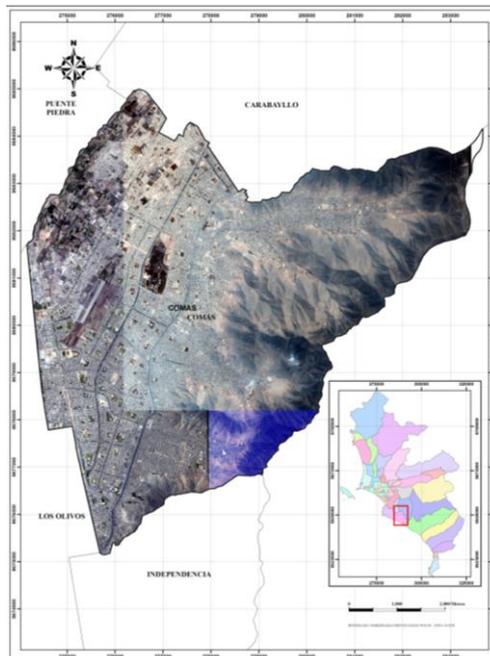


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

**CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y
MITIGACIÓN DE DESASTRES**

**CONVENIO ESPECÍFICO DE COOPERACIÓN INTERINSTITUCIONAL ENTRE EL
MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO Y LA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA “ESTUDIO DE MICRO
ZONIFICACIÓN SÍSMICA Y VULNERABILIDAD EN LA CIUDAD DE LIMA”**



INFORME

MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE COMAS

LIMA – ABRIL, 2011



ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	2
1.2.	OBJETIVOS DEL ESTUDIO	3
1.3.	UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	3
II.	EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO DEL ÁREA DE ESTUDIO	4
2.1.	SISMICIDAD DEL DISTRITO DE COMAS.....	4
2.2.	EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO	5
III.	CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS Y GEOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO	6
3.1.	GEOMORFOLOGÍA DE COMAS.....	6
3.2.	GEOLOGÍA DE COMAS	7
IV.	CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL SUBSUELO DEL DISTRITO COMAS	9
4.1.	PERFIL ESTRATIGRÁFICO.	9
4.2.	ZONIFICACIÓN GEOLÓGICA Y PELIGRO GEOLÓGICO DE LOS TALUDES.....	16
4.3.	MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA.	18
V.	CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS DEL SUBSUELO DEL DISTRITO COMAS.....	22
5.1.	INTRODUCCIÓN.....	22
5.2.	ENSAYOS DE MEDICION DE ONDAS DE CORTE – MÉTODO F-K	22
5.2.1.	EQUIPO E INSTRUMENTOS UTILIZADOS	23
5.2.2.	PROCEDIMIENTO DE LOS TRABAJOS DE CAMPO	23
5.2.3.	PROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN	24
5.3.	MEDICIÓN DE MICROTREPIDACIONES.....	26
5.3.1.	MARCO TEÓRICO	26
5.3.2.	TRABAJO DE CAMPO	27
5.3.3.	MAPA DE ZONAS DE PERIODO	28
5.3.4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	29
VI.	MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA.....	30
VII.	CONCLUSIONES	33
VIII.	REFERENCIAS	34



RESUMEN

La Universidad Nacional de Ingeniería y el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, firmaron un convenio específico para ejecutar el estudio de Microzonificación Sísmica y Vulnerabilidad en la ciudad de Lima.

En cumplimiento del convenio, el objetivo principal del presente estudio es elaborar un mapa de microzonificación sísmica para el distrito de Comas, complementando trabajos anteriormente desarrollados en este distrito con fines similares.

Esta investigación se llevó a cabo desarrollando tres áreas de estudio; peligro sísmico que emplea métodos probabilísticos y determinísticos para estimar la aceleración máxima horizontal en roca (PGA), valor importante para estimar las aceleraciones del terreno; la mecánica de suelos que caracterizando el suelo mediante exploración de campo, determina el tipo de material sobre el cual se asienta el área urbana, también se ha determinado el peligro geológico por efecto de taludes para las áreas altas del distrito y la dinámica de suelos que permite, mediante ensayos de tipo geofísicos, caracterizar el comportamiento dinámico de los suelos.

El Peligro Sísmico es un trabajo netamente de gabinete, desarrollándose en función de leyes de atenuación existentes y programas de cómputo diseñados para tal fin. Los estudios de mecánica y dinámica de suelos pasan primero por una etapa de recopilación de información existente, evaluando su cantidad y calidad, y programando luego los ensayos de campo en número suficiente para alcanzar los objetivos planteados.

Se presenta en los Apéndices A, B y C los resultados obtenidos en estas tres áreas de estudio, utilizando tanto la información recopilada como la generada en este trabajo.

Se obtiene un mapa de microzonificación sísmica producto de la superposición de resultados obtenidos en las diferentes áreas de estudio, cuatro son las zonas que se identifican para el área urbana de este distrito. Las áreas señaladas en el mapa, reflejan el posible comportamiento sísmico, de manera cuantitativa y cualitativa y de menos a más desfavorable, del suelo del distrito ante la ocurrencia de un sismo severo. Este mapa permite proyectar los posibles daños que pueden ocurrir a las edificaciones y a la población. Se convierte también en un gran instrumento para la planificación urbana y/o para la reconstrucción post-desastre sísmico.



MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE COMAS

I. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

El Distrito de Comas se encuentra ubicado en el Cono Norte de Lima Metropolitana, en la región natural de la costa, provincia y región de Lima, en el Perú. La superficie total del Distrito de Comas es de 48.75 Km² lo que representa el 5% del territorio del Cono Norte y 1.7% de Lima Metropolitana.

El Distrito de Comas se empezó a poblar en el año de 1954, cuando aproximadamente alrededor de 60 familias tomaron posesión de las llamadas Pampas de Comas y es a partir de esa iniciativa cuando en el año de 1958 un grupo nutrido de gente invadió las faldas de los cerros, pudiéndose observar en esta zona miles de chozas de esteras y en la parte superior de cada una de ellas la bandera nacional del Perú.

Los pobladores después de permanentes gestiones presentaron un memorial el 16 de abril de 1960 con 10,000 mil firmas solicitando ante el Ejecutivo y el Parlamento Nacional la creación del Distrito de Comas. Fue recién el 2 de noviembre de 1961 cuando se le reconoció como distrito. Así pues la ley 13757 que crea el Distrito de Comas, fue publicada en el diario oficial El Peruano el 12 de diciembre de 1961, fecha que es considerada como el Aniversario de Creación del Distrito.

El distrito de Comas cuenta con 14 zonales y 32 urbanizaciones, y tiene una Densidad Poblacional de 9,989.3 Hab./ Km². El 73.95 % de la población lo representan las personas de 15 y más años de edad.

En general el clima de Comas es subtropical árido (caluroso, húmedo y sin lluvias regulares, cálido en verano y templado en invierno). Es un clima de desierto marítimo, es suave, es decir no hay exceso de calor de día ni de frío de noche.

