

COMISIÓN EUROPEA



Ayuda Humanitaria



**Fortalecimiento de Capacidades de los Comités de Defensa Civil en Conocimiento del Riesgo y Formulación de Planes de Operaciones de Emergencia ante Sismos y/o Tsunamis en los Distritos del Callao, Cercado de Lima – Rímac y Villa María del Triunfo  
PNUD/SDP-049/2009**

## **ÁMBITO 2**

**CENTRO HISTORICO DE LIMA (CERCADO DE LIMA Y EL RIMAC)**

### **ZONIFICACION SISMICO-GEOTECNICA PARA EL CENTRO HISTORICO DE LIMA**

**(Comportamiento Dinámico del Suelo)**

Noviembre - 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 EL CENTRO HISTORICO DE LIMA (Comportamiento Dinámico del Suelo)**

Participantes:

*Hernando Tavera*

*Isabel Bernal*

*Juan Carlos Gómez*

Noviembre - 2010

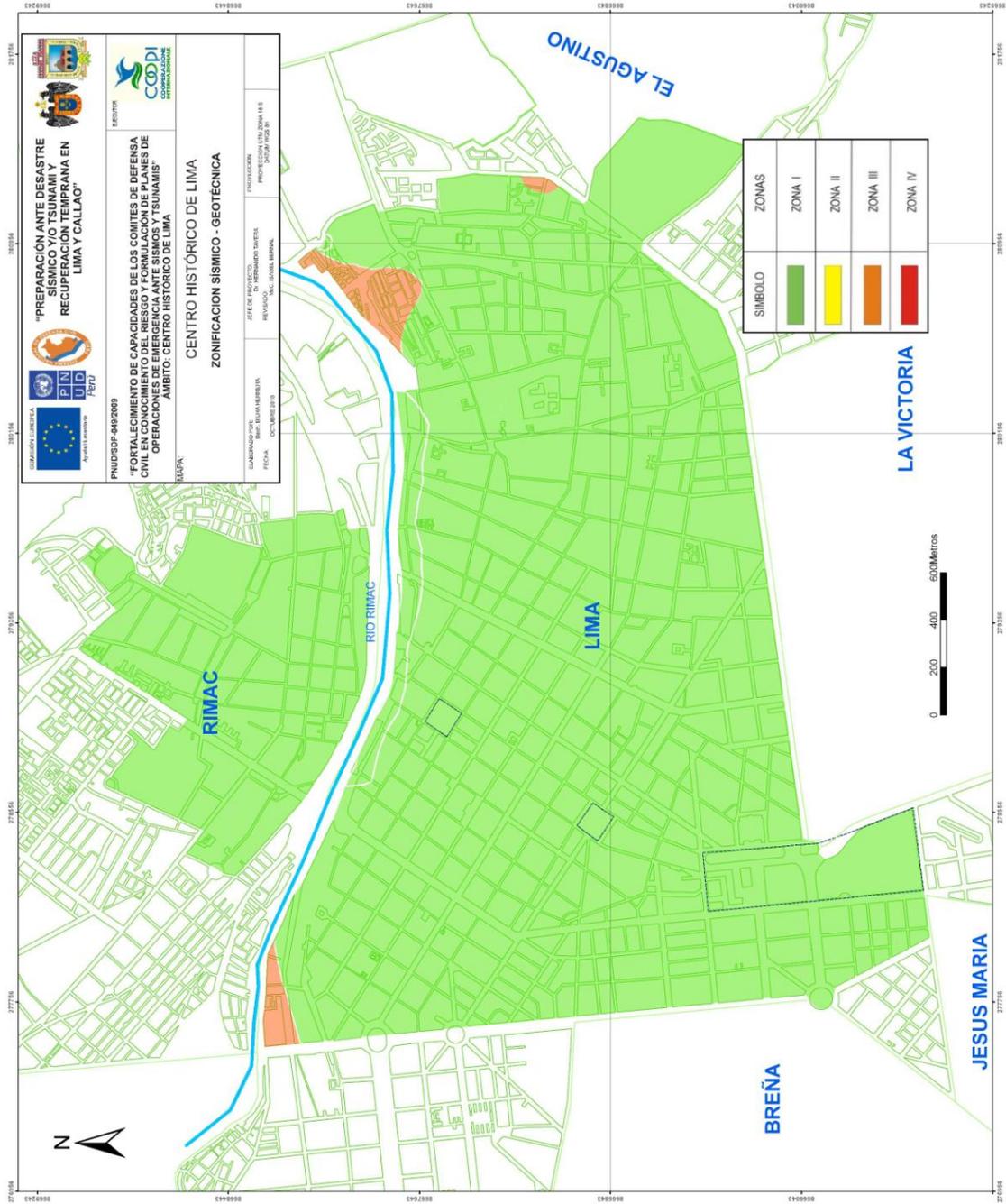
## **RESUMEN EJECUTIVO**

*El estudio de Zonificación Sísmico-Geotécnica para el Centro Histórico de Lima (Cercado de Lima y Rímac) se ha realizado 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 geotécnico considera los análisis granulométricos, límites de elasticidad, contenido de humedad y corte directo.*

*El estudio tiene como principales objetivos el determinar las frecuencias y periodos dominantes, y 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 es un mapa de Zonificación Sísmico-Geotécnica (CDS) para el Centro Histórico de Lima, comprendido entre el Cercado de Lima y El Rímac (ver figura).*

*Los resultados obtenidos han permitido identificar, según el procedimiento establecido en APESEG (2005), la identificación de dos(2) zonas sísmicas-geotécnicas que corresponden a suelos S1 y S3. Esta clasificación está considerada en la Norma E-030 (2003).*

*El mapa de zonificación sísmico-geotécnica (CDS) para el Centro Histórico de Lima (Cercado de Lima y Rímac), ha permitido evaluar con mayor detalle la calidad de los suelos presentes en dicha área.*



Mapa de Zonificación Sísmico-Geotécnica (CDS): Centro Histórico de Lima.

## INDICE

RESUMEN EJECUTIVO

1.- INTRODUCCION

2.- OBJETIVOS

3. ANTECEDENTES

4. CONDICIONES LOCALES DE SITIO

5. CONDICIONES MECANICAS-DINAMICAS DEL SUELO: NORMA E-030

6.- DISTRIBUCION DE SUELOS

7.- INSTRUMENTACION Y DATOS

8.- METODOLOGIA EN SISMICA – REGISTROS DE VIBRACION AMBIENTAL

9.- METODOLOGIA EN GEOTECNIA

10.- ZONIFICACION SISMICO-GEOTECNICA – CENTRO HISTORICO DE LIMA

10.1.- Zona de Estudio

10.2.- Geología Local

10.3.- Geomorfología Local

10.4.- Comportamiento Dinámico del Suelo

10.4.1.- Recolección de Datos

10.4.2.- Distribución de Periodos Dominantes

10.5.- Aspectos Geotécnicos

10.6.- Zonificación Sísmico – Geotecnica (CDS)

## CONCLUSIONES

## BIBLIOGRAFIA

## 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 - Geotecnia

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 - Sísmica

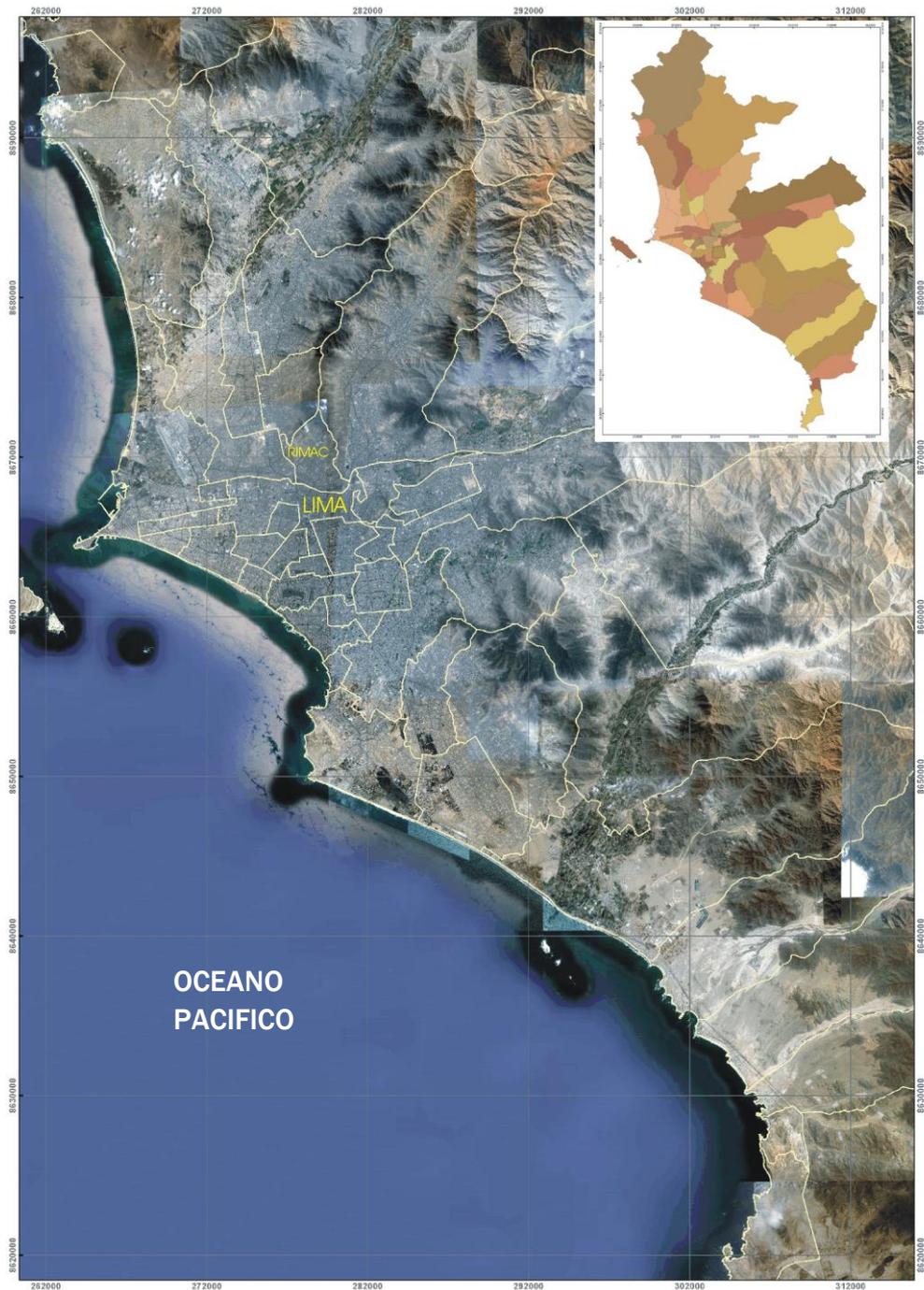
ANEXO 8: Mapas sísmicos: períodos dominantes, amplificación máxima  
relativa y zonificación sísmica – geotécnica (CDS)

## 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 con la ocurrencia continua, a través del tiempo, de sismos de gran magnitud e intensidad. Estos sismos han producido en dichas zonas y en reiteradas ocasiones, daños materiales y pérdidas de vidas humanas. La superficie de fricción existente entre las placas de Nazca y Sudamericana, debido al proceso de convergencia que se desarrolla entre ambas, es la principal fuente que genera estos sismos. La recopilación detallada de los sismos ocurridos en esta área, desde el año 1500, puede ser consultada en detalle en Silgado (1978) y Dorbath et al (1990).

