) calicatas que permitieron diferenciar hasta 5 tipos de suelos (Figura 15):

El tipo de suelo predominante es el GW que corresponde a una grava redondeada bien gradada la que conforma las terrazas aluviales y donde se asientan los núcleos de viviendas aledaños a la Panamericana antigua y la actual.

Las principales edificaciones del Distrito se asientan sobre el suelo tipo SM que corresponde a arenas gruesas a medias, pobremente gradadas con clastos sub-angulosos: estas conforman depósitos mixtos aluviales-coluviales.



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

Un tercer tipo de suelo, donde se ubican las casas de playa, es el SP que corresponde a arenas medias a finas de los depósitos aluviales y marinos. Finalmente, con menor área de distribución, están los suelos GP que bordean los afloramientos rocosos, conformados por gravas mal gradadas y clastos sub-angulosos 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 (7 calicatas) y los resultados se muestran en el siguiente cuadro:

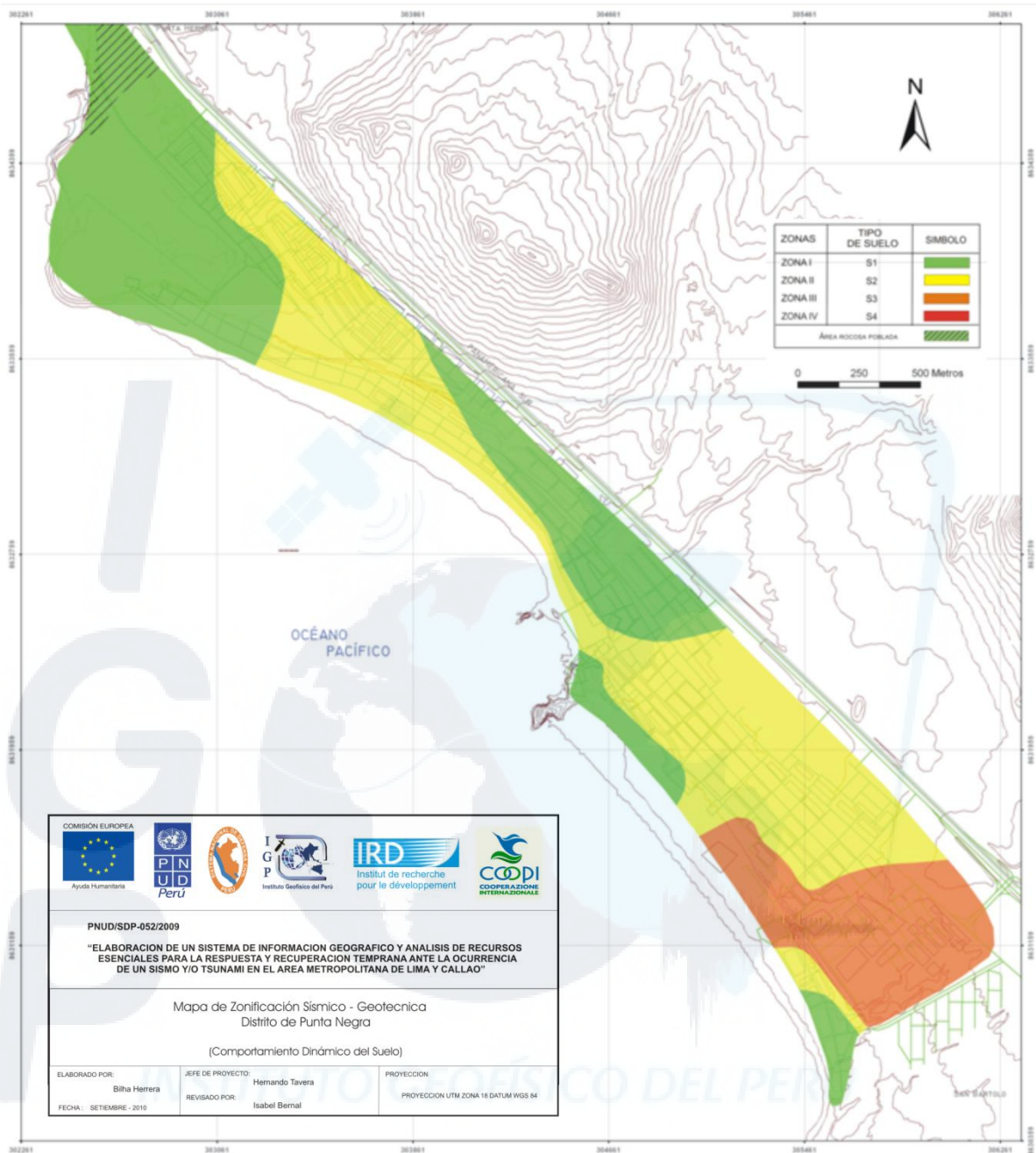
CODIGO DE LA MUESTRA	CAPACIDAD PORTANTE (Kg/cm <sup>2</sup> )
PN-1	6.22
PN-2	8.56
PN-3	4.74
PN-4	4.50
PN-5	6.02
PN-6	4.27
PN-7	6.84

Según estos resultados (tabla anterior), en el Distrito de Punta Negra existen suelos con regulares valores de capacidad portante, excepto el sitio PN-2 que muestra valores mayores a 8.56 kg/cm<sup>2</sup> y que califica al suelo con un buen valor de capacidad de carga, este sitio se ubica en la parte central del poblado.