La temperatura en el distrito está influenciada por la altitud, la nubosidad, las masas de agua, la



humedad del suelo, la vegetación y las rocas; todos estos aspectos de una u otra forma mantienen y/o eliminan el calor de la radiación solar; que permite mantener una temperatura anual media de 22.1 °C; con una variación más o menos de 6°C. La humedad relativa es alta debido a la gran cantidad de vapor de agua disponible en la atmósfera.

En Comas, las nubes estratos solo producen garúas debido a la frialdad de las aguas del mar que determina estabilidad del aire y debilidad de irradiación solar. La precipitación oscila entre 05 y 30mm, la máxima se da en el mes de julio hasta 50mm.

1.2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

La Universidad Nacional de Ingeniería y el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, firmaron un convenio específico para ejecutar el estudio de Microzonificación Sísmica y Vulnerabilidad para la ciudad de Lima.

En cumplimiento del convenio, el objetivo principal del presente estudio es elaborar un mapa de microzonificación sísmica para el distrito de Comas, complementando trabajos anteriormente desarrollados de este distrito con fines similares.

1.3. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Distrito de Comas se encuentra ubicado en el Cono Norte de Lima Metropolitana, tiene como límites:

- Por el Norte con el distrito de Carabaylo.
- Por el Noroeste con el distrito de Puente Piedra.
- Por el Sudeste con el distrito de Los Olivos.
- Por el Sur con el distrito de Independencia.
- Por el Este con el distrito de San Juan de Lurigancho.

El Plano P-01 presenta el plano base del distrito de Comas, mostrando la zona urbana que abarca el área de estudio.



II. EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO DEL ÁREA DE ESTUDIO

A continuación se desarrolla la sismicidad del área de estudio y la evaluación de su peligro sísmico. Mayores detalles se encuentran en el Apéndice A.

2.1. SISMICIDAD DEL DISTRITO DE COMAS

El distrito de Comas, y la ciudad de Lima en general, está expuesto a un alto nivel de peligro sísmico, producto de la alta actividad sísmica que genera la subducción de la Placa de Nazca debajo de la Placa Sudamericana, cuyos bordes convergen a pocos kilómetros del litoral peruano-chileno.

Dentro de los sismos históricos ocurridos en la Zona Central del Perú y que de alguna forma han afectado a la ciudad de Lima, tenemos los siguientes:

- El sismo del 9 de Julio de 1586, con intensidades de IX MMI en Lima y VI MMI en Ica.
- El sismo del 13 de Noviembre de 1655, con intensidades de IX MMI en el Callao y VIII MMI en Lima.
- El sismo del 12 de Mayo de 1664, con intensidades de X MMI en Ica, VIII MMI en Pisco y IV MMI en Lima.
- El sismo del 20 de Octubre de 1687, con intensidades de IX MMI en Cañete, VIII MMI en Ica y VII MMI en Lima.
- El sismo del 10 de Febrero de 1716, con intensidades de IX MMI en Pisco y V MMI en Lima.
- Sismo del 28 de Octubre de 1746 a las 22:30 horas: Destrucción de casi la totalidad de casas y edificios en Lima y Callao. Intensidad de X (MMI) en Chancay y Huaral, IX –X (MMI) en Lima, Barranca y Pativilca.
- El sismo del 30 de Marzo de 1828, con intensidad de VII MMI en Lima.
- El sismo del 04 de Marzo de 1904, con intensidad de VII - VIII MMI en Lima.
- Sismo del 24 de Mayo de 1940 a las 11:35 horas: Intensidad de VIII (MMI) en Lima, VI (MMI) en el Callejón de Huaylas, V (MMI) en Trujillo.
- El sismo del 17 de Octubre de 1966, con intensidad VII MMI en Lima.
- El sismo del 03 de Octubre de 1974, con intensidad de VIII MMI en Lima y VII MMI en Cañete.
- El sismo del 18 de Abril de 1993, con intensidad de VI MMI en Lima y V MMI en Cañete y Chimbote.



- El 15 de Agosto del 2007 ocurrió un sismo con origen en la zona de convergencia de las placas, el cual fue denominado como “el sismo de Pisco” debido a que su epicentro fue ubicado a 60 km al Oeste de la ciudad de Pisco. Este sismo tuvo una magnitud de momento sísmico $M_w=7.9$ de acuerdo al Instituto Geofísico del Perú y de 8.0 según el National Earthquake Center (NEIC). El sismo produjo daños importantes en un gran número de viviendas de la ciudad de Pisco (aproximadamente el 80%) y menor en las localidades aledañas, llegándose a evaluar una intensidad del orden de VII en la escala de Mercalli Modificada (MM) en las localidades de Pisco, Chincha y Cañete, V y VI en la ciudad de Lima. VI en las localidades de Yauyos (Lima), Huaytará (Huancavelica), IV en las ciudades de Huaraz y localidades de Canta, Puquio, Chala. Este sismo produjo un tsunami que se originó frente a las localidades ubicadas al sur de la península de Paracas, y una licuación generalizada en un área de más de 3Km de longitud por 1.0 Km de ancho en las zonas de Canchamaná y Tambo de Mora en Chincha.

Del análisis de la información existente se deduce que para el área de influencia considerada en este estudio existe poca información histórica. Desde el siglo XVI hasta el siglo XIX sólo se reportan los sismos sentidos en las ciudades principales, lo cual implica que dicha actividad sísmica no es totalmente representativa, ya que pudieron haber ocurrido sismos importantes en lugares remotos y que no fueron reportados. Se concluye que de acuerdo a la historia sísmica del área de Lima (400 años), han ocurrido sismos de intensidades tan altas como IX en la escala de Mercalli Modificada.

2.2. EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO

El peligro sísmico del área de estudio se ha determinado utilizando la información pertinente en la literatura técnica como son las leyes de atenuación de Youngs et al (1997) para suelo y roca, la ley de atenuación del CISMID (2006) y la ley de atenuación de Sadigh et al (1997) y como herramienta para el proceso de información el programa de cómputo CRISIS 2007, desarrollado por Ordaz et al. (1999), que emplea métodos numéricos conocidos. Se han utilizado las fuentes sismogénicas para sismos continentales y de subducción, las cuales están basadas en el trabajo de tesis de investigación de Gamarra y Aguilar (2009).