Según estas fuentes, los sismos, históricos habrían alcanzado magnitudes de hasta 9.0Mw, como el ocurrido en Octubre de 1746, mientras que sismos recientes presentaron magnitudes de hasta 8.0Mw, tal es el caso de los sismos 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 efectos de estos sismos se han incrementando debido principalmente a la antigüedad y calidad de las construcciones 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 este informe se presentan los resultados obtenidos del estudio detallado de Zonificación Sísmico-Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo - CDS) realizado en el Centro Histórico de Lima (Cercado de Lima y El Rímac) 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.-.** Ubicación geográfica del Centro Histórico de Lima (Cercado de Lima y Rímac) en el borde Occidental de la región central del Perú

## **2.- OBJETIVO**

Este informe tiene como objetivo principal, presentar los resultados del estudio de Zonificación Sísmico-Geotécnica (comportamiento dinámico del suelo – CDS) realizado para el Centro Histórico de Lima, el mismo que comprende parte de El Cercado de Lima y Rímac, utilizando registros de vibración ambiental, aplicando la técnica de razones espectrales (H/V), y estudios de geotecnia mediante el análisis de suelos en laboratorio. 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).

La ubicación del Centro Histórico de Lima, dentro de la ciudad de Lima Metropolitana, se muestra en la Figura 1.

### 3. ANTECEDENTES

La historia ha mostrado para el Centro Histórico de Lima y la ciudad de Lima Metropolitana un alto índice de ocurrencia de eventos sísmicos y de acuerdo a su magnitud, han llevado a efectos secundarios como asentamientos, licuación de suelos, derrumbes, caídas de roca que, en conjunto, han propiciado el incremento de pérdidas humanas y materiales en sus distritos (Silgado, 1978; Ocola, 1984; Huaco, 1985), lo cual evidencia la alta vulnerabilidad de toda el área de Lima Metropolitana y El Callao..

A partir de los años 80-85, la ciudad de Lima Metropolitana y, por ende el Centro Histórico de Lima, soporta los procesos 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 se ha confinado en el centro de Lima, viviendo en Quintas cuyas edificaciones se encuentran muy deterioradas por el paso del tiempo y/o han ocupado áreas de alto riesgo ante la ocurrencia de peligros como los sismos, 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). Por ejemplo, son muchas las viviendas se asientan en las laderas de cerros y ríos, zonas de terrazas inundables sin medir su vulnerabilidad e incrementando, de este modo, el riesgo en estos distritos.

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 Riesgo de Lima Metropolitana con el estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico en 42 distritos de Lima y Callao, información que se constituye como conocimiento primario y de base para cualquier otra investigación o proyectos sobre Gestión de Riesgo en Lima Metropolitana y El Callao. Sin embargo, estos estudios requieren ser complementados con otros de mayor detalle, en cuanto al muestreo de datos sísmicos y geotécnicos.

De acuerdo a los resultados obtenidos por el estudio de APESEG y de este, para Lima Metropolitana es importante diseñar un plan de planificación urbana y una rigurosa política de planeamiento en base a los mapas de Zonificación Sísmico-Geotécnica (CDS) propuestos por diversos investigadores y/o proyectos orientados para tal fin.

#### 4. CONDICIONES LOCALES DE SITIO

Actualmente, uno de los principales factores responsables de los daños sufridos por las edificaciones durante la ocurrencia de sismos severos se basa en las condiciones locales de sitio. 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.

Los estudios de zonificación sísmica se han vuelto 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 varían considerablemente a distancias muy cortas y 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 comerciales 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 salvar estos problemas, recientemente se ha introducido la técnica de Nakamura (1989) para interpretar registros de vibración ambiental (microtremores) 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 microtremores 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 microtemores contra la razón espectral estándar obtenida con registros de sismos, concluyendo que los microtemores, 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 varían entre 0.4 y 10 Hz, además den una estimación preliminar del nivel de amplificación relativa ( $A_r$ ).

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.

## 5. CONDICIONES MECANICAS-DINAMICAS DEL SUELO: 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  $S_1$  y  $S_3$ .

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

Corresponden a este tipo los suelos flexibles o estratos de gran espesor en los cuales el período fundamental para vibraciones de baja amplitud es mayor a 0,6 s.

**.- Condiciones excepcionales (Tipo S4)**

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

En general, para cualquier estudio deberá considerarse el tipo de suelo que mejor describa las condiciones locales de cada zona de interés y utilizar los correspondientes valores de periodos  $T_p$  y del factor de amplificación del suelo S definido en la Norma E-030 (2003), ver Tabla 1.

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

Tipo	Descripción	$T_p$ (s)	S
S <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, geotécnica y la densidad poblacional existente para el área de estudio, siendo la información base la del “Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo de Sismo en 43 Distritos de Lima y Callao” proporcionado por la Asociación Peruana de Empresas de Seguros (APESEG).

De acuerdo a este estudio y según las características mecánicas y dinámicas de los suelos que conforman el terreno de cimentación del área de estudio, así como las consideraciones dadas por el código de diseño sismorresistente del reglamento nacional de construcciones (Norma E-030, 2003), se ha definido las siguientes zonas geotécnicas y sísmicas para Lima y Callao:

**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 sismorresistente peruana.*

**ZONA II:** *En esta zona 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 la grava aluvial o grava coluvial. Los periodos predominantes del terreno determinados por las mediciones de microtrepidaciones 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 en esta zona 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 sismorresistente peruana.*

**ZONA III:** *Esta zona está conformada en su mayor parte por los depósitos de suelos finos y arenas de gran espesor que se encuentra en estado suelto. Los periodos predominantes encontrados en estos suelos varían entre 0.5 y 0.7 s, por lo que su comportamiento dinámico ha sido tipificado como un suelo Tipo-3 de la norma sismorresistente 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 sismorresistente 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 que, en la actualidad, han sido urbanizados. El comportamiento dinámico de estos rellenos es incierto por lo que requieren un estudio específico.*

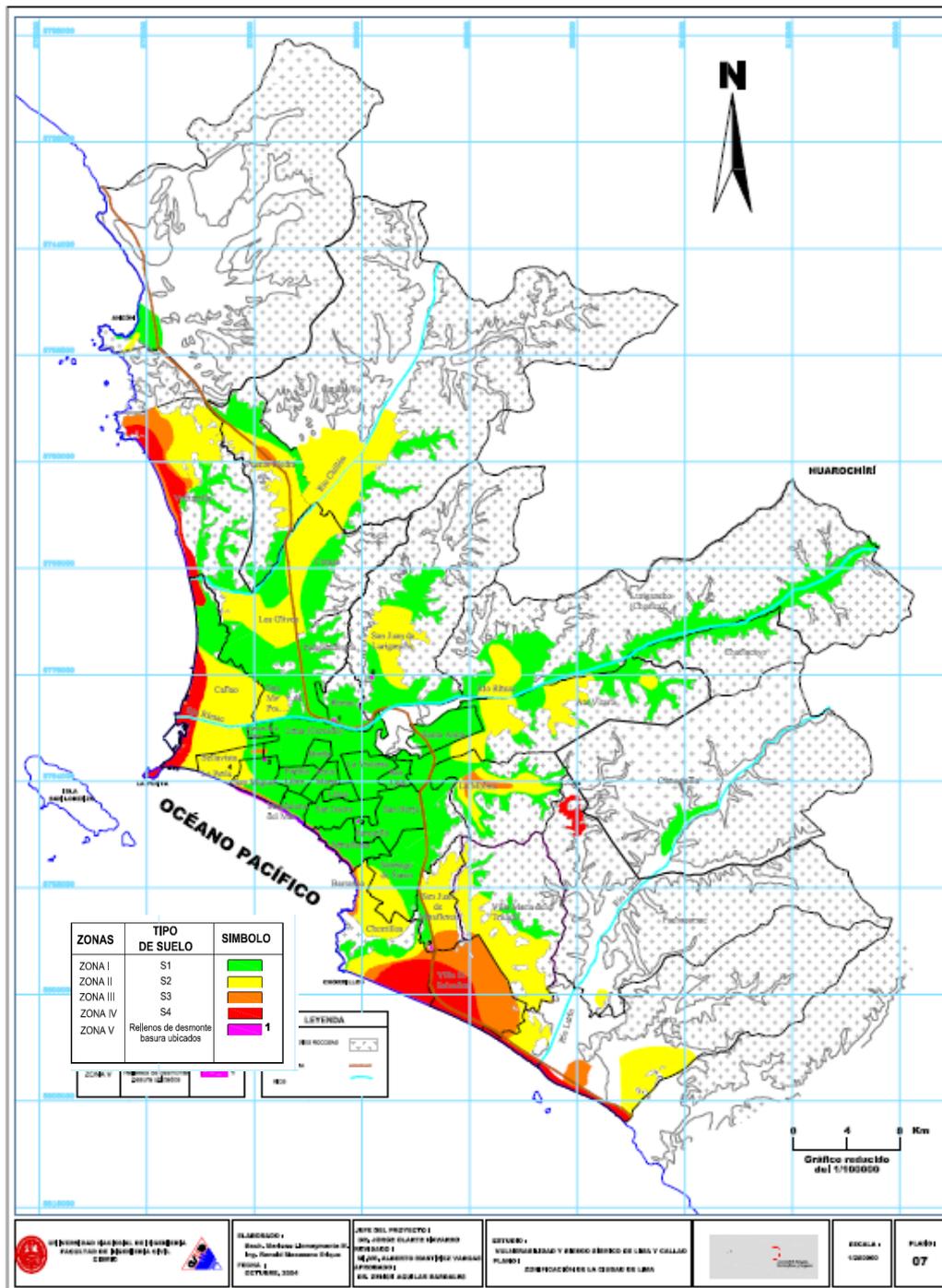


Figura 2.- Mapa de Zonificación de tipos de suelos para Lima Metropolitana elaborado por el CISMID para la APESEG.

## 7.- INSTRUMENTACION Y DATOS

En este estudio se utilizan 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.

