



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 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

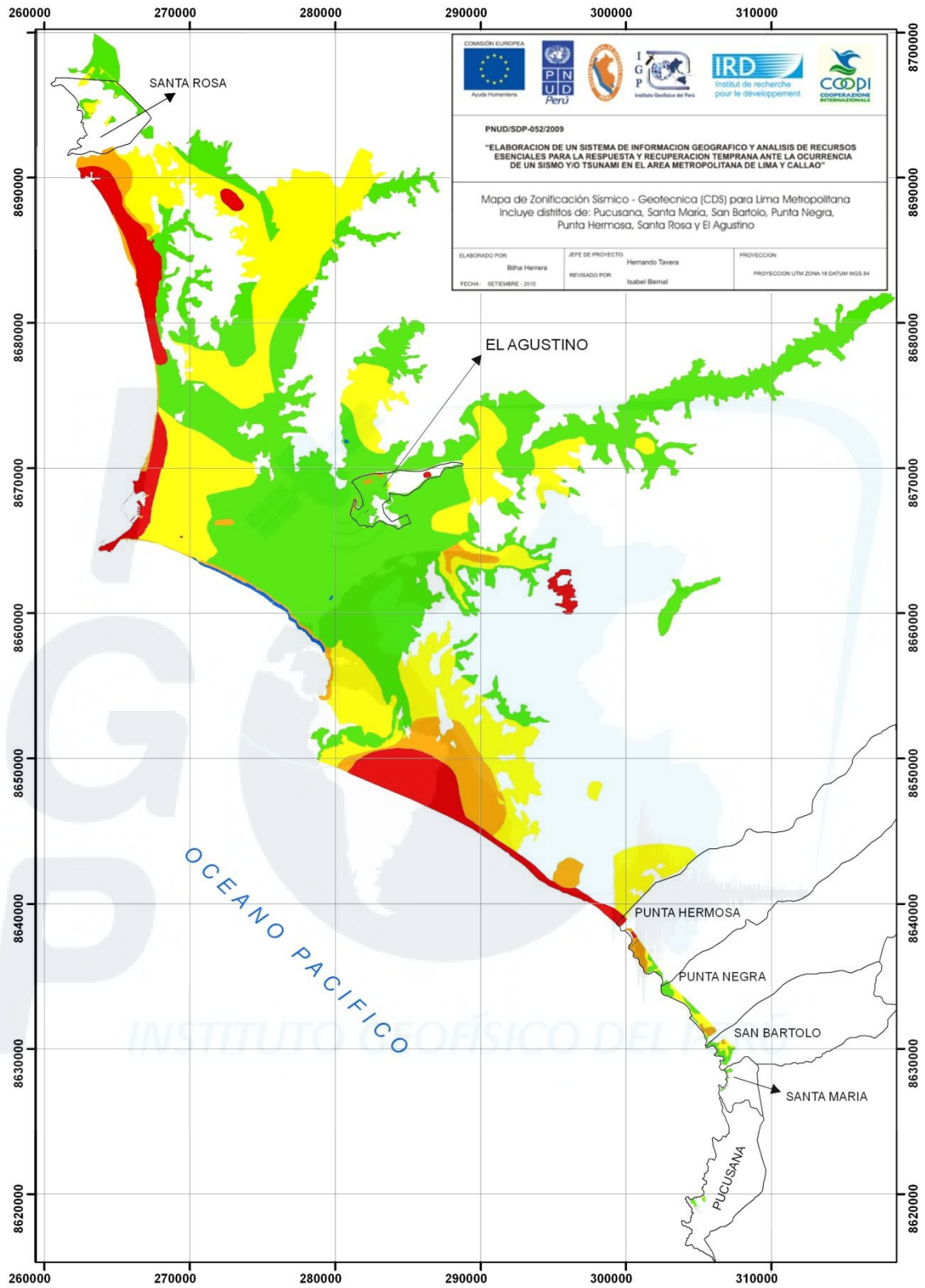
RESUMEN EJECUTIVO

*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
9.- METODOLOGIA EN GEOTECNIA.....	27
10.- ZONIFICACION SISMICO-GEOTECNICA	29
10.1.- DISTRITO DE SANTA MARIA.....	30
10.1.1.- Zona de Estudio	30
10.1.3.- Geomorfología Local	34
10.1.4.- Comportamiento Dinámico del Suelo.....	35
10.1.4.1.- <i>Recolección de Datos</i>	35
10.1.4.2.- <i>Distribución de Periodos Dominantes</i>	37
10.1.5.- Aspectos Geotécnicos	44
10.1.6.- Zonificación Sísmico-Geotécnica	46
CONCLUSIONES.....	48
BIBLIOGRAFIA	52

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.

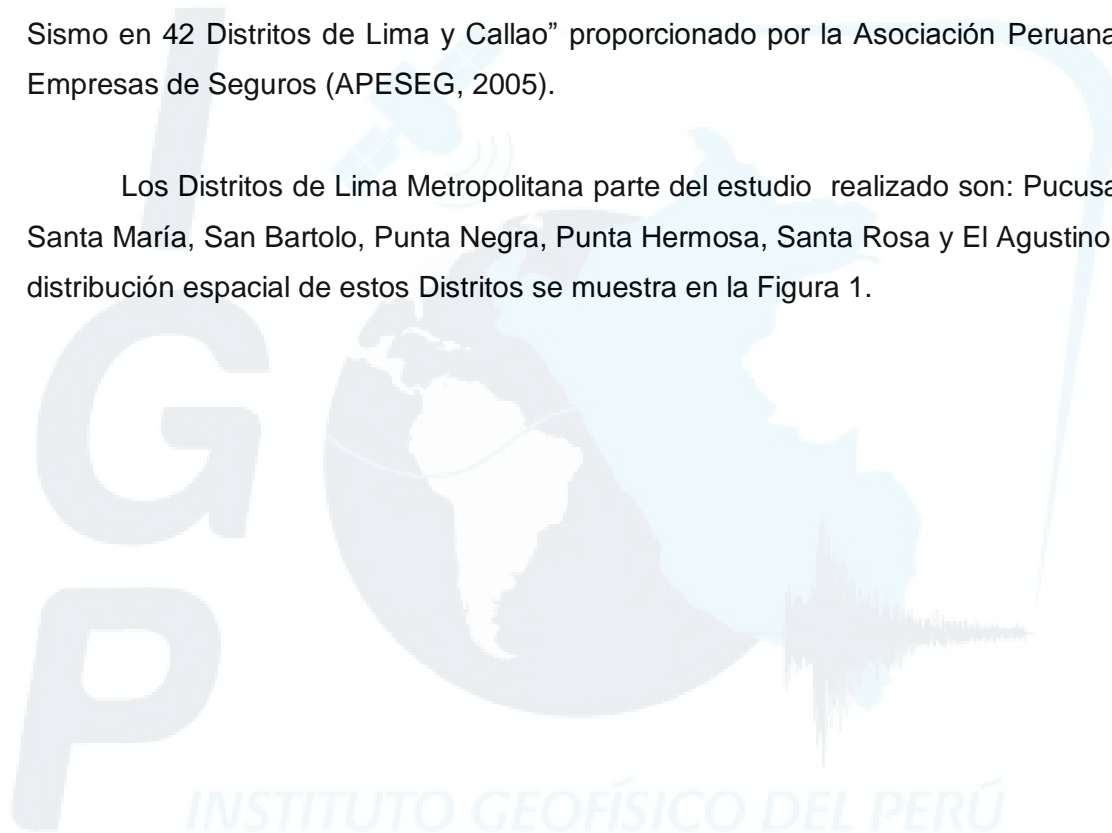


Figura 1.- Distribución espacial de los siete (7) Distritos considerados en el estudio

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/cm²).*
- *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/cm²), 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 S₁ y S₃.

.- 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 S₃.



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.