#### 10.1.6.- Zonificación Sísmico-Geotécnica (CDS)

El mapa de zonificación sísmico-geotécnica (CDS) para el Distrito de Punta Negra considera el análisis e interpretación de la información sísmica (vibración ambiental) y geotécnica (7 calicatas). Los resultados obtenidos permiten identificar para este Distrito las siguientes zonas (Figura 16):

**ZONA I:** Esta zona está conformada por afloramientos rocosos conformados de calizas y rocas clásticas e intercaladas con derrames volcánicos, depósitos coluvial-aluvial en los pies de las laderas hasta niveles superficiales, 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 vibración ambiental que varían entre 0.1 y 0.2 s. En esta zona se identifica la presencia de tres áreas donde se concentran periodos de 0.2 s, lo que refleja la irregularidad de estos suelos.



**Figura 16.-** Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica (CDS) para el Distrito de Punta Negra.

**ZONA II:** Esta zona considera áreas de depósitos fluvio-aluvial con potencias que varían entre 3.0 y 10.0 m. Los periodos dominantes del terreno determinados por las mediciones de vibración ambiental en esta

zona varían entre 0.3 y 0.5 s. El 70% del Distrito se encuentra en esta zona. Los periodos predominantes tienden a incrementarse conforme tienden hacia su extremo Sur, lo que indica que estos estratos aumentan progresivamente su potencia.

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 por depósitos marino-aluvial. Los periodos predominantes encontrados en estos suelos varían entre 0.5 y 0.6 s. Esta zona se localiza en el extremo sur del Distrito con predominio de periodos de vibración natural de 0.6 s.



## 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 varía hacia el norte pasando a otra volcánico-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:**

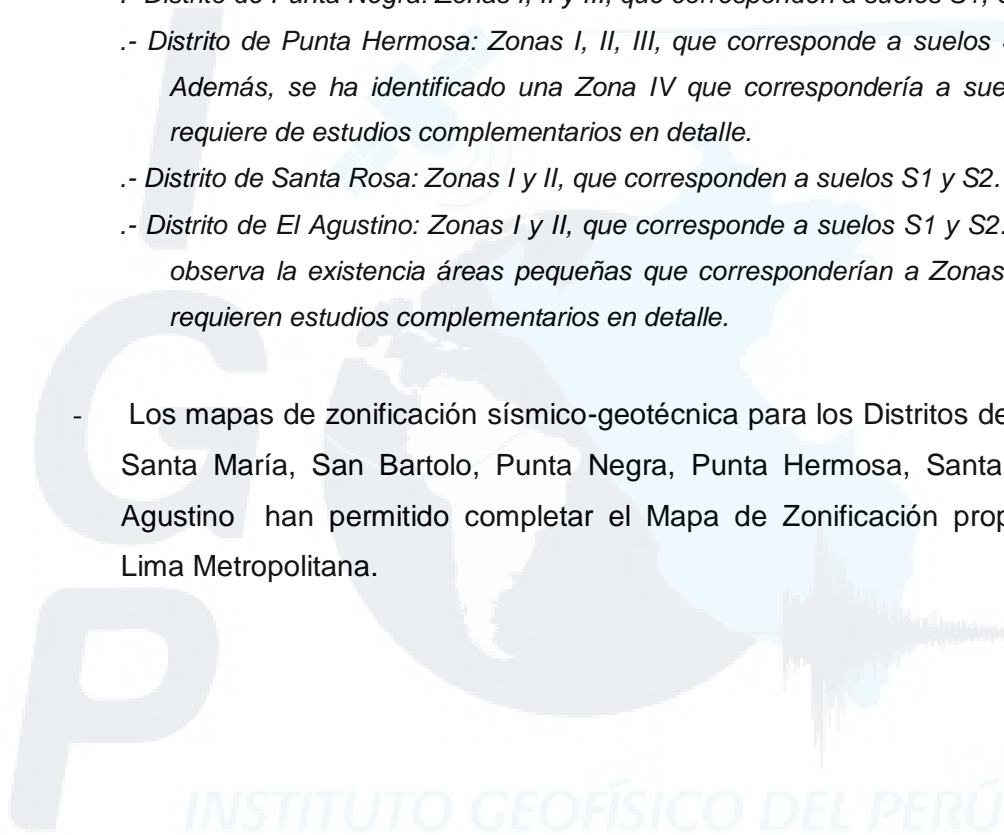
- La recolección de registros de vibración ambiental se realizó de acuerdo a lo planificado y contando, en todo momento, con el apoyo de las autoridades de cada Distrito.
- El análisis de las razones espectrales H/V ha permitido observar gran variedad de periodos dominantes que van desde 0.1 a 0.6 segundos 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.