Para la evaluación del peligro sísmico mediante leyes de atenuación para aceleraciones espectrales en el distrito de Comas, se ha considerado las coordenadas geográficas:

$$-77.04^\circ - 11.93^\circ$$



A continuación se utilizará la clasificación de suelos propuesta en el Internacional Building Code (IBC, 2006) para la descripción de los resultados obtenidos, los cuales muestran que la aceleración horizontal máxima del sismo de diseño considerando un suelo del Tipo B (roca), es de 0.33 g, este valor está referido al basamento rocoso o suelo firme y la aceleración horizontal máxima del sismo de diseño considerando un suelo firme del Tipo D, y considerando un suelo denso del Tipo C, presenta aceleraciones horizontales máximas (PGA) que varían entre 0.44 g a 0.53 g. Estos valores de aceleración corresponden a un periodo de retorno de 475 años, con un periodo de exposición sísmica de 50 años con una probabilidad de excedencia del 10%

III. CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS Y GEOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

Las características geomorfológicas del área de estudio, se ha obtenido de la información contenida de una serie de estudios que han involucrado el distrito de Comas, los cuales serán mencionados posteriormente para dar respaldo al capítulo en mención.

3.1. GEOMORFOLOGÍA DE COMAS.

El distrito presenta una geomorfología conformada por cerros y colinas, valles y quebradas, y el cono deyección del río Chillón, (SEDAPAL, 2009; HIDROENERGIA 2010,), los cuales se detallan a continuación.

Cerros y Colinas

A esta unidad geomórfica pertenecen los cerros que se caracterizan por su topografía casi abrupta, con pendientes de 35° a 50° de poca elevación, y separan a las unidades de las estribaciones cordilleranas y la unidad de planicies costaneras. Su morfología es ondulada y agreste.

En el área del proyecto sus taludes sobrepasan los 35°, y están cubiertas por una capa de arenas eólicas y en gran parte han sido aprovechadas como área urbana. Litológicamente esta unidad está constituida por rocas volcano-sedimentarias tipo calizas y lutitas, intercaladas con derrames volcánicos, eventualmente intruidas por cuerpos de granito (HIDROENERGIA, 2010).

Valles y Quebradas

Bajo esta denominación se consideran los tramos inferiores del Río Chillón. También se involucra a las quebradas tributarias, que generalmente permanecen secas, donde la escasa



precipitación pluvial no favorece la erosión de los suelos y rocas; más bien sus cauces o depresiones favorecen la acumulación de detritus o material coluvial (escombros de talud) (HIDROENERGIA, 2010). Estas quebradas mayormente se han formado durante el pleistoceno y solo funcionan cuando se producen fenómenos extraordinarios de precipitación (Fenómeno del Niño) desencadenando procesos geodinámicos violentos tales como coladas de barro, aluviones, etc. (SEDAPAL, 2009).

Cono de deyección

Constituye una llanura aluvial cubierta por material de acarreo transportado por el río Chillón; muestra una topografía moderada con zonas planas y localmente con algunas lomadas. Tiene la forma de un abanico, sobre esta llanura aluvial el río ha sufrido divagaciones y cambios de curso periódicos en diferentes épocas ecológicas, hasta alcanzar su posición actual, constituyendo en su conjunto, el colchón aluviónico o terreno de fundación de las aéreas bajas de Comas (HIDROENERGIA, 2010).

3.2. GEOLOGÍA DE COMAS

A. Aspectos Geológicos y Litológicos

La secuencia estratigráfica de la región abarca las formaciones o superunidades que se ubican unas fuera del área de estudio y otras en el marco del área de estudio. La geología regional comprende rocas y suelos con edades que van desde el Cretáceo Superior, Terciario y Cuaternario, hasta la más reciente, en el siguiente orden:

Formación Pamplona (Ki-pa).- Es una serie arcillo – calcárea, por su carácter muy arcilloso, constituye una unidad estratigráfica continua con las calizas de la formación Atocongo. Se le puede observar en el flanco oriental del Anticlinal de Lima en los cerros de la margen izquierda del río Chillón (Comas –Collique).

Por sus características litológicas se comporta como una unidad plástica, mostrando pliegues de arrastre, estructuras de sobrecarga, microplegamientos y esquistosidad de fractura. Litológicamente se encuentra conformado por calizas gris oscuras en estratificación delgada, las mismas que por oxidación dan coloraciones rojizas, intercaladas con lutita gris verdosa de disyunción astillosa y margas a veces con contenido de material carbonoso. La edad correspondiente a esta formación geológica es cretáceo inferior.



Formación Atocongo (Ki-at).- Esta formación debe su nombre a las calizas de la localidad de Atocongo, sus facies son la continuación de la formación Pamplona, pasando por una facies arcillo-calcareo a una facies calcárea.

A esta formación se le encuentra formando el flanco oriental del Anticlinal de Lima, aflora al Norte de Carabaylo, hacia las partes altas de Comas siguiendo una franja paralela a la formación Pamplona. Litológicamente está conformado por calizas afaníticas gris plomizas, macizas calizas margosas en capas de 5 a 10 cms., calizas metamorizadas afaníticas con tonalidades oscuras en capas moderadas, bancos de calizas silicificadas masivas. La edad de esta formación es equivalente al cretáceo inferior.

Formación Morro Solar (Ki-ms).- Esta formación descansa en contacto normal sobre la formación herradura y subyace a la formación Pamplona; sus afloramientos se extienden desde el Morro Solar de chorrillos donde tiene su localidad típica hasta el norte de Lima (espalda de la Universidad Nacional de Ingeniería) prolongándose hasta el valle del Chillón, su litología pertenecer a un cambio gradual de facies arcillosas a facies areniscosas, siguiendo luego en intercalaciones de areniscas en bancos delgados con niveles lutáceos, pasando de un color oscuro a rojizo, areniscas abirragadas, areniscas cuarzosas, que luego pasan a cuarcitas interestratificadas con niveles limolíticos gris verdosos.

Volcánico Quilmaná (Kms-q).- Es una serie integrante volcánica que descansa sobre el volcánico Huarangal en aparente discordancia deposicional. Litológicamente está constituido por derrames andesíticos masivos poco estratificados de textura porfírica, destacando los fenos de plagioclasa en una pasta fina o microcristalina de coloración gris a gris verdosa y en menor proporción las doleritas y diabasas. La edad de este grupo es el cretáceo superior.

B. Rocas Intrusivas.

Gabro - dioritas pertenecientes a la Superunidad Patap (Ks – gbdi – pt).- Esta unidad está compuesta por cuerpos de gabros y dioritas, las más antiguas del batolito, emplazados al lado occidental del mismo, con edad perteneciente al Cretáceo Superior, de color oscuro, debido a los magnesianos que contiene, la textura de la roca varía de grano medio a grueso, de alto peso específico, conteniendo hornblenda y biotitas. Generalmente se encuentran disturbadas, con signos de inestabilidad.

Depósito Aluvial Pleistocénico (Qp-al).- Constituido por acumulaciones aluviales desérticas del Cuaternario antiguo, principalmente por la activación de la quebrada La Molina. La litología de estos depósitos aluviales pleistocénicos, está conformada por bloques de roca de naturaleza intrusiva y volcánica y gravas con formas que van de subangulosas a angulosas, arenas de diversa granulometría y una matriz limosa o limo arcillosa.