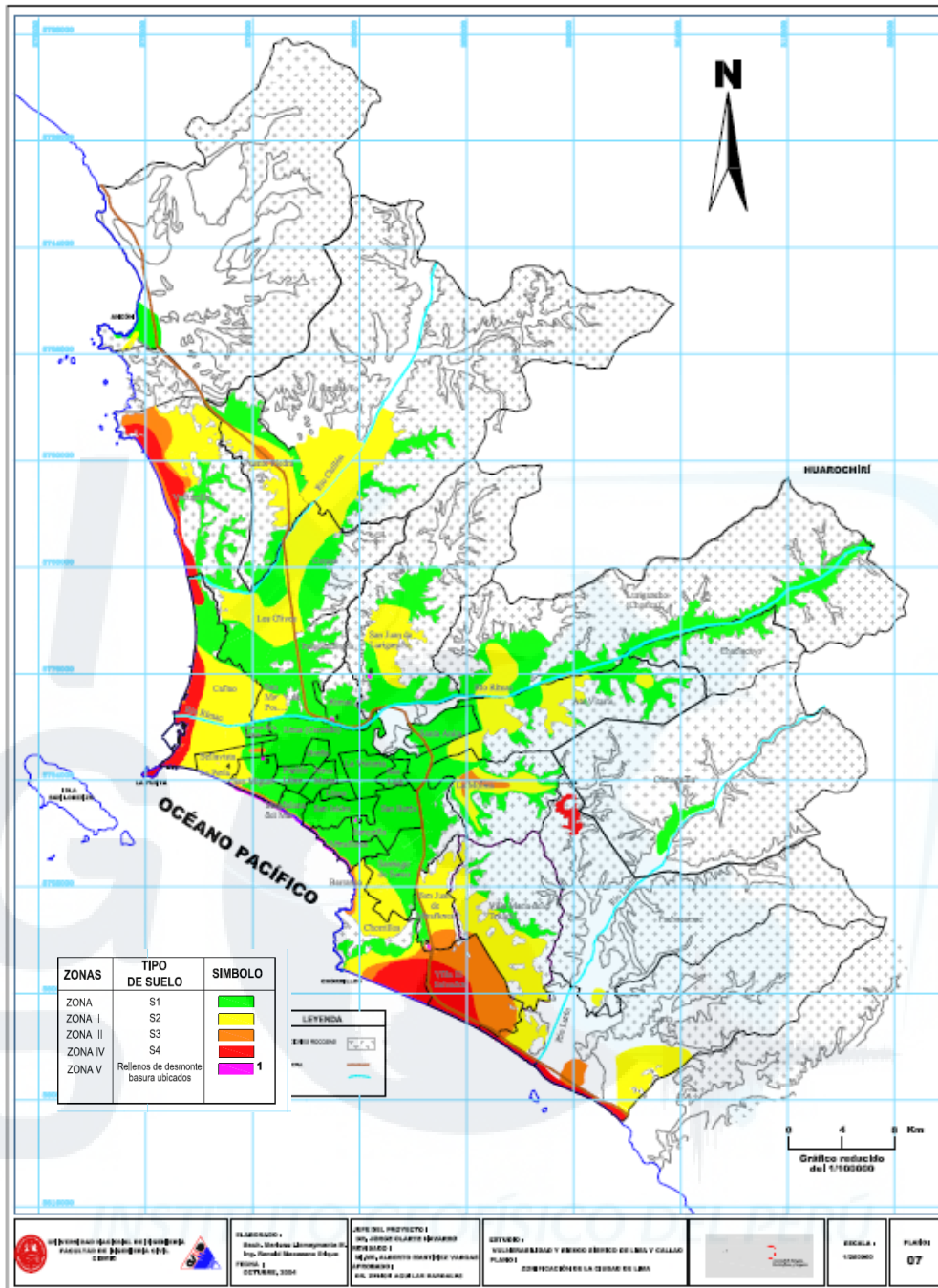


Figura 2.- Mapa de Zonificación de tipos de suelos para Lima Metropolitana elaborado por el CISMID para la APESEG (2005).

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.

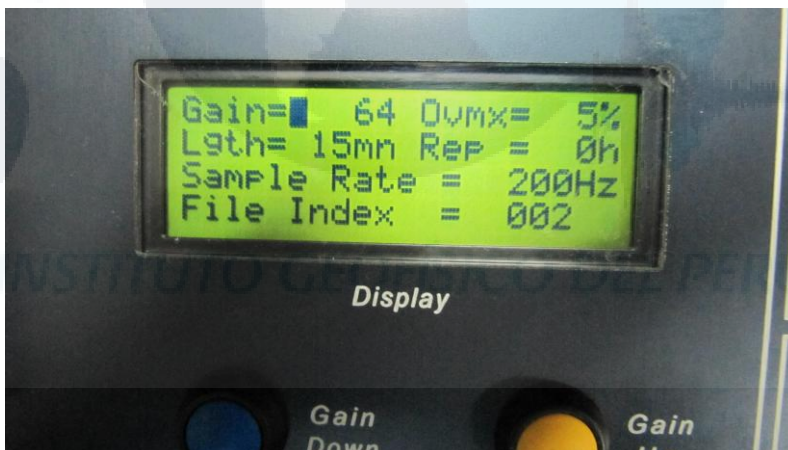
La data obtenida en cada punto fue transferida a una estación de trabajo para el cambio de formatos respectivos y corrección por línea base (offset) sin la utilización de ningún tipo de filtro a fin de no alterar la señal original. Asimismo, las incidencias y características instrumentales consideradas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

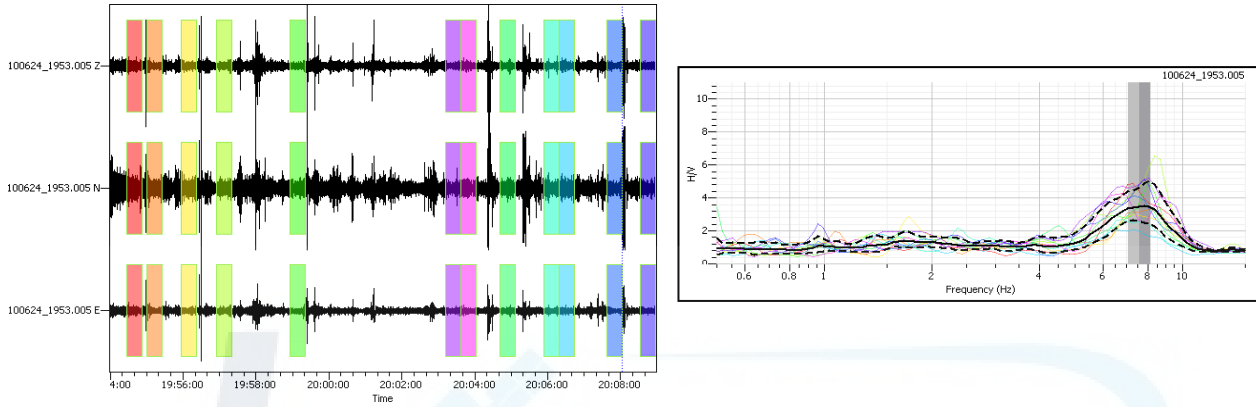
Para caracterizar el comportamiento dinámico del suelo en cada uno de los siete Distritos considerados en este estudio, se han utilizados registros de vibración ambiental (micro trepidaciones) producidos tanto por fuentes naturales como artificiales y la técnica de razones espectrales (H/V) propuesta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

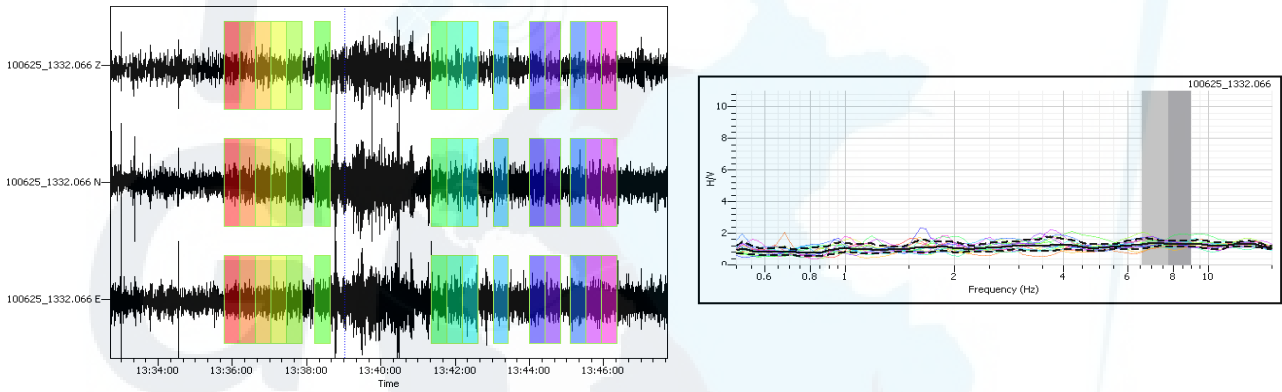


Figura 5.- Ejemplo de selección de ventanas de registro de vibración ambiental (rectángulos de colores) en sus tres componentes con sus respectivos gráficos de razones espectrales H/V . **a)** registros y razones H/V donde se identifican frecuencias predominantes, **b)** Registros en los cuales no resalta 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.