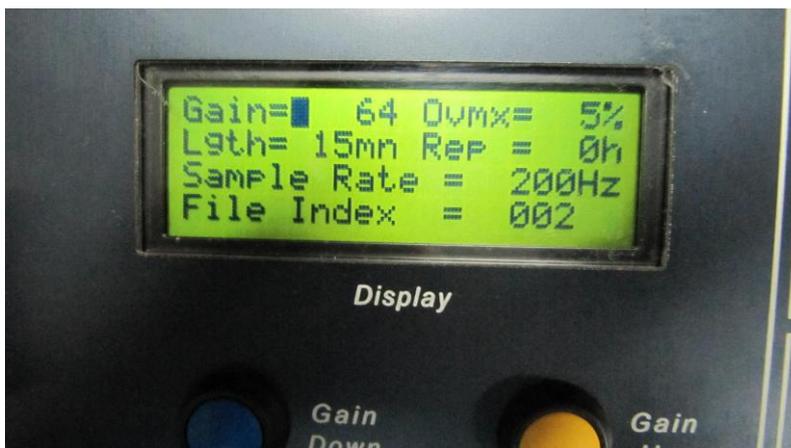
La data obtenida en cada punto fue transferida a una estación de trabajo para el cambio de formatos respectivos y corrección por línea base (offset) sin la utilización de ningún tipo de filtro a fin de no alterar la señal original. Asimismo, las incidencias y características instrumentales consideradas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

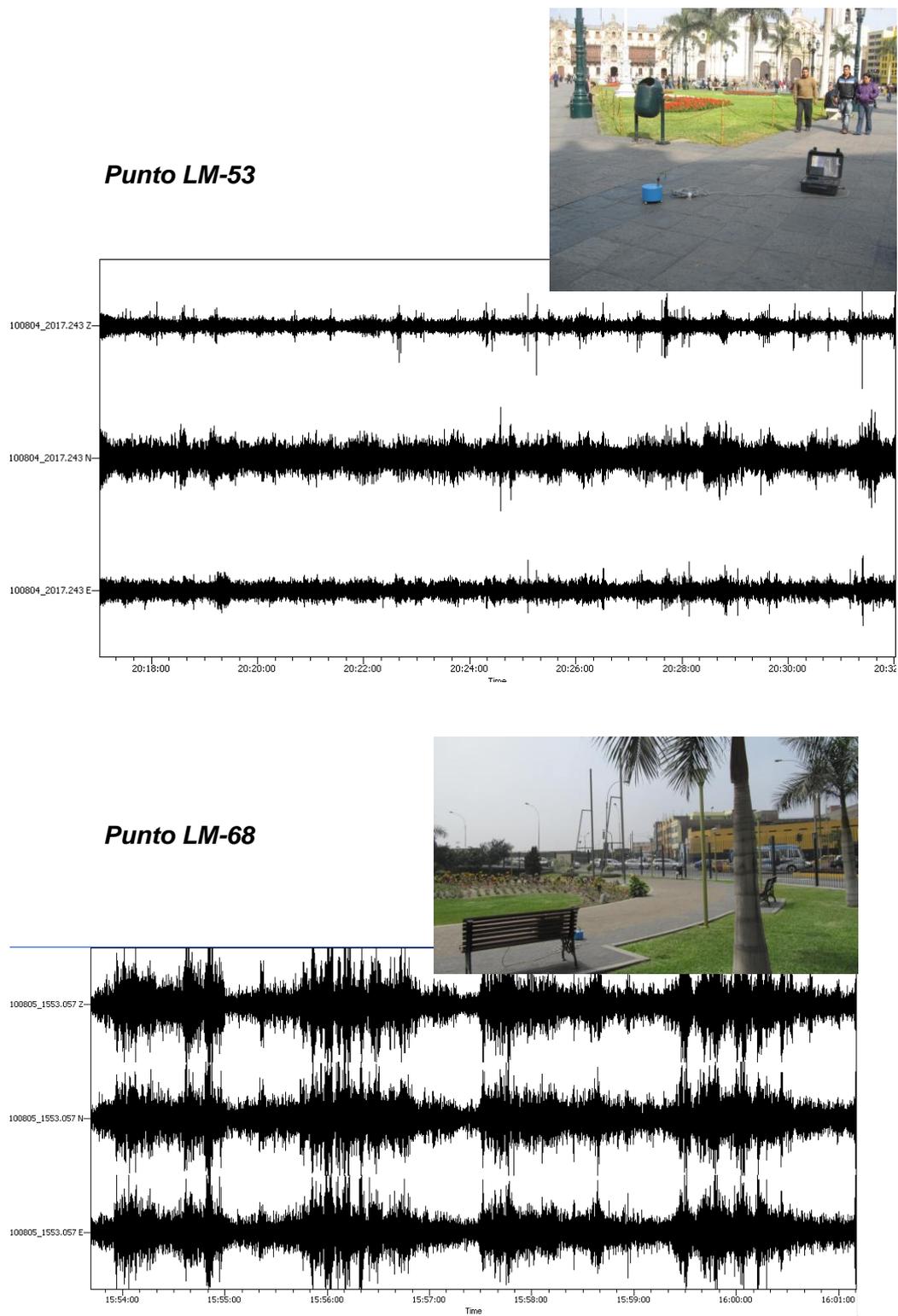


Vista del registrador City Shark II



Vista del Display del registrador

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



**Figura 4.** *Imágenes donde se observa la disposición del equipo a la hora de tomar los datos en campo y los registros de vibración ambiental obtenidos en los puntos LM-53 y LM-68.*

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

Para caracterizar el comportamiento dinámico del suelo en el Centro Histórico de Lima (Cercado de Lima y Rímac) se ha utilizado registros de vibración ambiental (microtrepidaciones) producidos, tanto por fuente natural como artificial, y la técnica de razones espectrales (H/V) propuesta por Nakamura (1980). Esta 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 relativo, parámetros que definen el comportamiento dinámico del suelo ante la ocurrencia de un evento sísmico. Estos resultados son correlacionados y complementados con los datos obtenidos del estudio geotécnico.

De las razones espectrales se identifican las frecuencias predominantes de acuerdo a sus amplificaciones relativas que caracterizan al tipo de suelo presente en el área de estudio (ver Figura 5), la misma que está definida por las condiciones geológicas y morfomólicas 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 superficiales, 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.

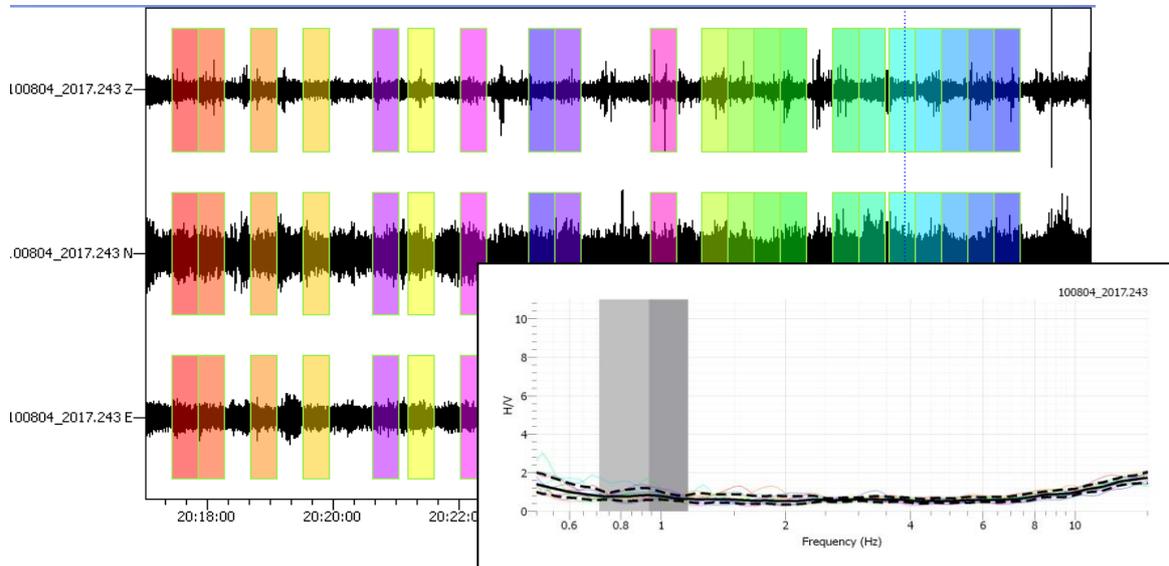
Para aplicar la técnica H/V, se consideran los siguientes pasos:

- 1) *Los registros de vibración ambiental fueron tratados por ventanas de 2048 muestras (20 segundos) con un traslape del 10%. Debido a que se dispone de considerable tiempo de registro, se procedió a seleccionar de forma aleatoria diversos tramos de señal.*
- 2) *Se calcula la transformada Rápida de Fourier para un número mayor a 10 ventanas de observación para cada punto.*

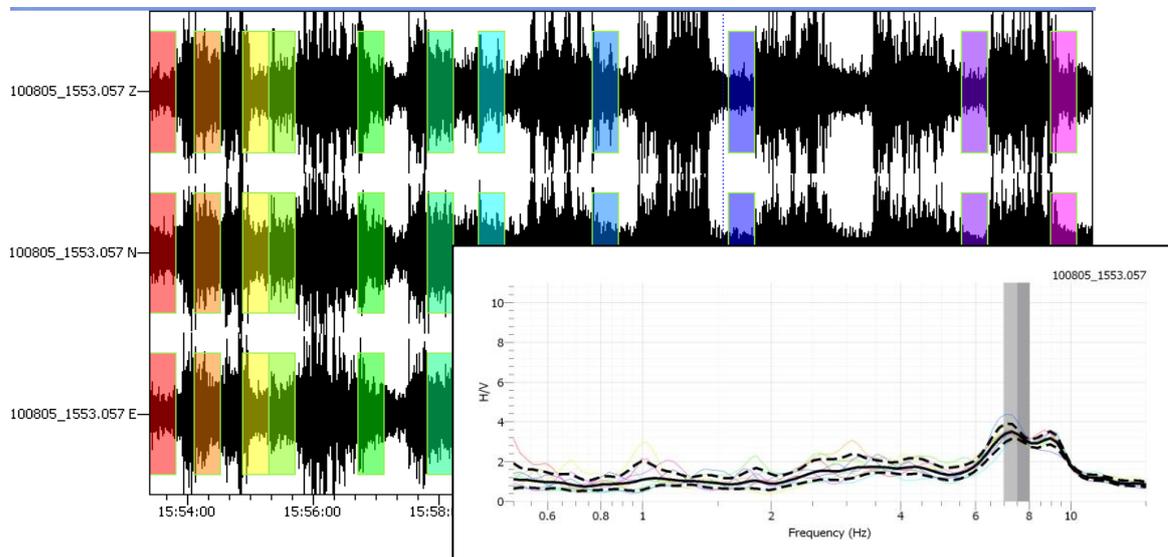
3) *Los espectros horizontales se dividieron entre el espectro vertical para obtener la relación H/V y luego se promediaron estos para cada punto de observación considerando su respectiva desviación estándar (Figura 5). Luego se procede a identificar la frecuencia predominante y la amplificación máxima relativa.*

Para definir la frecuencia predominante se consideran tres criterios: primero, 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, presentar amplificaciones relativas de al menos 2 veces (se considera la amplitud de "1" como punto de referencia) y, por ultimo, se considera el pico/rango de frecuencias más representativos para cada punto de medida. Finalmente, dichas frecuencias son expresadas en periodos dominantes.

**Punto: LM-53**



**Punto: LM-68**



**Figura 5.-** Ejemplos 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 en los cuales no resalta ninguna frecuencia predominante, **b)** Registros y razones H/V donde se identifican frecuencias predominantes. Las líneas gruesas en las graficas H/V indican el promedio de las curvas de razones espectrales y las líneas discontinuas su desviación estándar.

## 9.- METODOLOGIA EN GEOTECNIA

Para el análisis geotécnico del Centro Histórico de Lima, ha sido necesario realizar el cartografiado geológico y geomorfológico teniendo, como información base, la presentada en estudios anteriores, como por ejemplo de Martínez (1975) y de INGEMMET (1982 y 1994). Estos estudios son de carácter general y consideran toda el área de Lima Metropolitana y la Provincia Constitucional del Callao.