C. Aspectos de Geología Estructural.

En el área de estudio y alrededores, producto de la fase compresiva del Terciario Inferior, se ha desarrollado un sistema de fallamiento con dirección NO – SE paralelo a la Cadena Andina, que ha favorecido el rápido desarrollo de la erosión lineal, así como un sistema de fracturas que obedecen a procesos tectónicos de compresión Post – batolito. Los grandes esfuerzos tangenciales han causado el fracturamiento intenso de los cuerpos rocosos ígneos, con fracturas ligeramente meteorizadas a limpias, que presentan aberturas que van desde milímetros a centímetros, lo que ocasiona que en superficie éstas se encuentren disturbadas, propensas a la inestabilidad.

D. Morfogénesis y Aspectos Geodinámicos

La configuración del relieve en la región está subordinada a procesos morfogenéticos que han ocurrido en el pasado geológico. A continuación se describe estos procesos:

Morfogénesis Terciaria.- Está asociada al inicio de la Orogénesis Andina, que ocurrió de fines del Mesozoico al Terciario Inferior, y la última fase de orogénesis (desde el Pleistoceno, hasta el Cuaternario Reciente) que se manifiesta con el levantamiento que eleva los Andes a sus altitudes actuales aproximadamente; luego una prolongada fase erosiva en el Terciario Medio redujo los Andes al estado de llanuras no muy elevadas sobre el nivel del mar. El rápido levantamiento plio-pleistoceno determinó un brusco incremento en las pendientes generales en el relieve con el consiguiente desarrollo de procesos erosivos e incisión fluvial.

Morfogénesis Cuaternaria.- El relieve ha sido modelado por la ocurrencia de las Glaciaciones Andinas, que originó gases fríos y húmedos por lo que el clima de la sierra recibió precipitaciones más abundantes que en la actualidad; lo que ocasionó que los huaycos de la región andina lleguen inclusive hasta el nivel del mar. La morfogénesis cuaternaria se caracteriza por un climatismo geomorfológico mucho más activo que el actual, especialmente durante la fase de glaciación andina, la última de las cuales duró aproximadamente 70,000 años, habiendo concluido hace 10,000 años.

IV. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL SUBSUELO DEL DISTRITO COMAS

4.1. PERFIL ESTRATIGRÁFICO.

Para determinar las características geotécnicas del distrito de Comas, se ha tomado como base la recopilación de estudios geotécnicos realizado con fines de microzonificación para APESEG (CISMID, 2004), así como los estudios de mecánica de suelos ejecutados por terceros en



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



diferentes años. Esta información ha sido complementada con un programa de exploración geotécnica de verificación realizado como parte del presente proyecto. La ubicación de los estudios recopilados y las calicatas ejecutadas se indican en el Plano P-01 del Apéndice B. Los registros de los sondajes ejecutados y recopilados se muestran en los Anexos B-1 y B-2 del Apéndice B, respectivamente.

Seguidamente se presenta una descripción de la estratigrafía de los suelos recopilados y ejecutados de acuerdo a las siguientes zonas:

Zona Nor-Oeste, comprende la zona adyacente a la margen izquierda del río Chillón, la cual se encuentra limitada: al norte con el Distrito de Carabaylo, al oeste con el Distrito de Puente Piedra, al este con la Av. Universitaria y al sur con la Av. Los Ángeles. Esta zona agrupa principalmente el Fundo Santa Bárbara, la Urb. Bello Horizonte, la Urb. Alameda del Pinar, ex-Fundo Chacra Cerro y de la Escuela de Aviación Civil de Collique, la Urb. El Retablo, la Urb. El Pinar, la Urb. La Alborada II etapa, la Urb. Tungasuca, la Urb. San Felipe Segunda Etapa Sector B, la Urb. San Carlos; además de los Asentamientos Humanos y Cooperativas de Vivienda, ubicados al occidente de la Av. Universitaria.

De acuerdo a las calicatas ejecutadas para el presente estudio; en la calicata C-1, ubicada en una zona entre la Asociación de Propietarios Las Diamelas y el Programa Residencial Las Margaritas, se encontró hasta los 2.20 m de exploración un material de relleno arcilloso-limoso de mediana plasticidad. En la calicata C-4, ubicada en la intersección de la Av. San Juan y la Calle 2, en la Urb. Alameda del Pinar, se encontró un estrato de 0.30 m de espesor compuesto por material de relleno, seguido por un estrato de 1.55 m de arcilla de alta plasticidad, a continuación se encontró hasta los 2.5 m de exploración un material limo arenoso ligeramente plástico.

En el estudio E35, ubicado en la Asociación de Viviendas Zancudo Alto, se describe un estrato superficial de relleno arcilloso-limoso de 3.50 m de espesor, seguido de arcilla limosa de plasticidad baja de 1.20 m de espesor, adyacente a este estrato continua el material gravoso de matriz arenosa-limosa hasta la profundidad de exploración de 6.0 m.

El registro de la calicata E-03, ubicada entre la calle La Compuerta y Av. Condorcanqui – Fundo Chacra Cerro, describe un estrato de 1.20 m de espesor conformado superficialmente por un estrato de arcilla de baja plasticidad, de consistencia media dura con presencia de agrietamientos y caliches; subyacente a este suelo sigue un material limo orgánico blando y de alta plasticidad, con presencia de oxidaciones y arenas en estado semi sueltas.

El registro de la calicata E30, ubicada en el Parque Virgen del Carmen de la Urbanización El Pinar, describe un relleno superficial compuesto por arcillas de baja y alta plasticidad de 0.75 m y 0.70 m de espesor respectivamente. Seguido de un material limoso de baja plasticidad de 1.15 m



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES**



de espesor. Adyacente a estos suelos, se tiene una arcilla limosa de baja plasticidad de consistencia dura llegando hasta los 4.0 m de exploración.

En esta zona Nor-Oeste del Distrito de Comas, se ha identificado un área con problemas de drenaje y ascensión de sales solubles, la cual está limitada: al norte con la Av. San Carlos, al sur con la calle 23 en la Urb. El Pinar, al este con la Av. Universitaria y al oeste con la calle Condorcanqui y Av. Héroes del Alto Cenepa. Esta zona está ubicada en una depresión topográfica. El desnivel entre la zona El Pinar, Av. Universitaria y Av. Trapiche está entre 5 a 6 m, siendo la Calle 29 la línea de convergencia de las aguas por ser la parte más depresionada y por donde discurre el agua por gravedad y en forma natural cuando la napa freática se eleva y puede llegar a aflorar a la superficie por acción de la recarga. En general a partir de la zona El Pinar, se aprecia hacia ambos lados elevación del nivel del terreno hacia la Av. Universitaria y El Trapiche con una pendiente lateral de 1 %. Longitudinalmente la depresión se manifiesta a partir de la Av. San Carlos hasta la Av. Sangarará.