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.



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

DISTRITO DE SANTA MARIA

10.1.- DISTRITO DE SANTA MARIA

10.1.1.- Zona de Estudio

El Distrito de Santa María del Mar presenta una superficie total de 9.81 kilómetros cuadrados y limita por el norte con el Distrito de San Bartolo, al este con la Provincia de Cañete, al sur con el Distrito de Pucusana y al oeste con el Océano Pacífico (Figura 6).

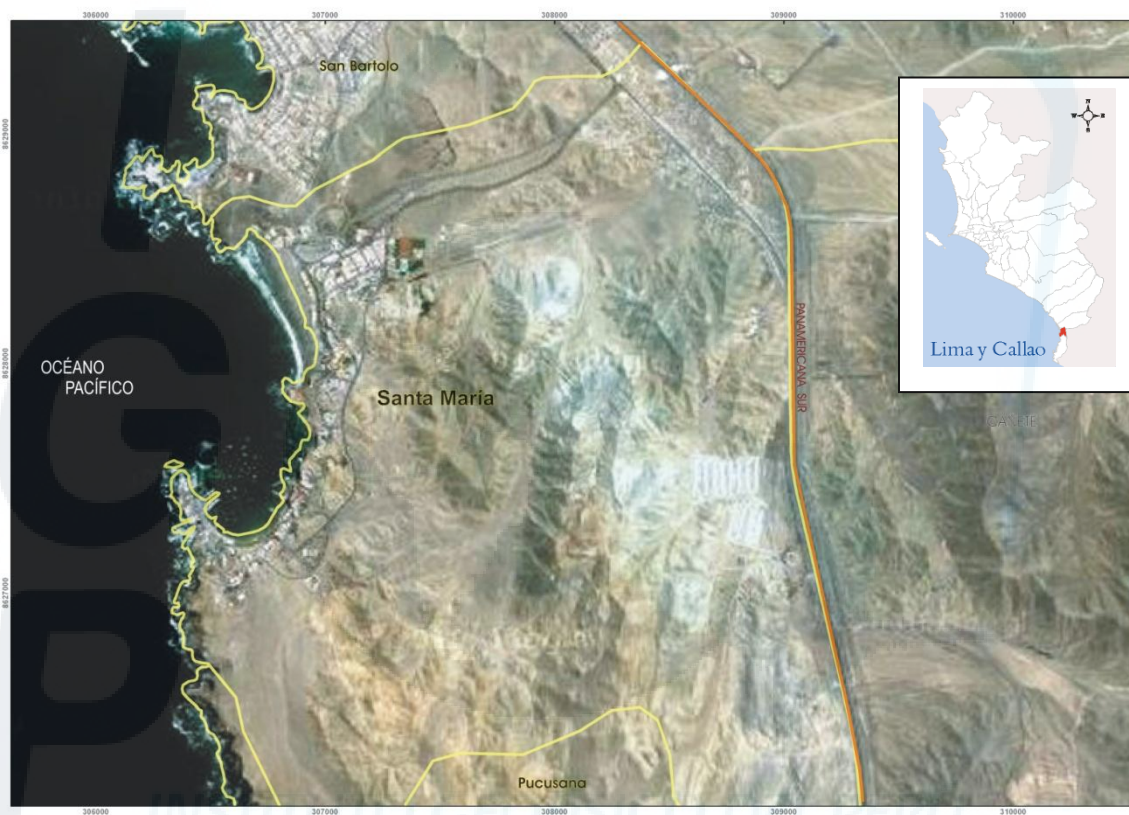


Figura 6.- Mapa de ubicación y límites del Distrito de Santa María.

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (2007), el Distrito tiene una población cercana a los 264 habitantes; sin embargo, ésta aumenta considerablemente durante los meses de verano. Según la distribución de las viviendas, este Distrito muestra un ordenamiento poblacional adecuado, emplazado en el borde litoral costero y rodeado de colinas (Figura 7). El borde del litoral está conformado por acantilados formados debido a la intensa acción erosiva del oleaje

marino. En esta área, en forma de bahía, se emplaza el Distrito de Santa María.



Figura 7.- *Vistas del Distrito de Santa María en las cuales se observa edificaciones construidas en los acantilados y/o bordes costeros, algunas rodeados de cerros y lomeríos.*

10.1.2.- Geología Local

Según el mapa geológico del Distrito de Santa María del Mar, en su área afloran secuencias sedimentarias del terciario inferior, intrusivas del Terciario Superior y varios depósitos cuaternarios (Figura 8)

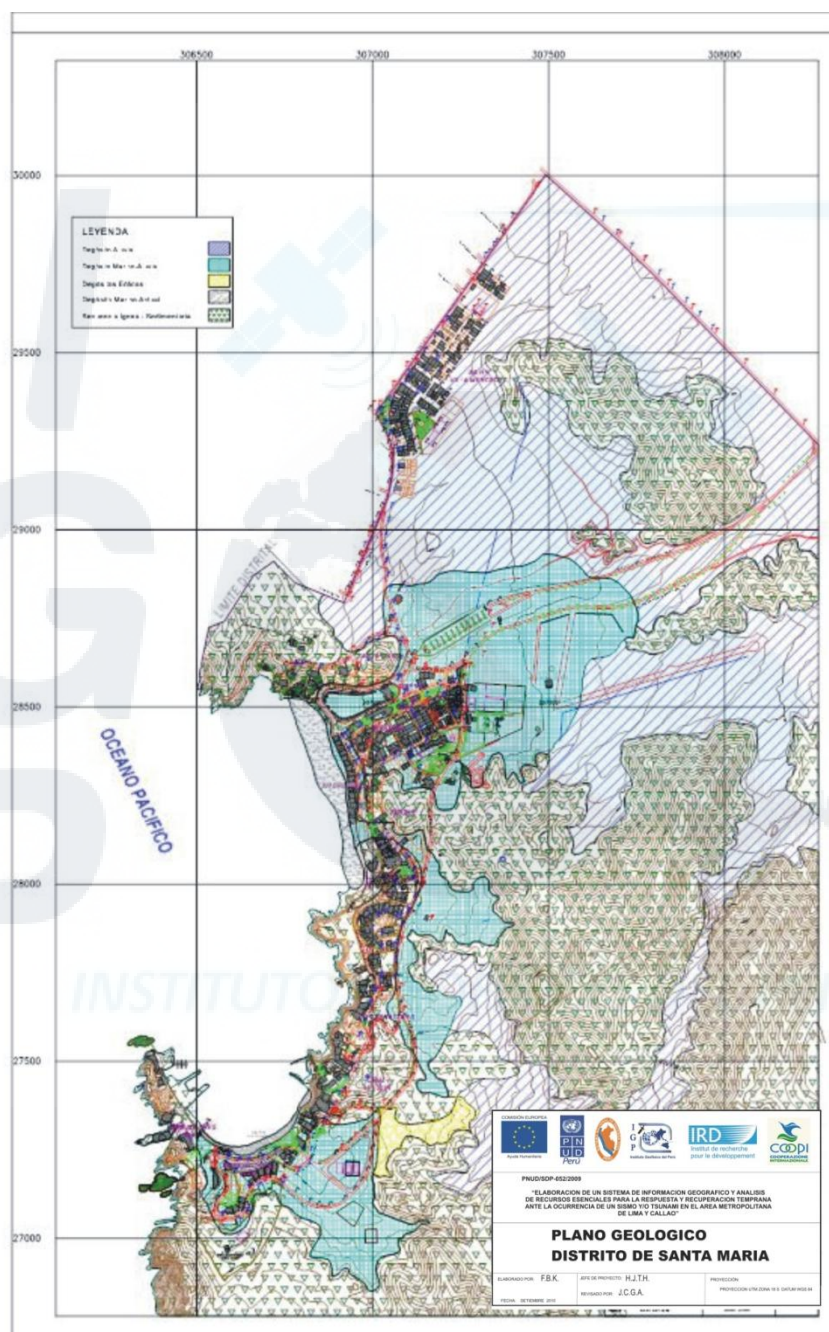


Figura 8.- Mapa geológico para el Distrito de Santa María.