Para complementar la información contenida en los mapas, se realizó varios trabajos de campo en el Centro Histórico de Lima teniendo, como base, su respectivo mapa catastral. Los estudios geotécnicos han sido elaborados a partir de la construcción de 15 calicatas; 10 en El Cercado de Lima y 5 en El Rímac, de tal forma que cubran, con una geometría adecuada y representativa, los suelos existentes en estos distritos.

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 de la obtención de muestras (2) y del análisis geotécnico en su Laboratorio de Suelos. Las muestras se obtuvieron de la capa más profunda y representativa del tipo de suelo en el sitio evaluado.

De las muestras de suelo obtenidas se hicieron los análisis granulométricos, límites de elasticidad y contenido de humedad y, con ello, 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.

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.

## 10.- ZONIFICACION SISMICO-GEOTECNICA – CENTRO HISTORICO DE LIMA

### 10.1.- Zona de Estudio

El Centro Histórico de Lima (CHL) está ubicado, en una parte, en el distrito de Lima (sede de la Municipalidad Metropolitana de Lima) y otra parte, en el Distrito de El Rímac. El CHL tiene una superficie de 21.88 kilómetros cuadrados, equivalente al 40% de la superficie total del Distrito de Lima y limita, por el Norte con el distrito de Rímac, al Sur con los distritos de La Victoria, Lince y Jesús María, y al Este con los distritos de San Juan de Lurigancho y El Agustino. Por el Oeste, con el extremo Oeste del Distrito de Lima y con la Provincia Constitucional del Callao (Figura 6).

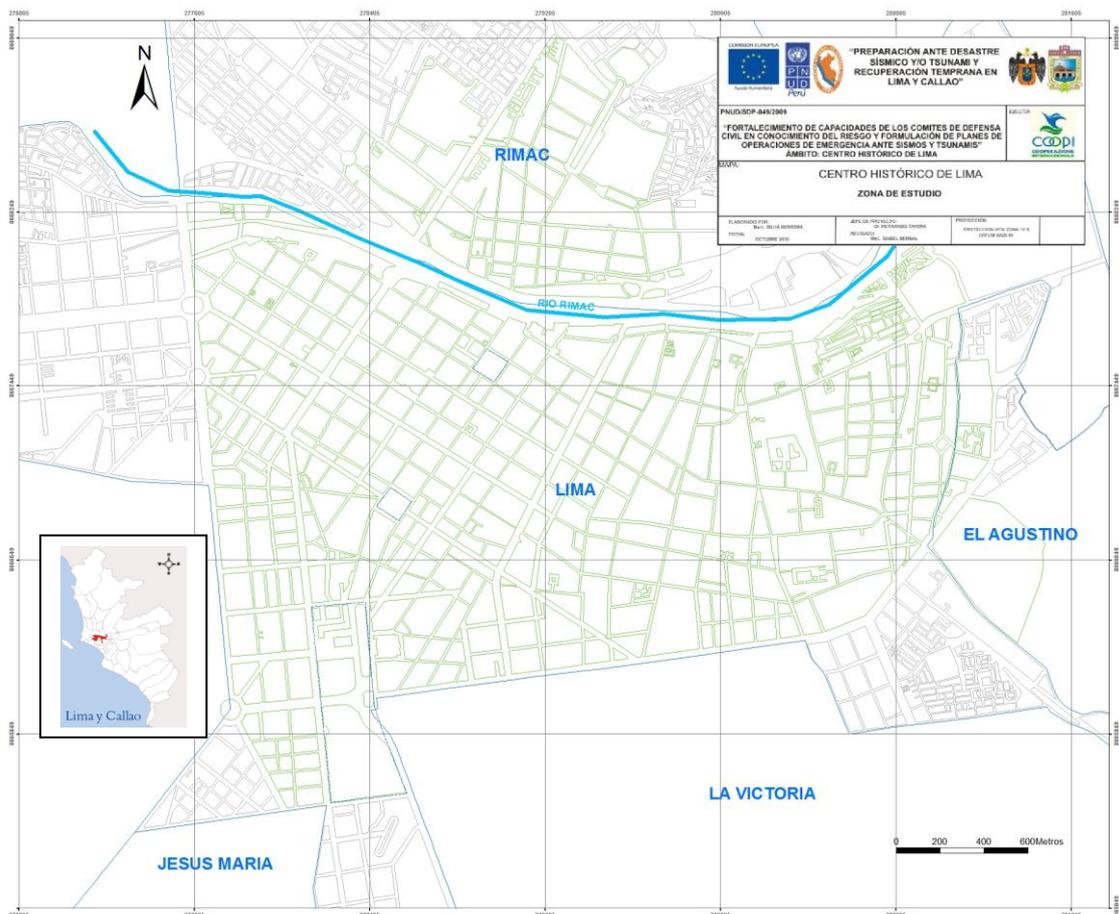


Figura 6.- Mapa de ubicación y límites del Centro Histórico de Lima.

El Cercado de Lima y la zona Monumental del Rímac se encuentran ubicados sobre el cono deyectivo del río Rímac rodeado de cerros testigos, como es el caso del Cerro San Cristóbal; ambos están divididos por el río Rímac que los cruza con una dirección aproximada E-O.

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (2007), el Distrito de Lima tiene una población cercana a los 350.000 habitantes, ubicados en la margen izquierda del Río Rímac. Aquí se concentran los principales monumentos históricos de la ciudad, así como viviendas de material noble y otras de adobe y quincha; en algunos casos muy deterioradas estas últimas. Estas viviendas se distribuyen espacialmente dando lugar a la existencia a calles angostas (Figura 7), estando casi todas emplazadas sobre suelos gravosos.



**Figura 7.-** Vistas de las estructuras que se encuentran en el Centro Histórico de Lima. En el extremo superior se observan algunos monumentos históricos, en el medio edificaciones antiguas y, en el extremo inferior, viviendas de adobe y quincha muy deterioradas y otras de material noble construidas sin respetar las normas de construcción.

## 10.2.- Geología Local

El basamento rocoso en el Centro Histórico de Lima (Cercado de Lima y Rímac) está compuesto de rocas intrusivas del batolito de la Costa, de naturaleza granodiorítica predominantemente de color gris oscuro y, en algunas partes, consiste en granitos de color gris claro a rosáceo, con el típico fracturamiento tipo cebolla; éstas rocas tienen edades que corresponden al Terciario Inferior (Figura 8). Las colinas circundantes tienen como máxima altitud de 370 m.s.n.m. con pendientes de moderada a alta.

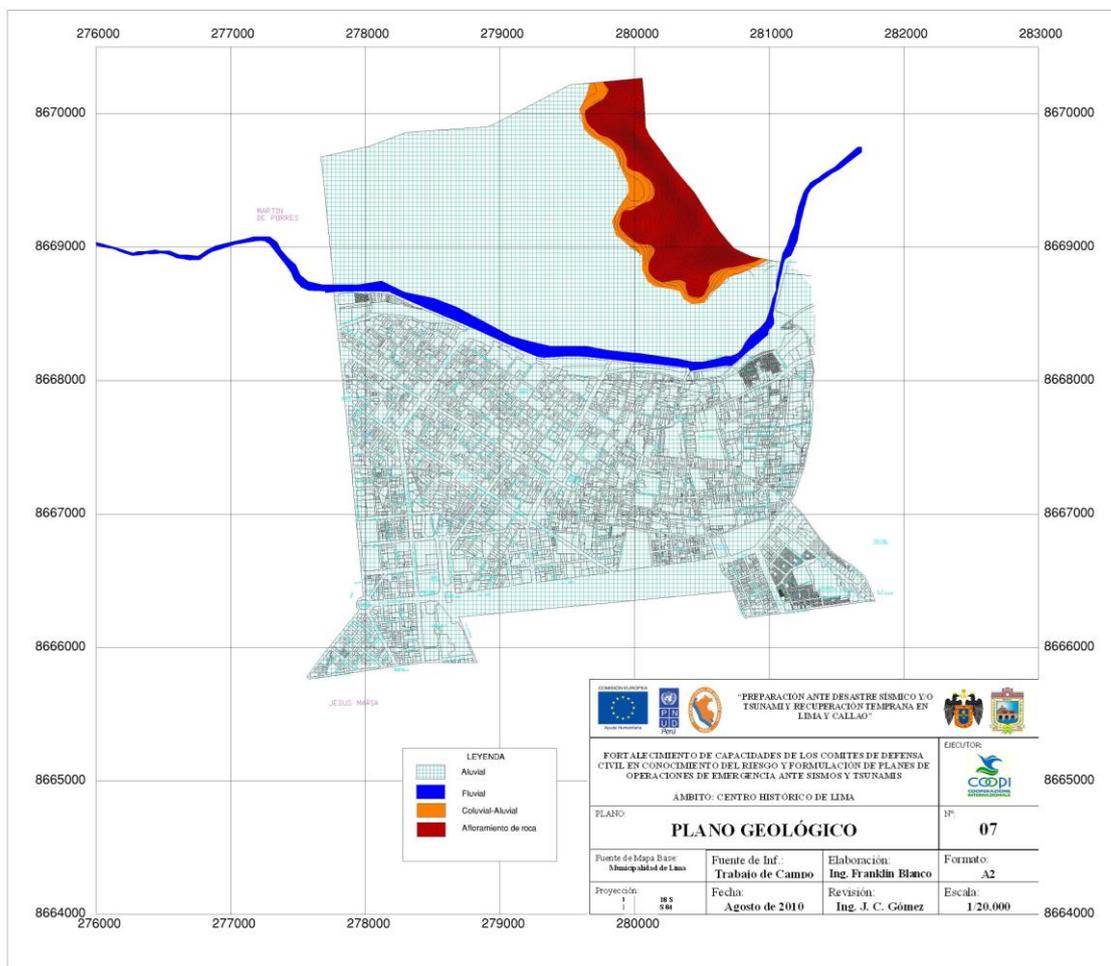
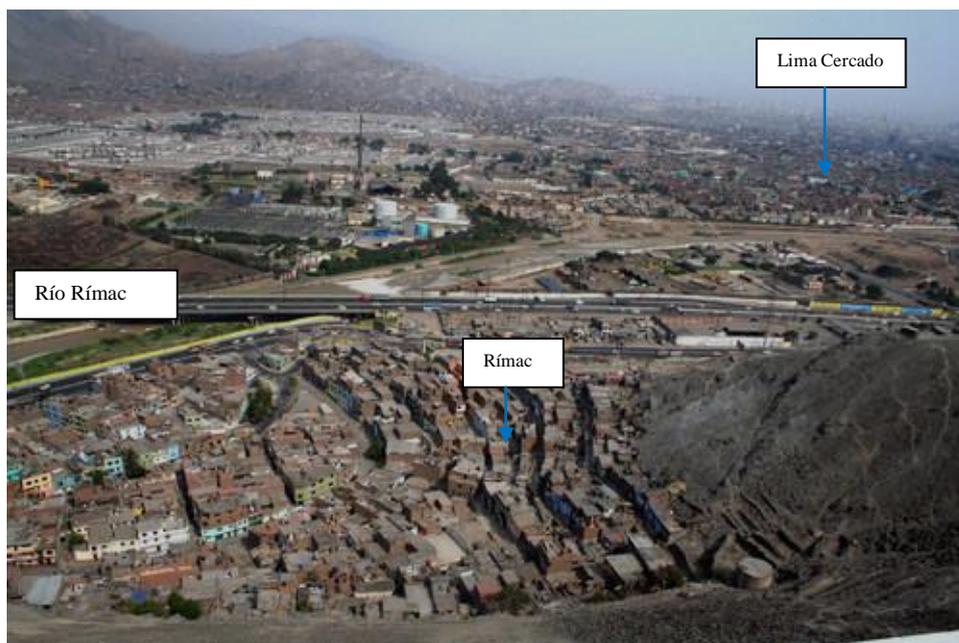


Figura 8.- Mapa geológico para el Centro Histórico de Lima.