De la información recopilada, se tiene que con el correr de los años esta depresión se ha rellenado con desmonte proveniente de nuevas urbanizaciones en las cuales se tiene viviendas muy modestas y de material noble, las mismas han sido afectadas por el aumento lento de la napa freática generando asentamientos en sus viviendas, ascensión de sales solubles en los muros, y afectación a la salud de los habitantes, lo que se acentúa mas debido a la carencia de servicios básicos en ciertas zonas. Este problema de afloramiento de aguas surge a raíz de que en junio del 2001, entra en operación la planta de tratamiento de Punchauca, abastecida por las aguas del río Chillón, por lo que se dejó de operar casi todos sus pozos de agua subterránea, provocando un lento incremento del nivel freático, lo que tuvo su máxima manifestación en el año 2003. En la actualidad funciona un sistema de Drenaje compuesta por tuberías de drenaje subterráneas y buzones de control, manteniendo la napa freática a un nivel que no afecta la cimentación de las viviendas y la infraestructura pública (pistas, veredas, sistemas de desagüe, abastecimiento de agua potable y otros).

Las principales asociaciones de vivienda y urbanizaciones que fueron afectadas por el afloramiento de aguas y pueden volver a sufrir este problema en circunstancias de falla del sistema de drenaje existente, son las siguientes: Villa Santa Cruz, Asociación de Vivienda El Roble, Villa Ordóñez, Asociación Vivienda Nuevo Amazonas, Villa Ávalos, Asociación de Vivienda San Andrés, Villa Estela, Asociación de Vivienda San Carlos, Urbanización Huertos de Pro, Parcelas de cultivo en la zona agrícola, Asociación de Vivienda Los Manantiales Del Pinar, Asociación de Vivienda Villa Lastenia, Asentamiento Humano Chacra Cerro, Asociación de Vivienda Las Begonias, Urbanización El Paraíso, Asociación de Vivienda Nuevo Sol, Urbanización La Alborada Segunda Etapa, Asociación de Vivienda Vista Alegre, Urbanización El Pinar (Parcela F, G, E y D), y otros (zona de los alrededores).



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



En esta zona de depresión topográfica, se han ejecutado 02 calicatas, C-7 y C-8. En la calicata C-7, ubicada en Calle 29 -Mz. L4 Lte. 30-Parcela F- Urbanización El Pinar, se ha encontrado superficialmente 0.30 m de relleno conformado por desmonte, restos de ladrillos y plásticos. Seguido por un estrato de relleno conformado por gravas sub-redondeadas de Tamaño máximo de 8 pulgadas, con matriz de arena arcillosa de baja plástica, hasta los 3 m de exploración.

En la calicata C-8, ubicada en el pasaje Juan Pablo Lte. 8 Asociación de Vivienda Villa Santa Cruz, se ha encontrado un estrato de 0.50 m de espesor conformado por arcilla limosa, plástica, ligera humedad y medianamente compacta; seguido por un estrato de arena limosa, no plástica, rígida, con presencia de gravas oxidadas y fracturadas. A continuación sigue un estrato de 1.50 m de espesor compuesto por arena arcillosa, ligera plasticidad, con presencia de gravas sub-redondeadas de tamaño máximo de 6 pulgadas.

En general, la zona Nor-Oeste de Comas, presenta características geotécnicas similares dado que se encuentra material de relleno superficial, seguido por intercalaciones de suelos finos cuya compacidad aumenta en relación a la profundidad. El material gravoso está a profundidades promedio de 7.00 m, encontrándose más superficialmente en dirección sur. Esto se puede evidenciar en la información de pozos recopilados (S48, S49, S50, S50, S51 y S52).

Zona Central, comprende la zona limitada por: al norte con el Distrito de Carabaylo, al oeste con la Av. Universitaria, al este con la Av. Túpac Amaru y al sur con la Av. Jamaica.

De norte a sur, esta zona está conformada por la Urb. San Felipe II Etapa Sector A, por la Urb. San Felipe I Etapa, parte de la Urb. San Carlos, la Urb. La Alborada I etapa, la Urb. Popular San Juan Bautista I etapa, el Parque Zonal Sinchi Roca, el A.H. Año Nuevo Zona D, el A.H. Año Nuevo Zona E, el A.H. Municipal Asoc. Pobladores 9 de setiembre, y A.H. Municipal Asoc. Villa Violeta.

En esta zona se han ejecutado dos calicatas, C-2 y C-3. La Calicata C-2, ubicada en el Parque entre la Av. Sinchi Roca y Jr. Las Hortencias - Urb. Alborada II Etapa, se ha encontrado un estrato 1.20 m de relleno conformado por tierra de cultivo, seguido por un estrato de 1.15 m de espesor conformado por una arena limosa de mediana plasticidad, en estado firme y con presencia en un 0.8% de grava. Por debajo de este estrato hasta los 3.0 m de profundidad, se encuentran una arena bien gradada, con presencia aislada de grava en un 8.1 % y tamaño máximo de 10 pulgadas.

En la calicata C-3, ubicada en el parque ubicado en la intersección de la Ca. Grau y Ca. La Unión - A.H. Año Nuevo Zona E, se ha encontrado un estrato de 0.20 m de espesor conformado por material inorgánico con presencia de raíces; seguido por un estrato de 1.25 m de espesor, conformado por arcilla limosa, plástica, ligeramente húmeda y con presencia de raíces. A



continuación sigue un lente de arena de 0.25 m de espesor, seguido por un estrato de 0.80 m de espesor compuesto por limo arenoso de 1 cm de diámetro, en estado semi-húmedo.

En el registro de la calicata E31, ubicada en el Parque N° 2 - Urb. La Alborada I Etapa, se describe un relleno superficial compuesto por limo arenoso, no plástico en estado suelto, seguido por estratos de arena con características variadas que van desde una arena arcillo- limosa, a una arena pobremente graduada y bien graduada hasta un arena de grano fino, no plástico de compacidad suelta a media densa, llegando hasta los 4.0 m de exploración.

Zona Sur-Oeste, comprende la zona delimitada por: al norte con la Av. Jamaica y Av. Los Ángeles, al oeste con la Av. Universitaria y distrito de Los olivos, por el este con la Av. Túpac Amaru y por el sur con el distrito de Independencia.

De norte a sur, está conformada por: la Urb. San Agustín, la Urb. Popular Chacra Cerro, la Urb. El Retablo I etapa, el A.H. Los Claveles de Pro, la Urb. El Álamo, la Urb. Huaquillay I y II Etapa, la Urb. Santa Luzmila, la Urb. Viñedos de Carabaylo I y II Etapa, el A.H Municipal N° 2, la Asoc. de Vivienda san Miguel, la Urb. Santa Rosa de Infantes, la Urb. de Vivienda General San Martín, la Urb. Santa Luisa I Etapa, la Urb. El Parral, la Urb. Las Vegas, la Urb. Carabaylo II Etapa Sector C y Sector F, la Urb. Santa Isolina II y III Etapa, la Asociación Padres de Familia Rosa de América, el A.H Señor de los Milagros II, la Urb. Santa Eulogio, la Urb. Santa y la Urb. Ligía.