Las secuencias sedimentarias corresponden a la Fm. Pamplona compuestas de lutitas y calizas intercaladas con niveles volcánicos aflorando en todas las colinas que rodean el Distrito. Las rocas ígneas de composición diorítica afloran en las colinas localizadas en el extremo sur del Distrito (Figura 9).

Los depósitos cuaternarios rellenan las zonas de quebradas que atraviesan el Distrito y es donde se asientan las principales edificaciones. Estos depósitos están compuestos por materiales marinos, aluviales y eólicos



Figura 9.- Borde litoral del Distrito de Santa María. Obsérvese al fondo la presencia de afloramientos sedimentarios-ígneos

10.1.3.- Geomorfología Local

En el Distrito las unidades geomorfológicas existentes son: la zona de colinas conformadas por rocas ígneas sedimentarias que rodean el Distrito y el borde litoral conformado por materiales marinos y aluviales (Figura 10).

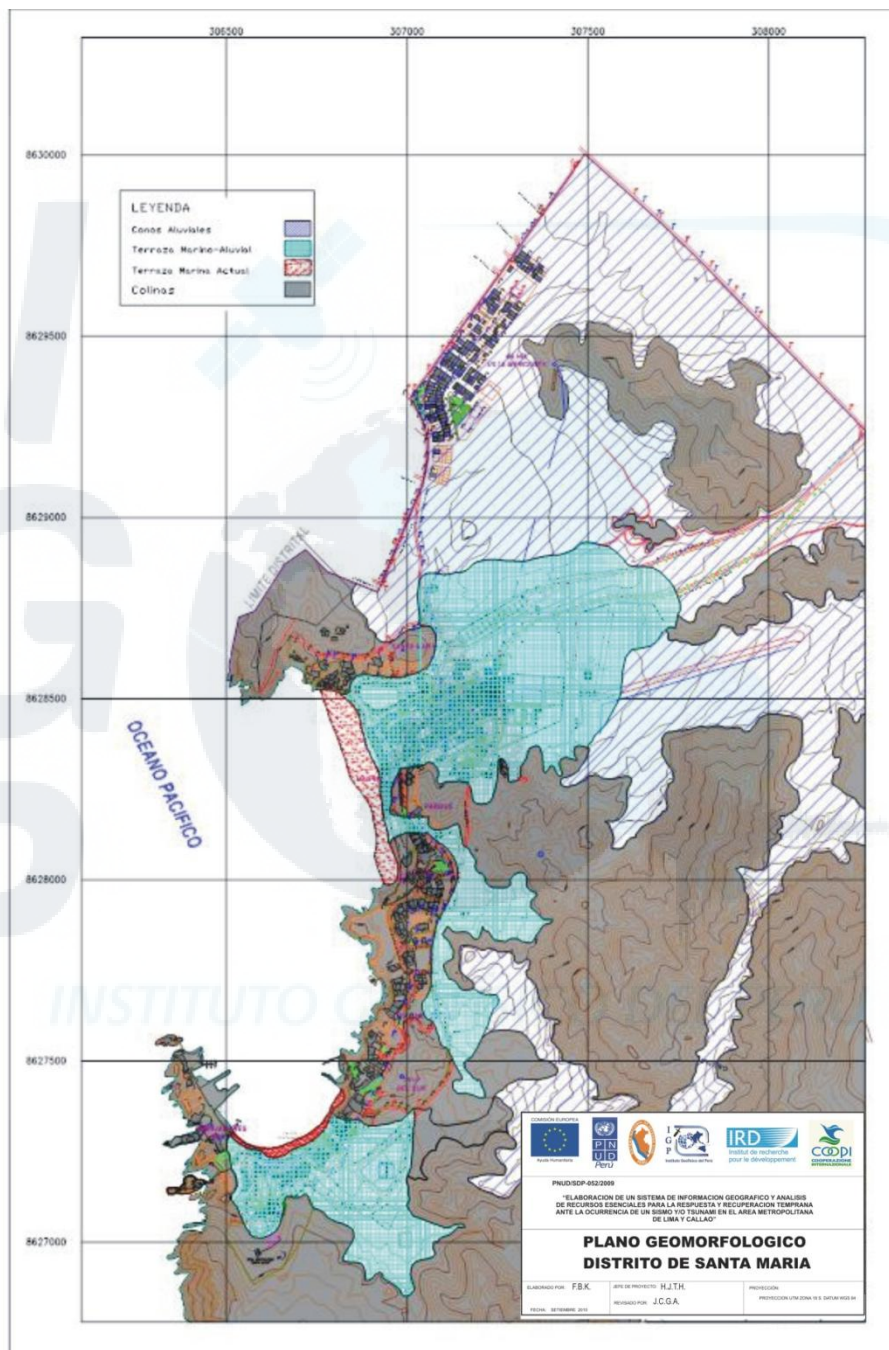


Figura 10.- Mapa geomorfológico para el Distrito de Santa María.

Los materiales marino aluviales se presentan a modo de terrazas muy bien diferenciadas en su emplazamiento dentro de las quebradas para el caso de los aluviales y el borde litoral para las marinas. Una última unidad son los conos aluviales que se extienden hacia el extremo Este del Distrito, los mismos que están conformados por gravas arenosas (Figura 11).



Figura 11.- Edificaciones emplazadas sobre la planicie aluvial.

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 presentes en el Distrito de Santa María, se procedió a dividirlo en cuatro áreas, tal como se observa en la Figura 12. Estas áreas fueron delimitadas teniendo en cuenta las características geológicas, geomorfológicas y demográficas. La selección y densidad de puntos de medida se realizó de la siguiente manera:

a.) Los puntos de toma de datos de vibración ambiental fueron seleccionados según el mapa catastral de Santa María, llegándose a considerar un total de 70 puntos de medición. De acuerdo a la Figura 12, del total de puntos; 25 se encuentran en el Área-1; 20 en el Área-2; 8 en el Área-3 y 17 puntos en el Área-4 (zona de expansión urbana frontera con San Bartolo). El mayor número de puntos fueron distribuidos sobre el Área-1,2 debido a que en ella se concentra un gran número de edificaciones y por ende, mayor número de pobladores.