En general, en el Distrito de Lima, bajo la acción externa erosiva, se formaron los depósitos coluviales hacia la falda de los cerros, principalmente donde se asientan las viviendas. Sobreyacen a la secuencia intrusiva, depósitos de edad Cuaternaria compuestos por materiales aluviales, coluviales y fluviales emplazados en la planicie del cono deyectivo del río Rímac conformando terrazas amplias, tal como se observa en la Figura 9.

La característica de estos depósitos aluvionales es que son heterogéneos, erráticos y discontinuos, formando lentes, capas de diferentes formas y dimensiones. La grava del conglomerado va desde suelto a compacto, intercalado con capas de arenas medias a finas, limos y arcillas con pocos finos.



**Figura 9.-** Vista panorámica del Centro Histórico de Lima en la cual se observan los depósitos coluviales y los cerros que bordean a la ciudad.

### 10.3.- Geomorfología Local

En el Cercado de Lima y Rímac se pueden observar 3 unidades geomorfológicas bien diferenciadas (Figura 10):

- Cauce actual: Unidad por donde discurren las aguas del río Rímac en dirección aproximada EO hasta su desembocadura en el Océano Pacífico.
- Llanura aluvial: Corresponde al cono deyeectivo del río Rímac, compuesto por gravas con matriz arenosa; abarca el 90% del área del Cercado de Lima y Rímac.
- Colinas bajas: Conformadas por lomas que corresponden al batolito de la Costa, entre las que destaca el Cerro San Cristóbal, en cuyas faldas se encuentran depósitos coluviales (Figura 11)

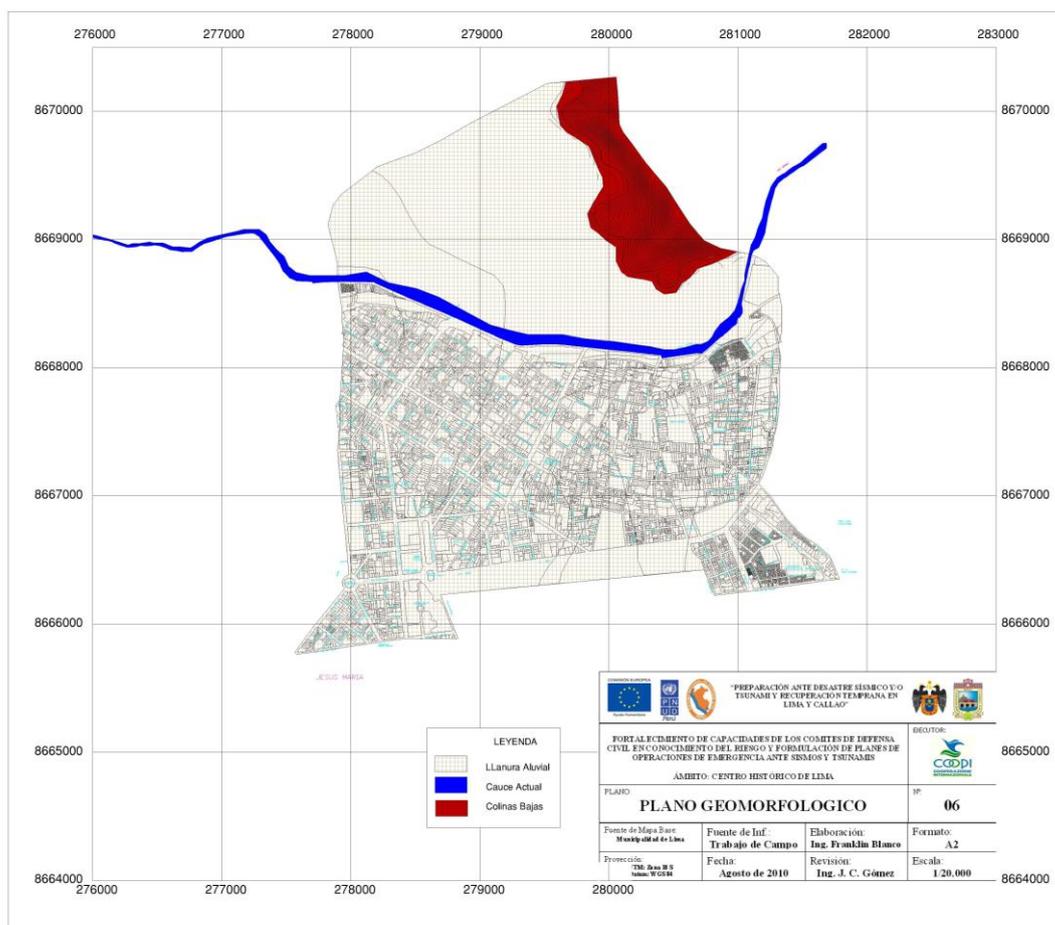


Figura 10.- Mapa geomorfológico para el Centro Histórico de Lima.



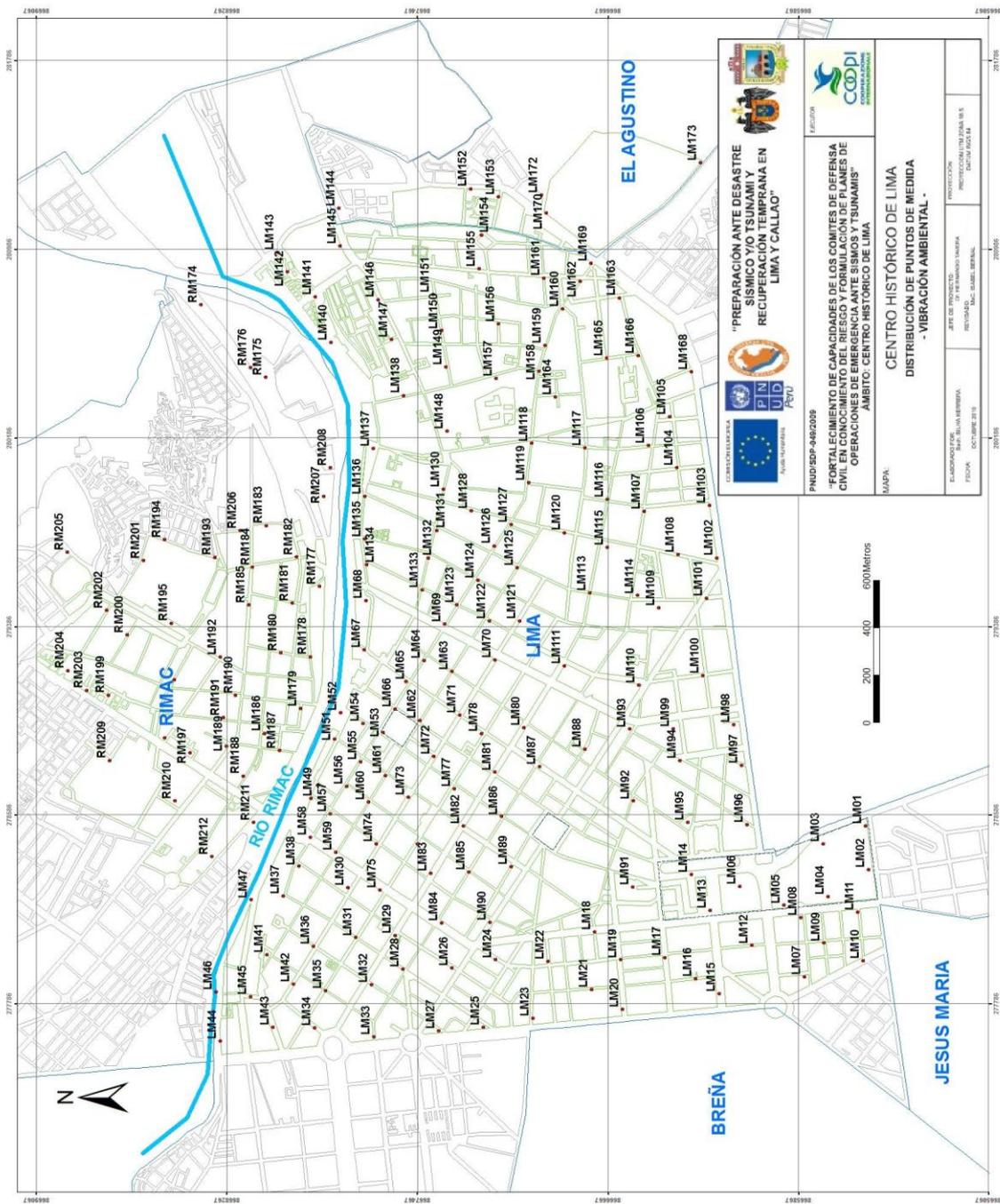
**Figura 11.-** *Parte Central del Cercado de Lima y Rímac. En la vista en primer plano el río Rímac y al fondo el Cerro San Cristóbal*

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

### ***10.4.1.- Recolección de Datos***

A fin de realizar el análisis y evaluación de los suelos presentes en el Centro Histórico de Lima y estimar su comportamiento dinámico, se distribuyeron de manera homogénea los puntos de medición sobre toda la zona de estudio (Figura 12). Los aspectos mas resaltantes de esta etapa son:

- a.) Los puntos de toma de datos fueron seleccionados de acuerdo al mapa catastral de la zona de estudio, llegando a considerarse un total de 212 puntos que permitieron muestrear toda el área de intervención.
  
- b.) Durante los días 3 al 8 de agosto del 2010, se realizó la toma de datos en los 212 puntos tratando de evitar en todo momento el registro de paso de peatones o de vehículos próximos al equipo sísmico, habiendo procedido en muchas oportunidades a realizar más de un medida. En cada punto se anotó la hora del registro, su ubicación y sus coordenadas geográficas (GPS).
  
- c.) Siguiendo la metodología antes indicada, se procedió con el análisis de la señal y elaboración de los espectros a fin de identificar la frecuencia predominante y amplitudes máximas relativas.



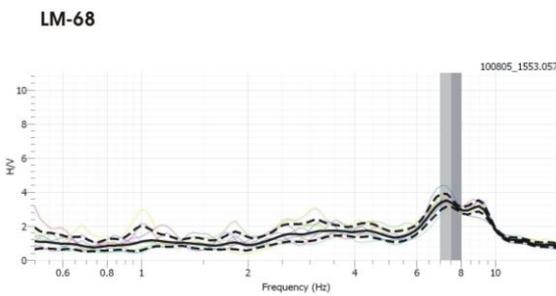
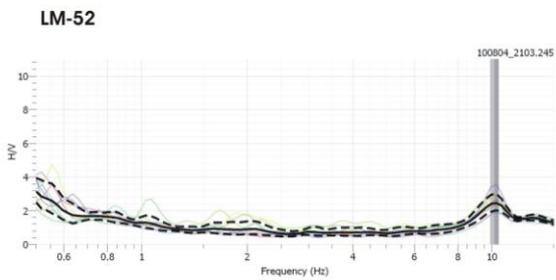
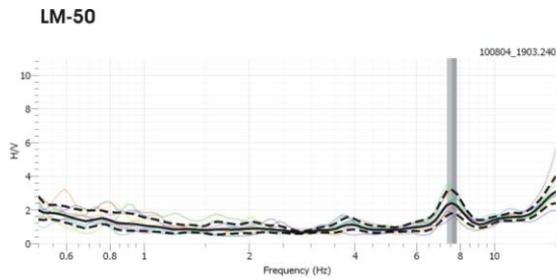
**Figura 12.-** Distribución de puntos donde se tomaron datos de vibración ambiental en el Centro Histórico de Lima. Las áreas delimitadas con recuadros azules, indican de norte a sur, la ubicación de la Plaza de Armas, Plaza San Martín, y Parque de Lima.