Esta zona, se caracterizan por presentar en los dos primeros metros de espesor un material variable que va desde arcillas, limos y arenas, seguido un material gravoso hasta la profundidad de 9 m de acuerdo a los registros recopilados.

En el estudio E18, ubicado cerca al Colegio Simón Bolívar – Urb. Santa Luzmila, se describe superficialmente arcilla de baja plasticidad con arena de 1.00 m de espesor, subyacente a este material se halla grava pobremente graduada con matriz arenosa hasta una profundidad de 3.0 m. En el estudio E-41, ubicado en la Urb. El Retablo II Etapa, se evidencia relleno superficial de 0.30 m de espesor, seguido de arena fina limosa medianamente densa con espesor de 1.15 m, adyacente a este estrato se encuentra la grava arenosa mal graduada con piedras y bolones redondeados hasta los 5 m de profundidad. En el intermedio de este estrato de grava a 2.5 m de profundidad, se encontró un lente de arena fina ligeramente gravosa de 0.40 m de espesor.

En el registro de la calicata E28, ubicada en la Mz. G - Sector 1- Urb. Carabaylo, se describe un estrato de 0.70 m de espesor conformado por relleno de arena limosa, de baja plasticidad con presencia de raíces. A continuación se tiene un estrato de 0.80 m de espesor, conformado por arcilla de baja plasticidad, con presencia de limos y arenas, medianamente compacta y húmeda, seguida por un estrato de 1.0 m de espesor conformado por arena limosa de mediana compacidad. Por debajo de los 2.5 m se encontró la grava bien graduada, de forma sub redondeada, compacta y con presencia de boleos de tamaño máximo de 7 pulgadas.



En el registro del Pozo S35, ubicado en la calle Jamaica y el Parque Zonal Sinchi Roca, se describe un estrato superficial de 1.0 m de espesor conformado por tierra de cultivo, seguido de un estrato de arcilla de similar espesor. A partir de los 2 m de profundidad se encuentra un material constituido por cantos rodados con arena gruesa.

En el registro de la calicata E12, ubicada entre el Jr. José Olaya y el Jr. Juan Pablo de Olavide cerca a la Av. Túpac Amaru Km 13-Urb. Huaquillay, se describe un estrato superficial de 1.5 m de espesor conformado por arena limosa, no plástica. A partir de esta profundidad hasta los 3 m de exploración se encuentra un material constituido por grava pobremente gradada con matriz de arena en estado compacto y presencia de bolonería de tamaño máximo de 6 pulgadas.

En el registro de la calicata E19, ubicada entre el Jr. Pagador - Urb. Santa Luzmila, se describe un estrato superficial de 1.10 m de espesor conformado por grava arcillosa, seguida hasta los 3.0 m de profundidad por grava pobremente gradada, sub redondeada con matriz de arena fina, en estado semi compacta, y presencia de bolonería de tamaño máximo de 8 pulgadas.

En el registro de la calicata E42, que se encuentra en el Mercado UNICACHI ubicado entre la calle Lorenzo Valderrama y Av. Los Ángeles, se describe un relleno de 1.50 m de espesor conformado por arcilla limosa, arenosa, baja plasticidad y muy compacta, seguido hasta los 5 m de exploración, por la grava arenosa mal grada, con bolones sub redondeados de tamaño máximo de 9 pulgadas.

En el registro de la calicata E15, ubicada entre la Av. Guillermo de la Fuente y Jr. Vicente Morales – Urb. Santa Luzmila, se describe un relleno de 0.35 m de espesor conformado por limo arcilloso, suelto, no plástico y presencia de desmonte. A continuación subyace un estrato de 0.50 m de espesor conformado por arcilla arenosa de baja plasticidad y compacta, seguido hasta los 5 m de exploración, por la grava pobremente gradada, densa, con partículas sub redondeados de tamaño máximo de 3 pulgadas y bolonerías de tamaño máximo de 8 pulgadas.

En el registro de la calicata C06, ubicada en el parque que se encuentra entre la calle Washington y la calle Pensilvania - Urb. Las Vegas, se describe un estrato de 1.20 m de espesor conformado por arcilla delgada arenosa de mediana plasticidad, en estado firme, con presencia aislada de gravillas y gravas en un 2.3 %, seguido hasta los 2 m de exploración, por la grava mal grada, con matriz arena gruesa y cantos sub redondeados en un 69% y con tamaño máximo de 8 pulgadas.

En el registro de la calicata E26, que se encuentra en el Instituto Cueto Fernandini, ubicado entre la Av. El Parral y la Av. Túpac Amaru, se describe un relleno de 0.50 m de espesor conformado por limo arenoso con arcilla, compacta y presencia de grava muy aislada, seguida por un estrato de 1.05 m de espesor constituido los primeros 0.50 m por arena gruesa bien gradada y el resto



por arena fina limosa de baja plasticidad de consistencia medianamente dura. A continuación se tiene 0.45 m de arcilla limosa de baja plasticidad y consistencia medianamente dura, seguida por 1.0 m de limo de baja plasticidad, consistencia medianamente dura y con presencia de oxidaciones, le sigue hasta los 4 m de profundidad una arcilla de baja plasticidad, consistencia medianamente dura y lentes de arena fina.

Zona Este, se encuentra limitado por el oeste por la Av. Túpac Amaru y por el este por los depósitos aluviales y coluviales que se encuentran al pie de las formaciones rocosas Quilmaná y Patap, de pendiente abrupta entre 35° a 50° y de morfología agreste.

En general, el perfil correspondiente a esta región presenta rellenos superficiales de variable espesor, llegando en la zona norte de acuerdo a los estudios E5, E6 y E7 hasta una profundidad máxima de 1.10 m, y en la zona sur según el estudio E24 hasta 2.00 m de profundidad, y en estudio E25 hasta los 0.90 m de profundidad, seguido por depósitos de arenas y/o alternancia de materiales arenosos y gravosos.

La Zona Este, está conformada principalmente por el A.H. Collique, el A.H. Federico Villarreal, el A.H. Milagro de Jesús, el P.J. Nueva Esperanza, el A.H. Año Nuevo, la Urb. Villa Oropeza, el A.H. Dios Es Amor, la Urb. La Pascana, el P.J. El Carmen, la Urb. Repartición, el P.J. Señor de los Milagros, el A.H. Uchumayo, el P.J. Barrio Marginal Santa Rosa, el P.J. Pampas de Comas, el A.H. Pasamayo, el P.J. Barrio Marginal Santa Rosa, el A.H. Nueva Florida, el A.H. Clorinda Málaga de Prado, el P.J. Sol Naciente, el A.H. La Merced, el A.H. Villa Hermosa, el A.H. Túpac Amaru, el P.J. Joven Manco Inca, entre otros ubicados en parte alta de esta zona.