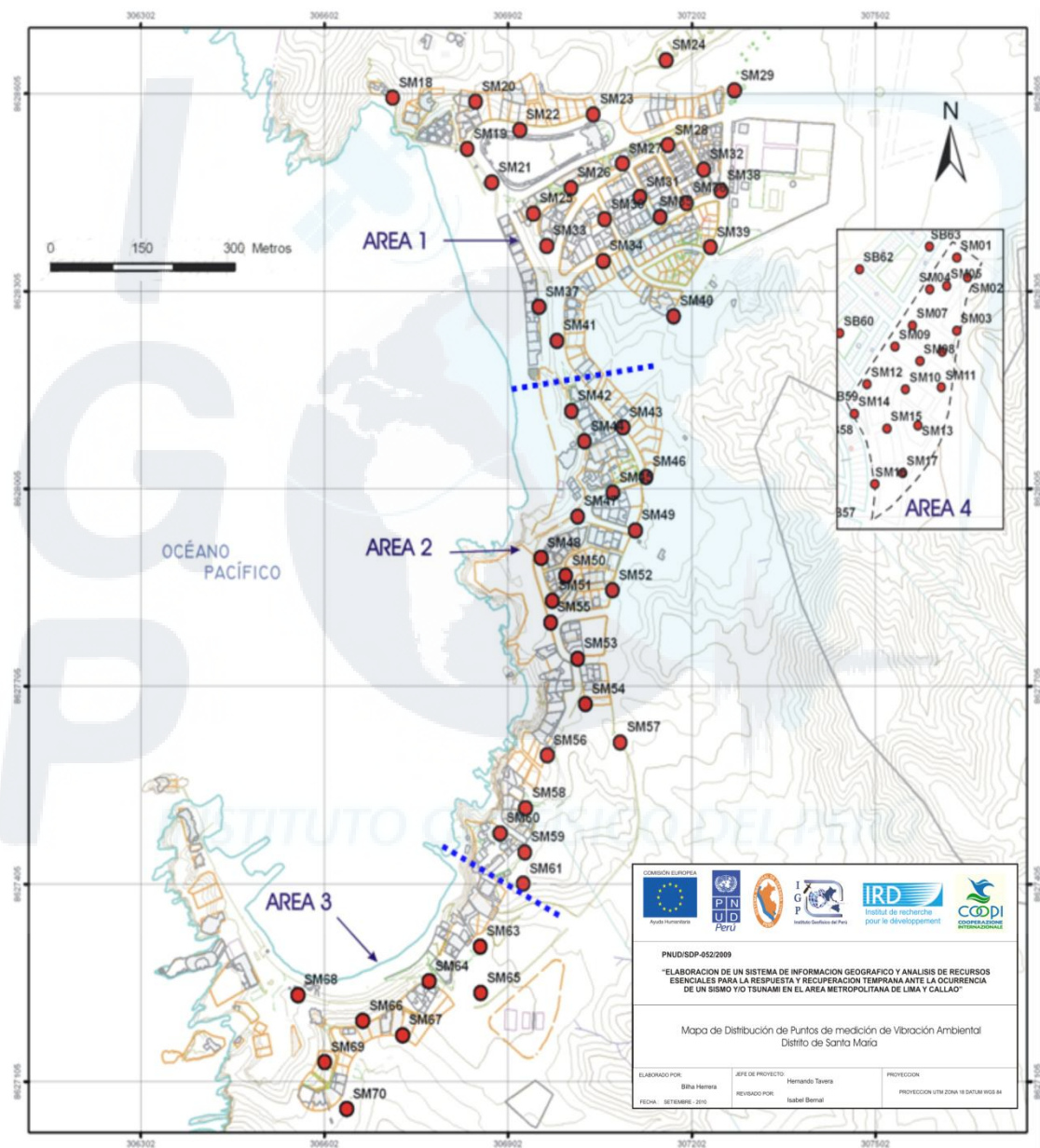


Figura 12.- Distribución de puntos donde se tomaron datos de vibración ambiental en el Distrito de Santa María. Para las Áreas delimitadas con líneas discontinuas, ver texto. La línea de color azul indica el límite con el Distrito de San Bartolo.

b.) Durante los días 28 y 29 de junio del 2010 se tomaron datos en 70 puntos, evitando en todo momento ser perturbado por el paso de peatones y tránsito vehicular, siendo necesario en algunas oportunidades tomar un mayor número de datos. En cada punto se anotó la hora del registro, 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 Santa María se han tomado registros de vibración ambiental en 70 puntos de observación. El análisis y evaluación de esta información permitió determinar el periodo dominante de vibración natural del terreno y en algunos casos el factor de amplificación sísmica, parámetros que definen el comportamiento dinámico del terreno durante un evento sísmico (Figura 13).

En la Figura 13 se presenta ejemplos de las razones espectrales obtenidas para las diferentes áreas definidas en este estudio: SM-26, SM-30 y SM-32 para el Área-1, SM-45, SM-49 y SM-50 para el Área-2, SM-64, SM-69 y SM-70 para el Área-3, SM-01, SM-08, y SM-14 para el Área-4, y los puntos SM-31, SM-48 y SM-63, son representativos de las zonas circundantes de las diferentes áreas y que se caracterizan por no presentar frecuencias predominantes.

- En las Figuras 13a, c, d se muestran las razones espectrales obtenidas para las Áreas-1, 3, 4, en las cuales resaltan frecuencias predominantes en un rango de 4 a 5Hz, con amplificaciones de al menos 2 veces, y conforme se tiende hacia las laderas, dichos valores disminuyen hasta no mostrar valor alguno, tal como se observa en la Figura 13e.
- La Figura 13b, muestra las razones espectrales para el Área-2, en las cuales se observa que sobresale un rango de frecuencias de 6 a 8 Hz.

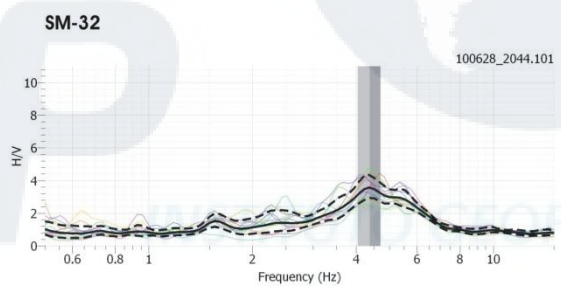
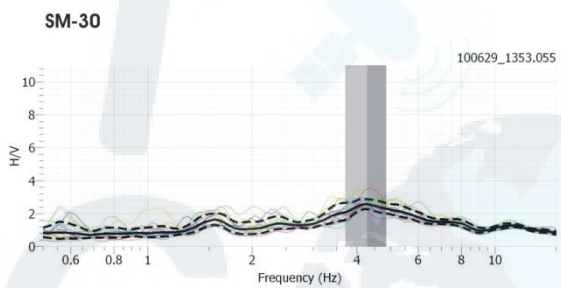
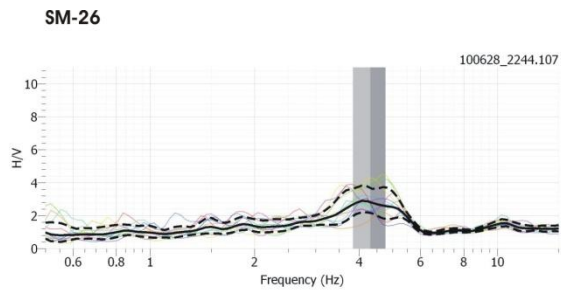


Figura 13a. Ejemplo de gráficas de razones espectrales obtenidas en diferentes puntos del Distrito de Santa María. Los puntos SM-26, SM-30, SM-32 se ubican en el Área-1 donde sobresalen frecuencias de 4 a 5Hz. Las líneas delgadas continuas representan a las razones espectrales obtenidas para cada ventana de observación, la línea gruesa el promedio de estas curvas y las líneas discontinuas, su desviación estándar.

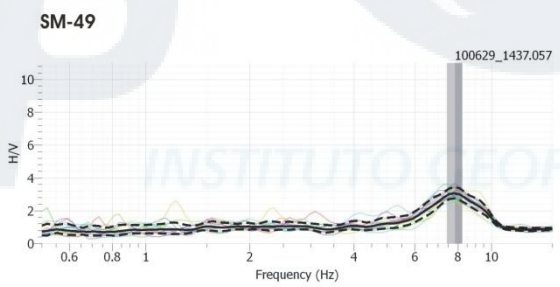
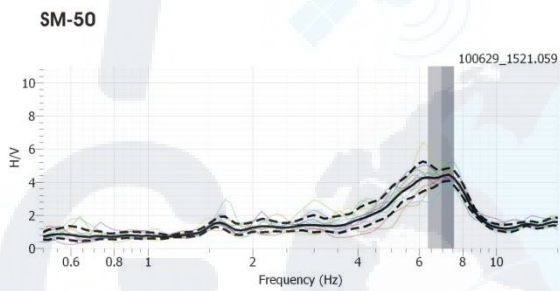
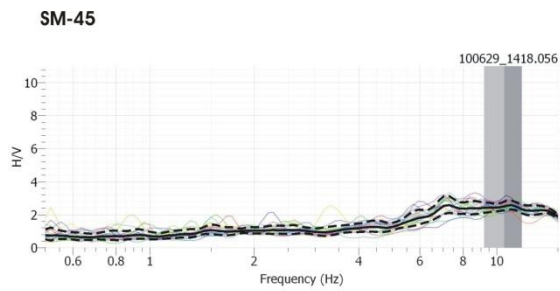


Figura 13b. Ejemplo de gráficas de razones espectrales obtenidas en diferentes puntos del Distrito de Santa María. Los puntos SM-45, SM-49, SM-50 se ubican en el Área-2 donde sobresalen frecuencias de 6 a 8Hz. Otros, ver Figura 13a.