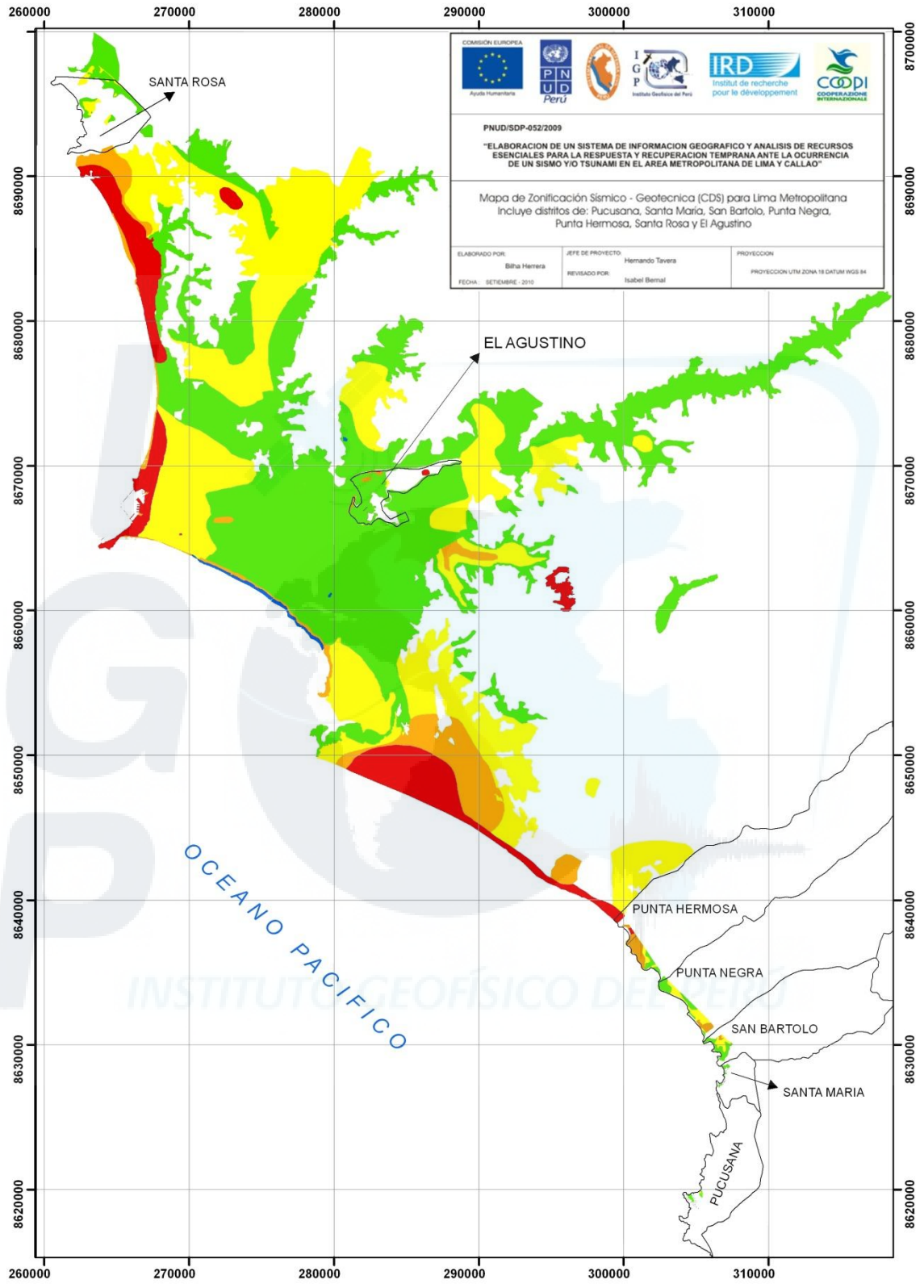
### **Aspectos Geotécnicos:**

- 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  $9 \text{ kg/cm}^2$ ).
- 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  $9 \text{ kg/cm}^2$ ; Zona II, Suelos GP, SW y SM, con capacidades portantes entre 4 a  $9 \text{ kg/cm}^2$ ; Zona III, Suelos SP con capacidades portantes menores a  $4 \text{ kg/cm}^2$  y zona IV, Suelo ML, con capacidades menores a  $4 \text{ kg/cm}^2$  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.





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.
- APESSEG (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 Earthquakes in Peru, *BSSA*, Vol.80, N° 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 7<sup>th</sup> 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 Nacional 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 N° 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.