En el registro de la calicata E22, ubicada en el Jr. 2 de Mayo y Jr. Santa Rosa - P.J. Pampas de Comas, describe un estrato de arena pobremente gradada con limos, semi-compacta, poco húmeda, de 1.70m de espesor, seguido de gravas pobremente gradadas angulosa con arena y bolones de tamaño máximo de 10" de origen andesítico.

En el registro de la calicata E17, ubicada en el cruce de la Av. Víctor Belaunde y la calle Piura - P.J. Carmen alto, se describe un espesor de 1.20 m de relleno conformado por arena pobremente gradada con limos y grava angulosa, de compacidad semi-densa. Seguidamente, se halló grava pobremente gradada con limos, de compacidad densa a muy densa, con 10% de cantos de tamaño máximo de 4".

En el A.H. Marginal Carmen Bajo, se tiene el estudio E36, en el cual se describe un relleno superficial de 0.50 m de espesor, consistente en arena fina a gruesa, ligeramente limosa, mal gradada, medianamente densa y con gravas angulares de 3" de tamaño máximo. Posterior a este, se encuentra una alternancia de materiales gruesos, tanto gravosos como arenosos, con



presencia de limos, medianamente densa y ligeramente húmeda hasta la profundidad de exploración de 5.0 0m.

En el registro de la Calicata E07, ubicada entre la Av. Cesar Vallejo y Av. Hipólito Unanue - A.H. Collique, se describe un estrato superficial de relleno de restos de ladrillo, concreto, polietileno, trapos y basura, con presencia de bloques de tamaño máximo de 20", seguido de material coluvial con bloques de tamaño máximo de 20" y gravas bien gradadas con arena de compacidad media.

En el Anexo B-0 del Apéndice B, se muestra las láminas de los cinco perfiles de suelos, así como también la descripción de los mismos, elaborados con la finalidad de conocer la variación del material subyacente a lo largo de diferentes ejes trazados en el distrito de Comas, considerando tanto los estudios recopilados y ejecutados.

4.2. ZONIFICACIÓN GEOLÓGICA Y PELIGRO GEOLÓGICO DE LOS TALUDES.

La evaluación de peligros realizado en la zona de estudio se presenta en el Anexo B-4 del Apéndice B. La Zonificación geológica asociada al peligro geológico potencial identificado en el área de estudio se detalla a continuación:

Zona G1.- En esta Zona se puede apreciar que las habilitaciones urbanas están comprometidos con las formaciones rocosas pertenecientes a la formación Atocongo (Km-at) constituidas por calizas, gabro dioritas (/Ks-gbdi-pt) de la super unidad Patap que se encuentra principalmente en las partes altas de los cerros, el volcánico Quilmaná (Kms-q) compuesto por derrames volcánicos del tipo andesita. Esta Zona está propensa, si se dan las condiciones, a sufrir fenómenos de geodinámica externa del tipo deslizamiento de detritos y lodo, derrumbe y caída de bloques de roca. El peligro geológico potencial de esta zona es moderado.

Zona G2.- En esta Zona se puede apreciar que las habilitaciones urbanas están comprometidos con las formaciones rocosas pertenecientes a la formación Atocongo (Km-at) constituidas por calizas, gabro dioritas (/Ks-gbdi-pt) de la super unidad Patap que se encuentra principalmente en las partes altas de los cerros, el volcánico Quilmaná (Kms-q) compuesto por derrames volcánicos del tipo andesita. Esta Zona está comprometida con la quebrada q1 que va a lo largo de la Av. Revolución, con una longitud aproximada de 5 km y un desnivel de aprox. de 2,500 m. Los taludes existentes están propensos, si se dan las condiciones, a sufrir fenómenos de geodinámica externa del tipo deslizamiento de detritos y lodo, derrumbe y caída de bloques de roca. Los lugares asociados a esta Zona son la Coop. Sangarará, Asoc. Villa Collique, A.H Año Nuevo sector 27 de Noviembre, Asociación Propietarios Av. Túpac Amaru. Se tiene también la quebrada q2 que va a lo largo de la Av. Milagro de Jesús, que sale en forma de Y de la quebrada q1. El peligro geológico potencial de esta zona va de moderado a alto.



Zona G3.- En esta Zona se puede apreciar que las habilitaciones urbanas están comprometidos con las formaciones rocosas pertenecientes a la formación Atocongo (Km-at) constituidas por calizas y en las partes altas de los cerros el volcánico Quilmaná (Kms-q) compuesto por derrames volcánicos del tipo andesita y gabro-dioritas (KTi-gbdi-p) de la súper unidad Patap. Esta Zona está comprometida por el P.J Año Nuevo, A.H Carmen Bajo, A.H Dios es Amor, P.J El Carmen, A.H Nuevo San José, A.H Cerro el Calvario, A.H Vista Alegre, A.H Nuevo San José. En esta zona está propenso a ocurrir fenómenos de geodinámica externa del tipo deslizamiento de detritos y lodo, derrumbes y caída de bloques de roca. El peligro geológico potencial de esta zona es moderado.

Zona G4.- En esta Zona se puede apreciar que las habilitaciones urbanas están comprometidos con las formaciones rocosas pertenecientes a la formación Atocongo (Km-at) constituidas por calizas, Grupo Morro Solar (Ki-ms), gabro dioritas (/Ks-gbdi-pt) de la super unidad Patap que se encuentra principalmente en las partes altas de los cerros, el volcánico Quilmaná (Kms-q) compuesto por derrames volcánicos del tipo andesita. Esta Zona está comprometida con la quebrada q3, que va a lo largo de la Av. Víctor García Belaunde, con un desnivel de aproximadamente de 1,200 m. Los taludes existentes están propensos, si se dan las condiciones, a sufrir fenómenos de geodinámica externa del tipo deslizamiento de detritos y lodo en las laderas, derrumbe y caída de bloques de roca en las partes altas. Esta Zona está comprometida por A.H. Sr. De los Milagros, A.H Virgen de Las Nieves, A.H Los Ángeles, A.H El Mirador, P.J El Carmen Alto. El peligro geológico potencial de esta zona va de moderado a alto.

Zona G5.- En esta Zona se puede apreciar que las habilitaciones urbanas están comprometidos con las formaciones rocosas pertenecientes a al Grupo Morro Solar (Ki-ms) y en las partes altas, formación Atocongo (Km-at) constituidas por calizas, gabro dioritas (/Ks-gbdi-pt) de la super unidad Patap. Esta Zona está comprometida con el A.H Pacasmayo, P.J El Cerro Peruano. En esta zona, si se dan las condiciones, pueden ocurrir fenómenos de geodinámica externa del tipo deslizamiento de detritos y lodo, derrumbe y caída de bloques de roca. El peligro geológico potencial de esta zona es moderado.