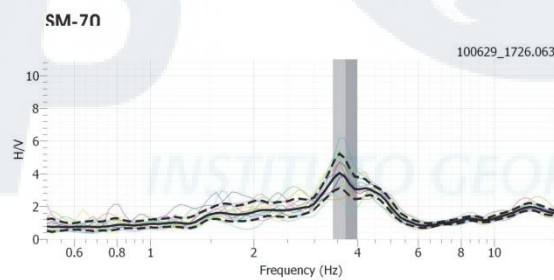
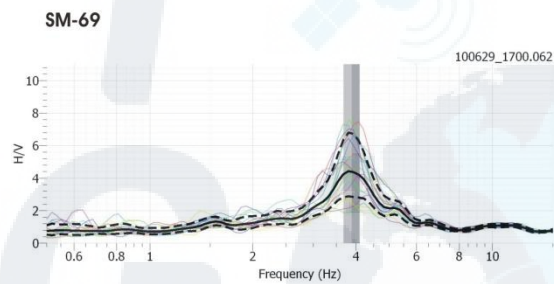
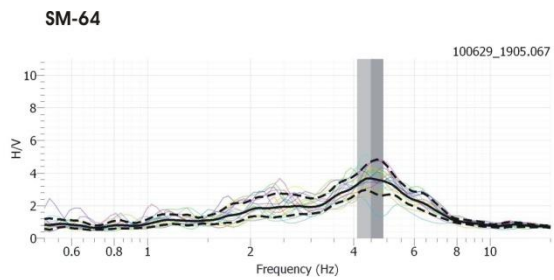


Figura 13c. Ejemplo de gráficas de razones espectrales obtenidas en diferentes puntos del Distrito de Santa María. Los puntos SM-64, SM-69, SM-70 se ubican en el Área-3 donde sobresalen frecuencias de 4 a 5Hz. Otros, ver Figura 13a.

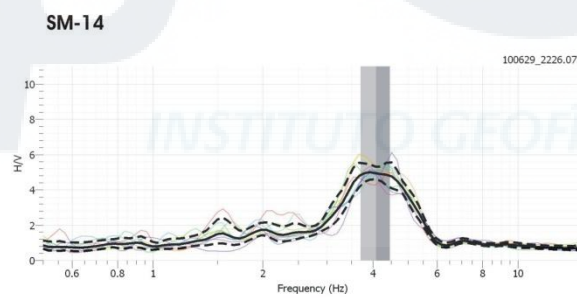
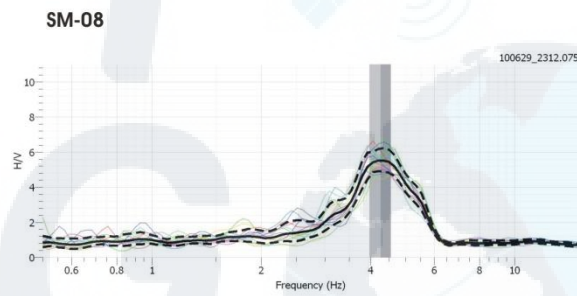
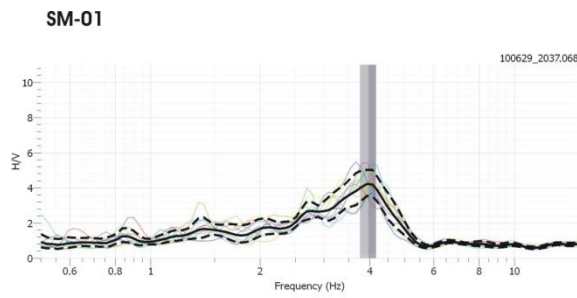


Figura 13d. Ejemplo de gráficas de razones espectrales obtenidas en diferentes puntos del Distrito de Santa María. Los puntos SM-01, SM-08, SM-14 se ubican en el Área-4 donde sobresalen frecuencias de 4 a 5Hz. Otros, ver figura 13a.

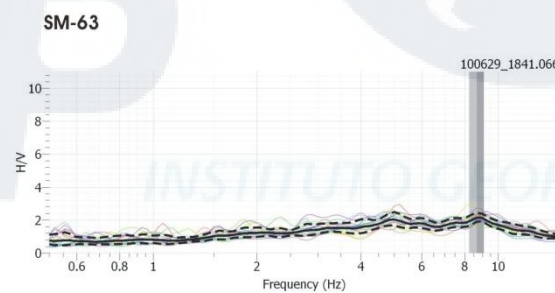
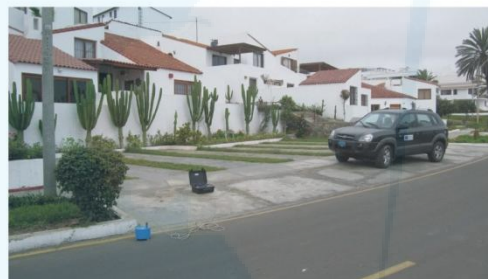
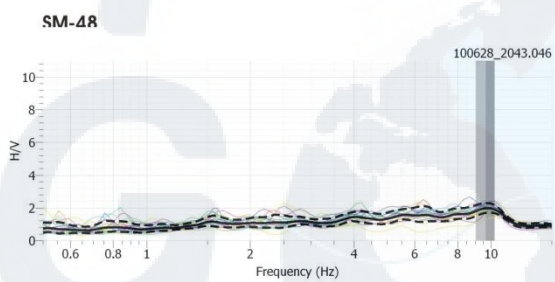
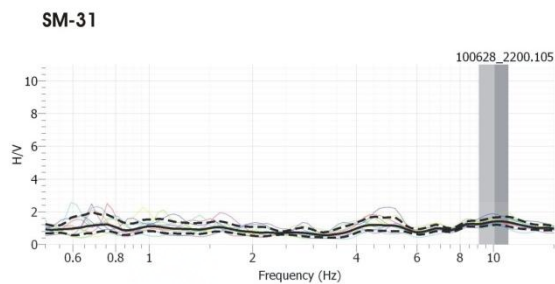


Figura 13e. Ejemplo de gráficas de razones espectrales obtenidas en diferentes puntos del Distrito de Santa María. Los puntos SM-31, SM-48, SM-63 se distribuyen de manera aleatoria alrededor de las áreas antes definidas. Estos puntos se caracterizan por no presentar frecuencias predominantes. Otros, ver Figura 13a.

En la Figura 14 se muestra la distribución espacial de los periodos dominantes obtenidos a partir de las frecuencias predominantes en 70 puntos de observación para el Distrito de Santa María. El análisis de esta información permite definir en el Distrito de Santa María la presencia de tres zonas en las cuales el comportamiento sísmico es similar:

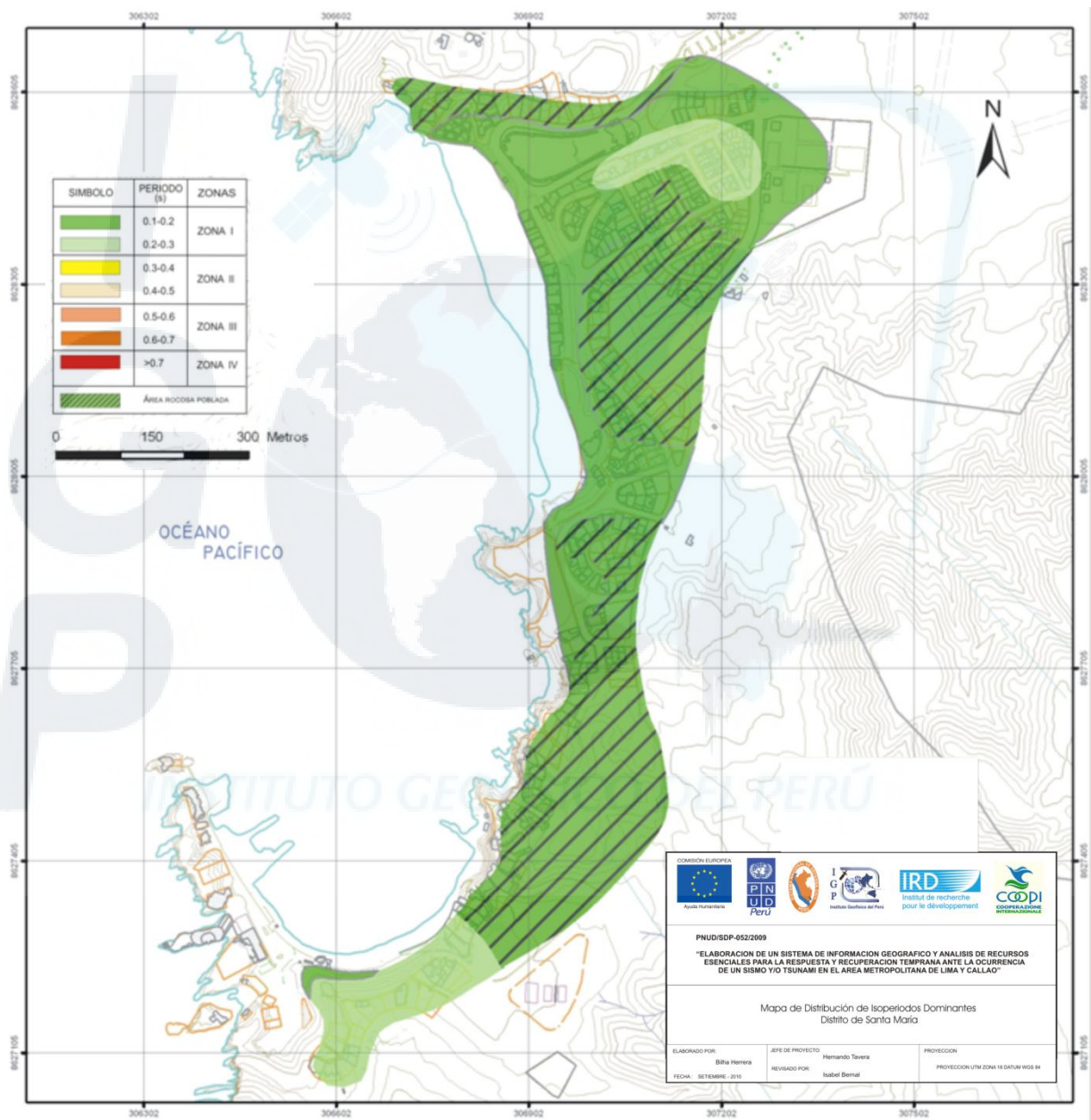


Figura 14. Mapa del Distrito de Santa María con la distribución de periodos dominantes.

-La primera zona considera el área céntrica y baja de este Distrito, así como en la zona ubicada en su extremo norte, frontera con el Distrito de San Bartolo (Áreas-1, 3 y 4). Esta zona se caracteriza por presentar los periodos dominantes más altos (0.2 s) y conforme se tiende a los lomeríos, los valores disminuyen de manera coherente con el espesor de la capa superficial.

-La segunda zona se encuentra en la zona céntrica y norte del Distrito, dentro del Área-2. Esta zona considera un área pequeña con periodos dominantes del orden de 0.1 s.

-En la tercera zona no se logró identificar periodos dominantes, lo cual podría indicar la existencia de suelos estables. En la Figura 14, la zona está representada por áreas achuradas.

10.1.5.- Aspectos Geotécnicos

Las siete (7) calicatas realizadas en el Distrito de Santa María han permitido proponer un mapa con los principales tipos de suelos existentes (Figura 15). Los suelos predominantes son del tipo SC; es decir, suelos arenosos finos con limos y fragmentos rocosos subredondeados, estos se presentan en toda el área urbanizada (sitios SM-1 a SM-6).

Otro tipo de suelo es el denominado ML, que corresponde a arenas finas con algún contenido de limos y que se encuentran próximos al borde litoral (SM-7).

Finalmente, se ha podido reconocer un tercer tipo de suelo denominado GP-GW compuesto por gravas pobremente gradados con material coluvial y fragmentos rocosos.

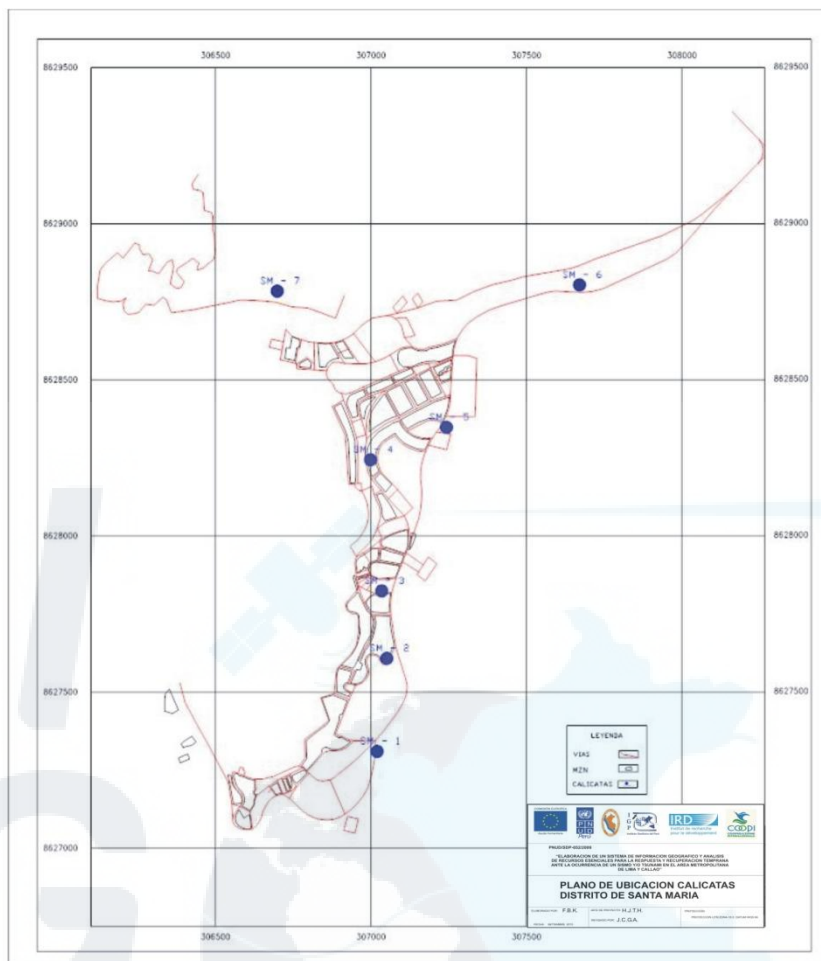


Figura 15.- Mapa de distribución espacial de las calicatas elaboradas en el Distrito de Santa María.

En base al análisis granulométrico y los ensayos de corte directo en las muestras de suelos se ha calculado la capacidad portante de los suelos para cada una de las calicatas y sus resultados se muestran en el siguiente cuadro:

CODIGO DE LA MUESTRA	CAPACIDAD PORTANTE (Kg/cm ²)
SM-1	6.18
SM-2	16.06
SM-3	6.09
SM-4	6.47
SM-5	8.61
SM-6	6.57
SM-7	4.30

Según estos resultados (tabla anterior), los suelos en el Distrito de Santa María presentan variados valores de capacidad portante, de buena a regular resistencia al corte y falla. Para el caso de la muestra SM-2 no ha sido posible realizar el análisis de corte directo debido a sus características físicas, es decir, suelo básicamente aluvial de régimen fluvio-torrencial. En este caso, se ha realizado ensayos de densidad máxima y mínima; además del cálculo de la densidad natural. Estos parámetros han permitido calcular, primero la compacidad relativa del suelo, el ángulo de fricción y en base a estos dos últimos, la capacidad portante. El valor obtenido de 16 kg/cm^2 se considera como buena capacidad portante.

Los sitios SM-1, SM-3, SM-4, SM-5 y SM-6, presentan regular resistencia al corte y falla, pues sus valores varían entre 6 a 8 kg/cm^2 . Finalmente, el sitio SM-7 ubicado en el extremo NO del Distrito, presenta el menor valor de capacidad portante.

10.1.6.- Zonificación Sísmico-Geotécnica

El mapa de zonificación sísmico-geotécnica (CDS) para el Distrito de Santa María 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 (sedimentaria-ígneas) a los cuales subyace suelos gravosos pobremente gradados con material aluvial y marinos y aluviales formando terrazas emplazadas dentro de las quebradas cuyos periodos varían entre 0.1 y 0.2 s.*

En el Distrito de Santa María se observa la concentración de periodos de vibración de 0.2 s en el extremo norte y sur del área del Distrito, el primero rodeado con periodos de 0.1s., lo cuales disminuyen rápidamente en amplitud conforme se tiende a los lomeríos Del mismo modo, para un 40% del área sobre la cual se encuentra el Distrito, no se ha identificado periodos dominantes, lo cual sugiere que el suelo es estable (área achurada).