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

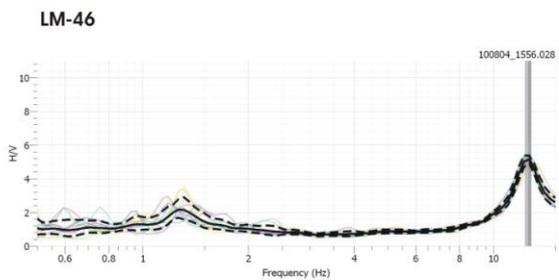
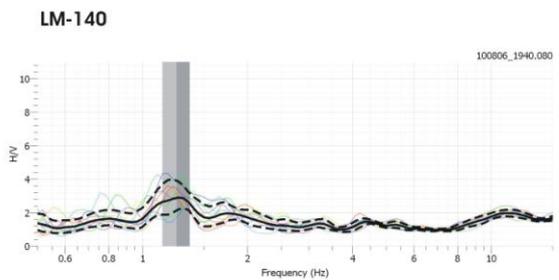
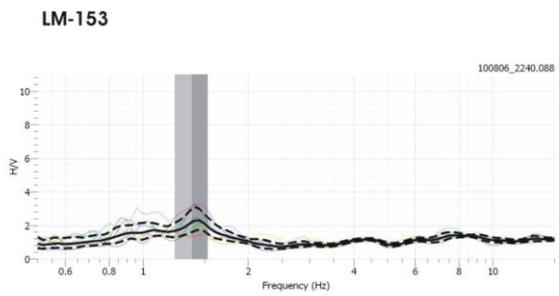
Para caracterizar el comportamiento dinámico del suelo del Centro Histórico de Lima se han obtenido registros de vibración ambiental en 212 puntos de observación, llegando a abarcar toda el área de estudio. El análisis e interpretación de la información recolectada permite determinar el periodo dominante de vibración natural del suelo y, en algunos casos, el factor de amplificación sísmica relativa, parámetros que definen el comportamiento dinámico del suelo durante un evento sísmico.

En la Figura 13 se presentan ejemplos de razones espectrales obtenidas para diferentes puntos de observación denominados: LM-46, LM-50, LM-52, LM-68, LM-138, LM-140, LM-142, LM-146, LM-153, LM-175, LM-193 y LM-205.

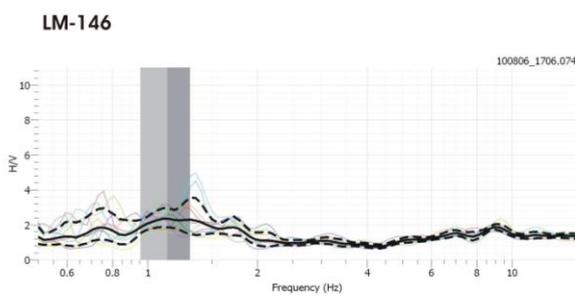
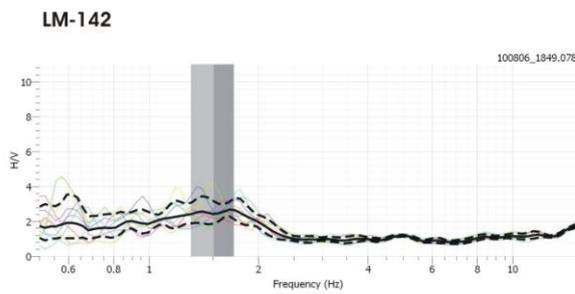
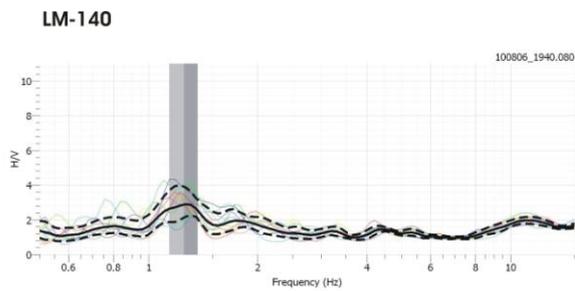
- En la Figura 13a se muestran las razones espectrales obtenidas en la zona central del área de estudio (margen izquierdo del río Rímac) y donde resaltan las frecuencias predominantes en un rango de 7 a 10Hz, con amplificaciones relativas de al menos 2 veces y, conforme se tiende hacia su extremo sur, estos valores disminuyen considerablemente.
- En la Figura 13b se muestran las razones espectrales obtenidas en tres puntos ubicados en los extremos Este y Oeste de la zona de estudio próximos al Río Rímac (LM-140 y LM-46) y un tercer punto (LM-153) al SE, en los cuales sobresalen, de manera puntual, frecuencias predominantes de 1.0 a 1.5 Hz, con amplificaciones máximas relativas de hasta 2 veces.
- En la Figura 13c se muestran las razones espectrales obtenidas en un área relativamente pequeña ubicada en el extremo Este del Centro Histórico de Lima (margen izquierda del río Rímac: LM-140, LM-142 y LM-146) en donde sobresalen frecuencias predominantes de 1.0 a 2.0 Hz, con pequeñas amplificaciones relativas.
- En la Figuras 13d se muestran las razones espectrales para los puntos LM-175, LM-193 y LM-205 ubicados en el extremo norte del área de estudio (margen derecha del río Rímac), en las cuales sobresalen, de manera puntual, frecuencias predominantes de 3 a 4Hz, con amplificaciones máximas relativas de hasta 2 veces.



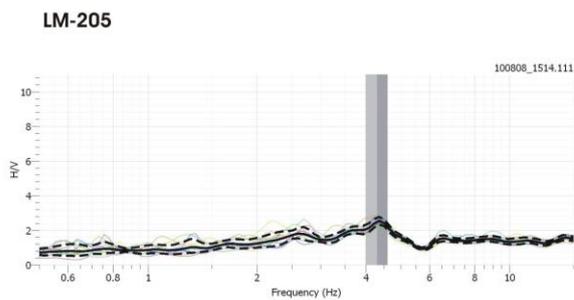
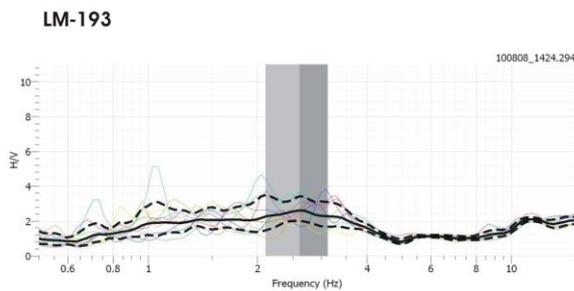
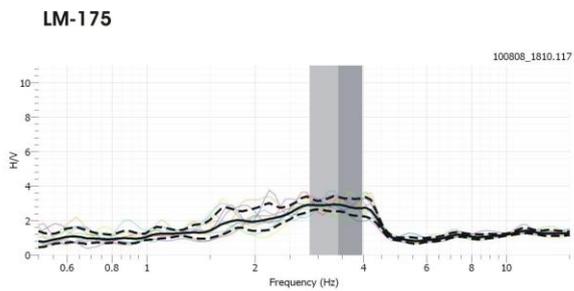
**Figura 13a.** Ejemplo de gráficas de razones espectrales obtenidas en diferentes puntos del Centro Histórico de Lima. Los puntos LM-50, LM-52 LM-68 se ubican en el área central de la zona de estudio (margen izquierda del Río Rímac) donde sobresalen frecuencias de 7 a 10Hz. Las líneas delgadas continuas representan 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 Centro Histórico de Lima. Los puntos LM-46, LM-140, LM-153 se ubican en los extremos Este, Oeste y SE de la zona de estudio (los dos primeros próximos al Río Rímac) donde sobresalen, de manera puntual, frecuencias predominantes de 1.0-1.5Hz. Otros, ver Figura 13a.



**Figura 13c.** Ejemplo de gráficas de razones espectrales obtenidas en diferentes puntos del Centro Histórico de Lima. Los puntos LM-138, LM-140, LM-146 se ubican en el extremo Este de la zona de estudio (sobre margen izquierda del Río Rímac) donde sobresalen frecuencias predominantes de 1 a 2Hz. Otros, ver Figura 13a.



**Figura 13d.** Ejemplo de gráficas de razones espectrales obtenidas en diferentes puntos del Centro Histórico de Lima. Los puntos LM-175, LM-193, LM-205 se ubican en el extremo norte del Área de estudio (margen derecha del Río Rímac) donde sobresalen de manera puntual frecuencias predominantes de 3 a 4Hz. Otros, ver Figura 13a.

En las Figuras 14, 15 y 16 se muestran para el Centro Histórico de Lima (Cercado de Lima y Rímac), la distribución espacial de los periodos dominantes obtenidos a partir de las frecuencias predominantes en 212 puntos de observación, su mapa con la distribución espacial de las amplitudes máximas relativas y la distribución de isoperiodos respectivamente. El análisis de esta información permite definir en el área de estudio la presencia de tres zonas en las cuales el comportamiento sísmico es similar:

*-La primera zona se ubica en el extremo Este y Oeste de la zona de estudio (margen izquierda del Río Rímac) abarcando en ambos casos un área relativamente pequeña donde se asienta parte del AA.HH. Huerta Perdida hacia el este y el barrio Monserrate hacia el Oeste. Esta zona se caracteriza por presentar los periodos dominantes más altos (0.6-0.7 s) con amplificaciones de al menos 2 veces y conforme se tiende hacia su extremo Sur y Oeste, disminuyen en amplitud (ver áreas achuradas en la Figura 16). Estos valores altos podrían estar asociados a la interacción entre los diferentes estratos areno-gravosos, material de relleno y su alto nivel freático, ya que dicha zona se ubica próxima al Río Rímac.*

*-La segunda zona considera áreas pequeñas distribuidas de manera puntual en el Malecón Rímac y el parque de la Muralla. Esta zona se caracteriza por presentar periodos dominantes de 0.1s y amplitudes máximas relativas de hasta 2 veces, lo cual podría estar asociado a lentes de depósitos aluviales y/o lentes compuesto por material de relleno de poco espesor.*

*-La tercera zona considera casi el 90% de toda el área de estudio (Figura 16), así como el área ubicada en el margen derecha del Río. En esta zona no se lograron identificar periodos dominantes, lo cual podría indicar la existencia de suelos compactos.*



**Figura 14.-** Mapa del Centro Histórico de Lima con la distribución de periodos dominantes. El área con puntos indican ausencia de periodos dominantes debido a la presencia de suelos compactos.



**Figura 15.-** Mapa del Centro Histórico de Lima con la distribución de amplificaciones máximas relativas. El área con puntos indican ausencia de amplificaciones y sugieren la presencia de suelos compactos.

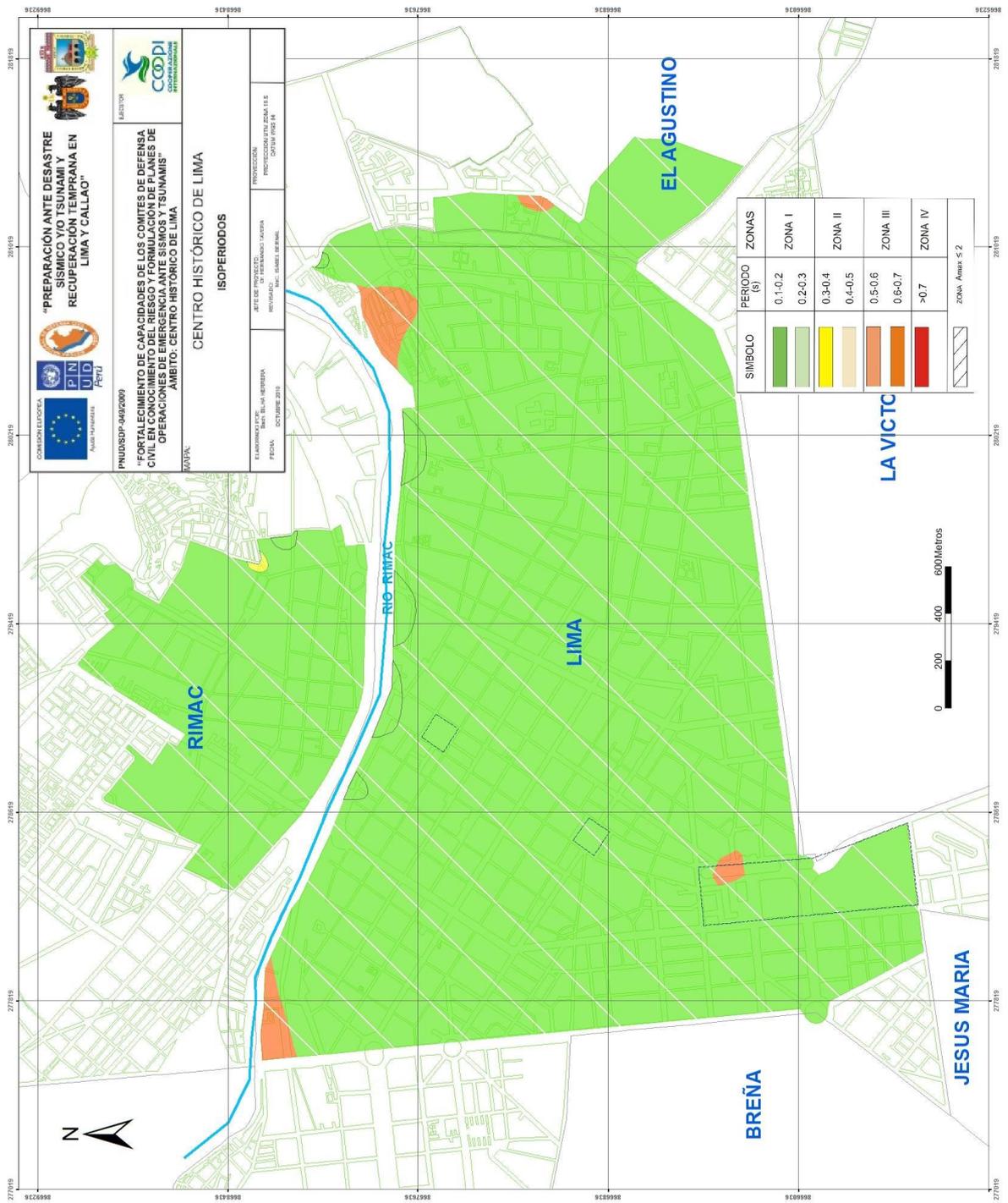


Figura 16.- Mapa del Centro Histórico de Lima con la distribución de isoperiodos. Las áreas pequeñas circunscritas con líneas grises indican aquellas que presentaron periodos dominantes de 0.1 s.

## 10.5.- Aspectos Geotécnicos

Para el Centro Histórico de Lima se ejecutaron 15 calicatas (Figura 17) que permitieron diferenciar la presencia de hasta 2 tipos de suelos (Figura 18):

.- Suelo GM-GP: Este tipo de suelo conforma el 75% del área estudiada y corresponde a suelos gravosos, muy compactos, con matriz arenosa, bloques subredondeados, distribuidos en toda la parte central del Centro Histórico de Lima (Cercado de Lima y Rímac).

.- Suelo SM: Este tipo de suelo se encuentra en las inmediaciones del río Rímac y en el sector SE del área estudiada, corresponde a suelos areno-gravosos, siendo los niveles superiores compuestos de material de relleno.

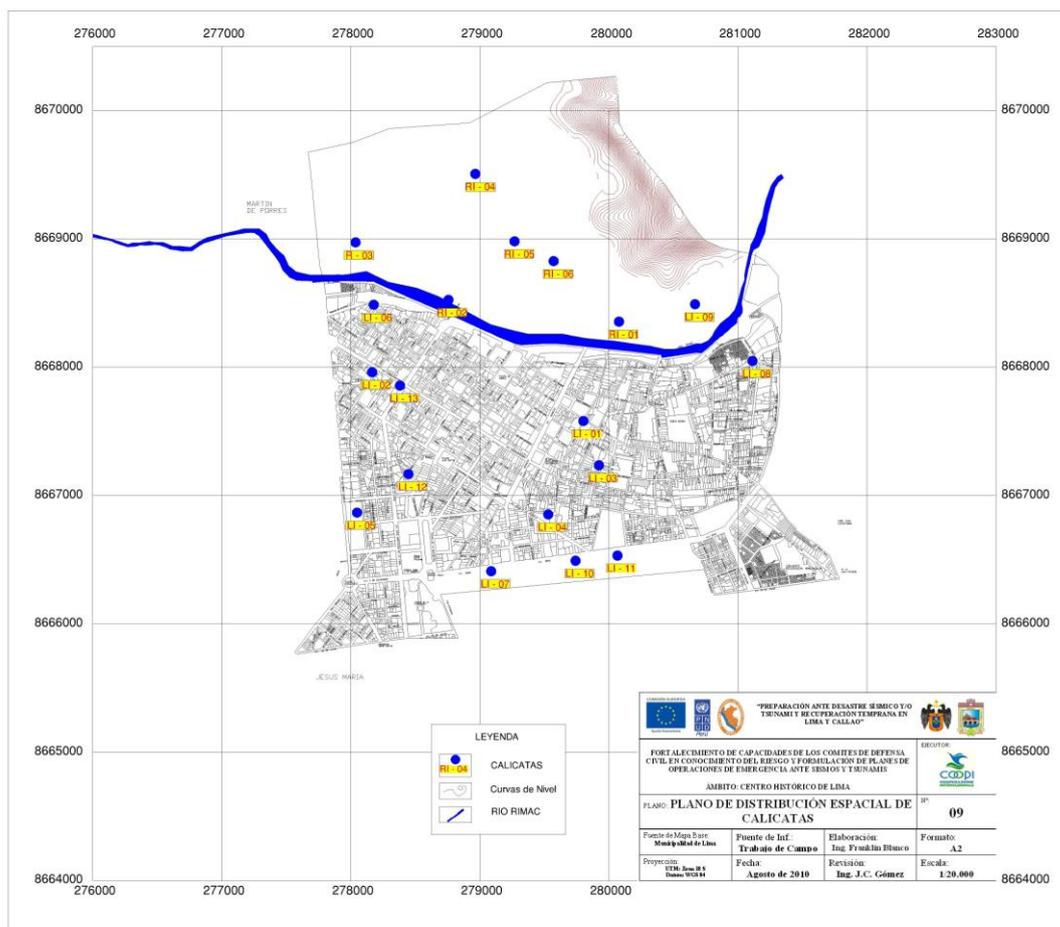
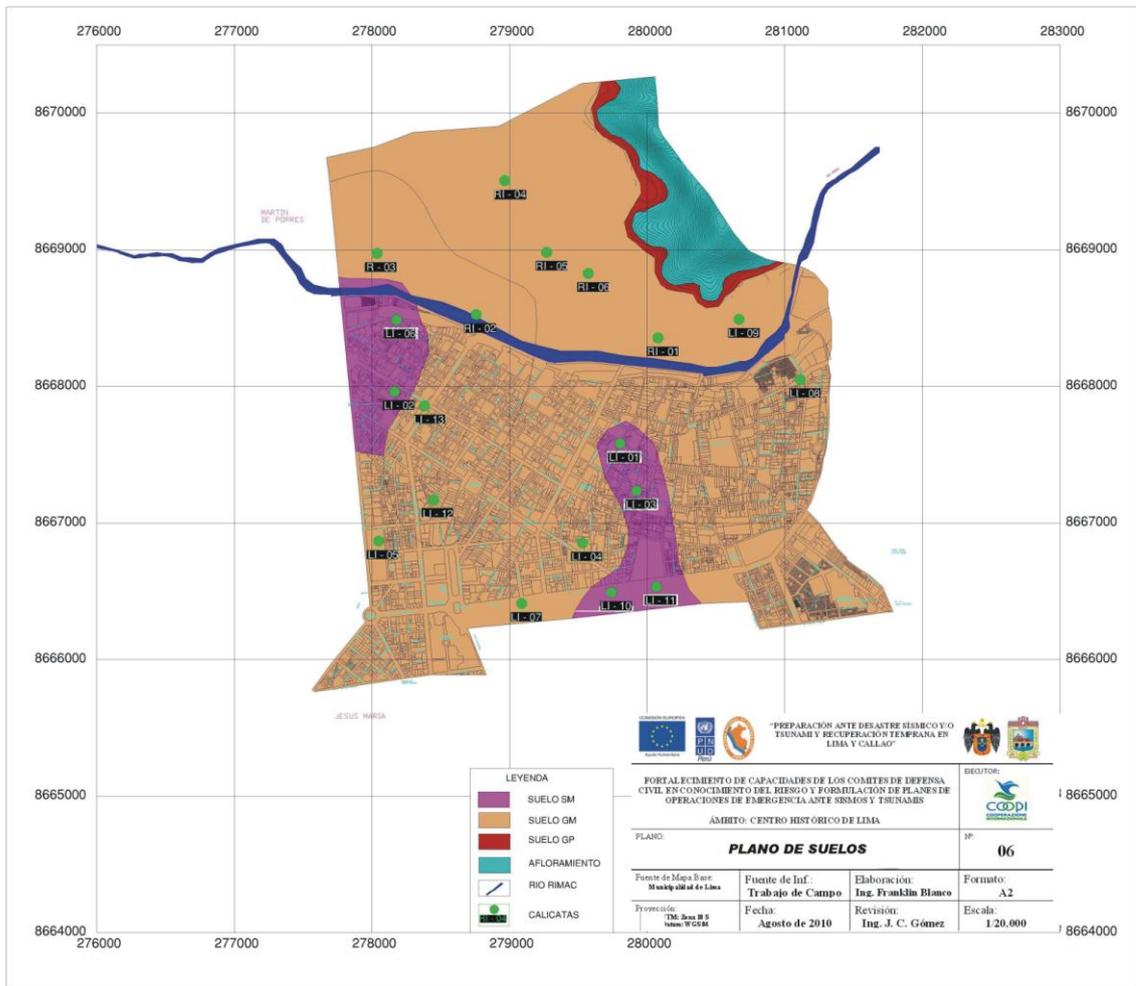


Figura 17.- Distribución espacial de las 15 calicatas elaboradas en el Centro Histórico de Lima.