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

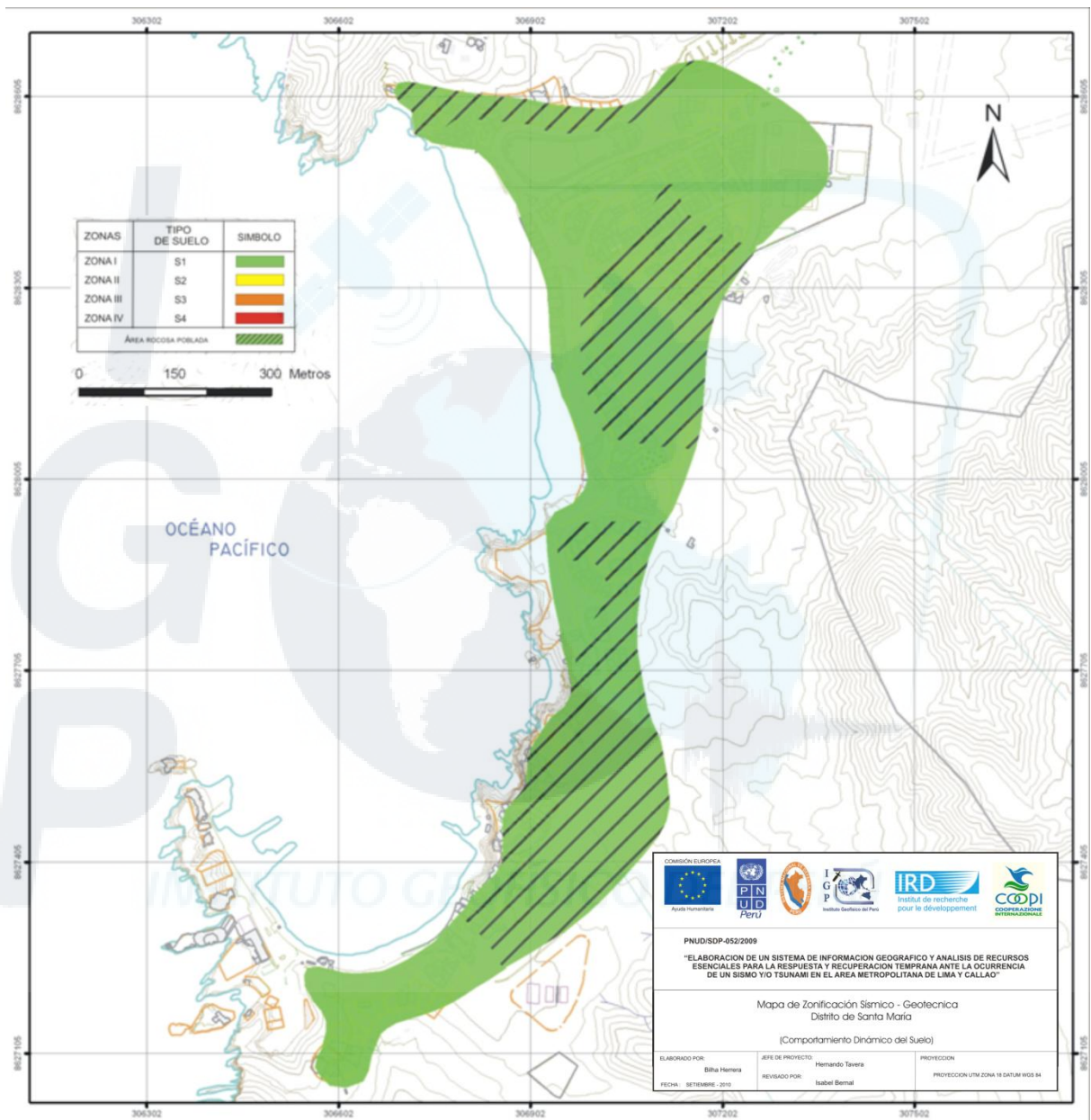


Figura 16.-. Mapa de Zonificación Sísmico-Geotécnica para el Distrito de Santa María.

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.

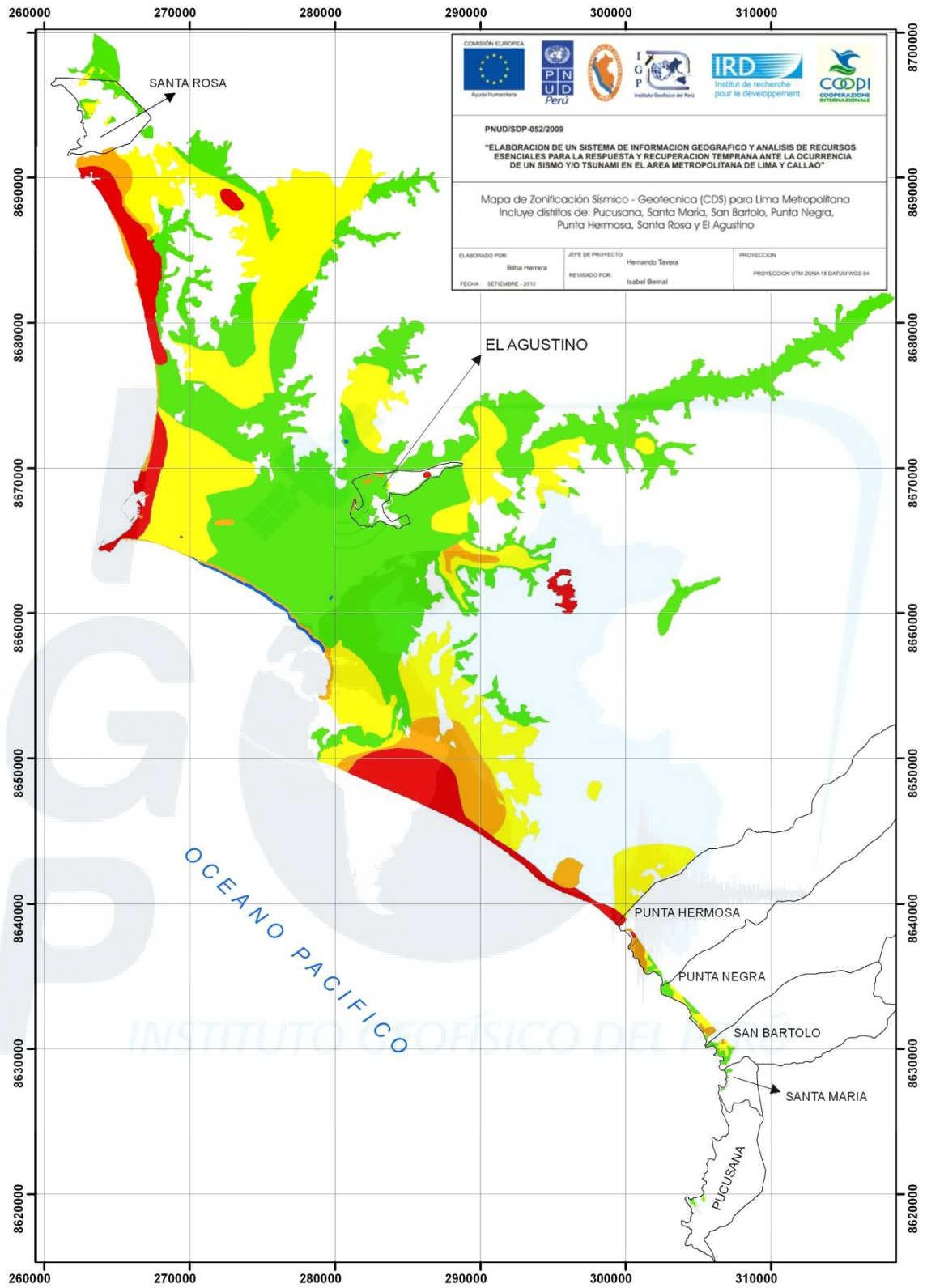
Aspectos Geotécnicos:

- 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 kg/cm²).
- 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/cm²; Zona II, Suelos GP, SW y SM, con capacidades portantes entre 4 a 9 kg/cm²; Zona III, Suelos SP con capacidades portantes menores a 4 kg/cm² 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.



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 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 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.