**Figura 18.- Distribución de Suelos en el Centro Histórico de Lima.**

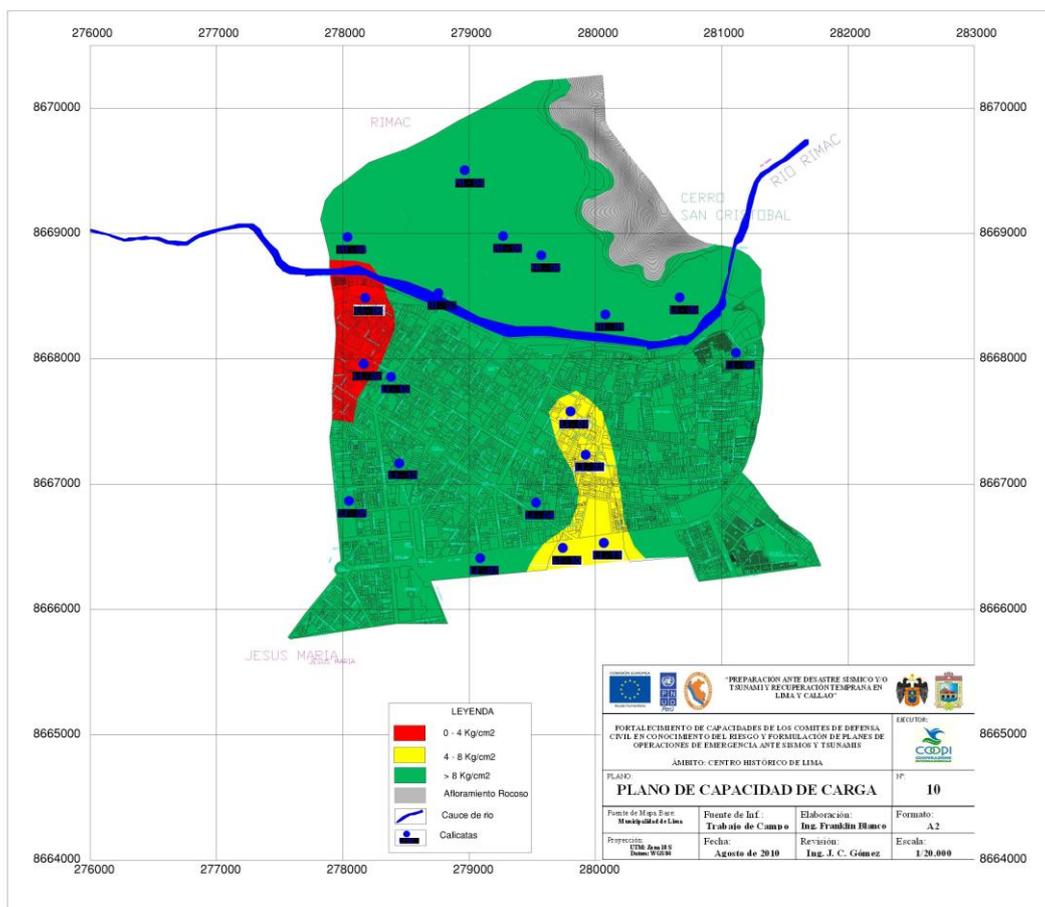
En base al análisis granulométrico y los ensayos de corte directo realizado en muestras de suelo obtenidos de las 15 calicatas construidas en el Centro Histórico de Lima, ha sido posible calcular su capacidad portante y cuyos resultados se muestra en el siguiente cuadro:

<b>CALICATA</b>	<b>CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELOS (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
LI - 1	9.10
LI - 2	4.15
LI - 3	3.94
LI - 4	11.28
LI - 5	8.80
LI - 6	3.25
LI - 7	8.39
LI - 8	9.02
LI - 9	8.37
LI - 10	4.96
RI - 01	9.45
RI - 02	8.90
RI - 03	12.09
RI - 04	10.18
RI - 05	11.78

Según los resultados obtenidos (tabla anterior), los valores de capacidad de carga han permitido clasificar a los suelos presentes en el Centro Histórico de Lima en 3 tipos (Figura 19):

- Suelos de buena capacidad de carga (más de 8 kg/cm<sup>2</sup>): Distribuidos en el 75% del área total estudiada.

- Suelos de regular capacidad de carga (entre 4 a 8 kg/cm<sup>2</sup>): Se encuentran en la zona centro-sur del área de estudio, dentro del área correspondiente al Cercado de Lima. Ocupan un 15% del área total estudiada.
- Suelos de baja capacidad de carga (entre 1 a 4 kg/cm<sup>2</sup>): Distribuidos en el sector NO, entre el Cercado de Lima y el Rímac. Ocupan un 10% del área estudiada.



**Figura 19.- Distribución de Capacidad Portante de lo Suelos en el Centro Histórico de Lima.**

## 10.6.- Zonificación Sísmico-Geotécnica

El mapa de zonificación sísmico-geotécnica (CDS) para el Centro Histórico de Lima (Cercado de Lima y Rímac) considera el análisis e interpretación de la información sísmica (vibración ambiental) y geotécnica y los resultados obtenidos, permiten identificar para esta área las siguientes zonas (Figura 20):

**ZONA I:** *Esta zona está conformada por suelos gravosos muy compactos que subyacen a secuencias intrusivas conformadas por terrazas amplias compuestas por material aluvial, coluvial y fluvial. Este suelo tiene comportamiento rígido con periodos de vibración natural menores a 0.2 s. Los periodos de vibración de 0.1s se ubican en el Malecón Rímac y Parque de la Muralla de manera focalizada. Del mismo modo, para un 90% del área sobre la cual se encuentra el distrito, no se han identificado periodos dominantes, lo cual sugiere que el suelo es estable (área achurada).*

*Esta zona es concordante con suelos de buena capacidad de carga.*

**ZONA III:** *Esta zona está conformada por depósitos fluviales emplazados en planicies del cono deyectivo del río Rímac cuyos periodos de vibración fluctúan entre 0.6 a 0.7 s con amplificaciones máximas relativas pequeñas. Sin embargo, estos valores altos podrían estar asociados a la interacción entre los diferentes estratos areno-gravosos, material de relleno y su alto nivel freático, ya que dicha zona se ubica próxima al río Rímac.*

*Esta zona es concordante con suelos de buena capacidad de carga.*



## CONCLUSIONES

La realización del estudio de Zonificación Sísmico-Geotécnica para el Centro Histórico de Lima (Cercado de Lima y Rímac), ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

### ***Aspectos Geológicos:***

- El basamento rocoso en el Centro Histórico de Lima está compuesto de rocas intrusivas del batolito de la Costa, de naturaleza granodiorítica predominantemente de color gris oscuro y, en algunas partes, consistente en granitos color gris claro a rosáceo, con el típico fracturamiento tipo cebolla; éstas rocas tienen edades que corresponden al Terciario Inferior, sobreyacen a la secuencia intrusiva, depósitos de edad Cuaternaria compuestos por materiales aluviales, coluviales y fluviales emplazados en la planicie del cono deyectivo del río Rímac, conformando terrazas amplias.

### ***Aspectos Geomorfológicos:***

- En el Centro Histórico de Lima se diferencian hasta 3 unidades geomorfológicas: Cauce actual del río Rímac, que abarca un 10% del área; la llanura aluvial que corresponde al cono deyectivo del río Rímac, ocupa un 80% del área y la unidad colinas bajas conformada por lomas que corresponden al batolito de la Costa, entre los que destaca el Cerro San Cristóbal, en cuyas faldas se encuentran depósitos coluviales, ocupando el 10% restante del área estudiada.

### ***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 del Centro Histórico de Lima (Cercado de Lima y el Rímac).

- El análisis de las razones espectrales H/V ha permitido observar de manera focalizada periodos dominantes de 0.1 y 0.6-0.7 segundos con amplificaciones de hasta 2 veces, lo cual sugiere la existencia de dos zonas 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 en cada una de estas zonas.
- En el extremo este del área de estudio, en un área pequeña del Centro Histórico de Lima, se han observado periodos de hasta 0.6-0.7 s, los cuales podrían estar asociados a la interacción entre los diferentes estratos areno-gravosos, materiales de relleno con alto nivel freático y/o condiciones especiales asociadas a la dinámica local del suelo; por lo tanto, se requiere realizar estudios complementarios en detalle.
- De manera puntual se obtuvieron periodos de 0.1 segundos, lo cual estaría asociado a la existencia de zonas de relleno en las orillas del Río Rímac. Según CISMID, por el desarrollo histórico en la zona céntrica de Lima, existen rellenos importantes, tanto por las construcciones de Lima antigua como por rellenos de desmonte y basura que en la época colonial y republicana se efectuaron en los extramuros de Lima y en las orillas del Río Rímac.
- En la mayor extensión de la zona de estudio no se identifico ningún periodo dominante, lo cual sugiere la existencia de suelos estables.

**Aspectos Geotécnicos:**

- Los tipos de suelos en el Centro Histórico de Lima son primordialmente de dos tipos:

Suelo GM-GP: Este tipo de suelo conforma el 75% del área estudiada, corresponde a suelos gravosos, muy compactos, con matriz arenosa, bloques subredondeados, distribuidos en toda la parte central del Centro Histórico de Lima.

Suelo SM: Este tipo de suelo se encuentra en las inmediaciones del río Rímac y en el sector SE del área estudiada, corresponde a suelos areno-gravosos, siendo los niveles superiores compuestos de material de relleno.

### **Zonificación Sísmico-Geotécnica (CDS):**

- Los resultados obtenidos en este estudio han permitido identificar, según el procedimiento establecido en APESEG (2005), la existencia de 2 zonas sísmico-geotécnicas (comportamiento dinámico del suelo – CDS) en el Centro Histórico de Lima (Cercado de Lima y El Rímac) que corresponden a suelos S1 y S3. Esta clasificación está considerada en la Norma E-030 (2003).

## BIBLIOGRAFIA

- Alfaro, A., Egozcue y A. Ugalde (1999), Determinación de características dinámicas del suelo a partir de microtremores. 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 microtremores. 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.
- Chávez-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.

- Huaco, D. (1985). *Catálogo Sísmico del Perú (1500 – 1984)*. Instituto Geofísico del Perú, 550 pag.
- 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 Perú*, UNI, Lima, Perú
- 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.

- Ocola L. (1984) : Catálogo Sísmico. República del Perú. Proyecto de Sismicidad Andina. SISAN. Perú y Areas Vecinas 1471-1982. Lima –Perú 1984.
- 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 Ncional 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 seismology*, V5,4, 519-540p.

## **ANEXOS**

La información correspondiente a los Anexos se encuentra insertada en el CD adjunto

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 - Geotecnia

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 - Sísmica

ANEXO 8: Mapas sísmicos: períodos dominantes, amplificación máxima  
relativa y zonificación Sísmica – Geotécnica (CDS)