Zona G6.- En esta Zona se puede apreciar que las habilitaciones urbanas están comprometidos con las formaciones rocosas pertenecientes a la formación Atocongo (Km-at) constituidas por calizas, gabro dioritas (/Ks-gbdi-pt) de la super unidad Patap que se encuentra principalmente en las partes altas de los cerros. Esta Zona está comprometida con la quebrada q4, que va a lo largo de la Av. Puno, que en el cuaternario pleistocénico estuvo en actividad condicionado a las intensas lluvias y la desglaciación, ocurrida en el cuaternario antiguo. Los taludes existentes están propensos, si se dan las condiciones, a sufrir fenómenos de geodinámica externa del tipo deslizamiento de detritos y lodo, derrumbe y caída de bloques de roca. Esta Zona está comprometida con el P.J Soledad Alta, P.J 9 de Octubre, P.J La Libertad y San Gabriel, A.H Santa Rosa y A.H Inca Huasi. En la zona en mención, si se dan las condiciones, están propensas



a ocurrir fenómenos de geodinámica externa del tipo deslizamiento de detritos y lodo en laderas, derrumbes en las partes altas, caída de bloques de roca. El peligro geológico potencial de esta zona va de moderado a alto.

Zona G7.- En esta Zona se puede apreciar que las habilitaciones urbanas están comprometidos con las formaciones rocosas pertenecientes a Grupo Morro Solar (Ki-ms), el volcánico Quilmaná (Kms-q) compuesto por derrames volcánicos del tipo andesita, formación Atocongo (Km-at) constituidas por calizas, gabro-dioritas de la superunidad Patap. Esta Zona esta comprometida con el A.H Villa Hermosa, P.J Clorinda, Urb. Sol Naciente, Urb. La Merced, A.H 28 de Julio, A.H Villa Primavera, A.H Sol Naciente, A.H Villa Los Jardines, P.J Manco Inca, Asc. Pro-vivienda Víctor Raúl Haya de la Torre, Urb. Santa Ligia y Urb. José Quiñones. En esta zona está propenso a ocurrir fenómenos de geodinámica externa del tipo deslizamiento de detritos y lodo en laderas, derrumbes y caída de bloques de roca en las partes altas. El peligro geológico potencial de esta zona es moderado.

4.3. MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA.

Los perfiles de suelos elaborados para las diferentes zonas del área de estudio fueron implementados en una base de datos de un sistema de información geográfica (GIS), debido a que esta herramienta permite combinar un gran volumen de datos de diferente tipo, incluyendo un adecuado manejo de las bases de datos y una rápida y detallada presentación gráfica de los resultados mediante mapas temáticos, y así visualizar con mayor claridad la variabilidad espacial de los tipos de suelos en el área en estudio; siendo posible elaborar mapas de suelos para profundidades de 1 m y 2 m; como se muestran en los Planos P-02 y P-03 del Apéndice B respectivamente.

Esta información ha permitido delimitar con mayor precisión las cuatro zonas geotécnicas identificadas en el distrito de Comas. La delimitación del área de estudio por tipos de suelos es una información básica para realizar el modelamiento del comportamiento del terreno en la determinación del nivel de peligro sísmico, y que complementado con la información dinámica del terreno se definirá, el Mapa de Microzonificación Sísmica del Distrito de Comas.

En el Plano P-02 del Apéndice B, se muestra el mapa de tipos de suelos al nivel de 1 m de profundidad, el cual es el nivel promedio de la profundidad de desplante de la cimentación en edificaciones convencionales. En este plano se puede observar que a la profundidad considerada, en la zona oeste del distrito gobierna la presencia de materiales arcillosos y limosos de consistencia media, y en la zona este, material gravoso de mediana compacidad. Además, distribuidos aleatoriamente se encontraron depósitos de rellenos de 3.50 m de máxima profundidad. .



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



Con los antecedentes descritos, así como de la necesidad de definir las características del terreno para el distrito de Comas, se propone un plano de Microzonificación Geotécnica, que incluye la capacidad de carga admisible de una cimentación corrida de una edificación convencional. El criterio de diseño de una cimentación considera que para garantizar el comportamiento satisfactorio de las estructuras, se deben cumplir las dos condiciones siguientes:

- a. La cimentación debe ser segura contra la falla de corte del suelo que la soporta, y
- b. Los asentamientos producidos por la carga transmitida por la cimentación deben ser menores que los permisibles para cada tipo de edificación.

En consecuencia, considerando que se cumplan estas dos condiciones, se ha realizado el cálculo de la capacidad de carga admisible para la cimentación de una vivienda convencional, consistente en un cimiento corrido de 0.60 m de ancho y profundidades de cimentación variable en función al tipo de suelo encontrado en las diferentes zonas del distrito de Comas.

Para tal fin, se ha utilizado la teoría de capacidad de carga de Terzaghi, con los factores de capacidad de carga propuestos por Vesic (1973). Para la evaluación de la capacidad de carga admisible se han utilizado los parámetros de resistencia cortante de los diferentes estudios con fines de cimentación recopilados y los ensayos de laboratorio ejecutados. En la Tabla B-6 del Apéndice B, se muestran los cálculos de capacidad de carga admisible y asentamiento.

Los resultados del análisis químico, registrados en los diferentes estudios recopilados, demuestran en su mayoría que no existen problemas de agresión del suelo a los elementos de cimentación, dado que la presencia de sulfatos y sales solubles totales en el agua es menor que 1000 ppm y 15000 ppm respectivamente. Sin embargo, se han encontrado registros de zonas con valores de concentraciones de sulfatos superiores al resto, como es el caso de los estudios: E-33 (ubicado en el Jr. Primavera en el A.H. La Primavera) y E-34 (ubicado frente al Parque La Libertad, en la intersección del Jr. Perú y el Jr. Jorge Chávez); que demuestran que en estos suelos existe un grado de alteración químico cercano al límite inferior para que sea considerado como moderado.

Debido a la presencia de elementos nocivos para la cimentación en estos lugares, por prevención se recomienda que el concreto utilizado para las cimentaciones sea elaborado con cementos tipo II, V o puzolánicos (IP) que presentan una alta resistencia a los sulfatos. En las Tablas B-4 y B-5 del Apéndice B, se presentan los valores de los resultados de ensayos químicos recopilados y los límites permisibles de elementos químicos nocivos para la cimentación, respectivamente.

En función a los perfiles estratigráficos y tipos de suelos identificados en las diferentes áreas del distrito de Comas, así como la descripción del peligro geológico de los taludes, se ha dividido el área de estudio en cuatro zonas, tal como se describe a continuación:



Zona I: Esta zona está conformada por los depósitos cuaternarios de grava con arenas y/o materiales finos superficiales en las zonas este y sur del distrito de Comas, además de la parte norte de la zona limítrofe con el distrito de Los Olivos. Dentro de esta denominación se pueden incluir a los depósitos aluviales provenientes del cono de deyección del río Chillón, los depósitos de huayco que se encuentran en las quebradas y los depósitos coluviales (formados bajo la acción de la gravedad) que se encuentran al pie de las formaciones rocosas Quilmaná y Patap.

En general, el material gravoso se encuentra a una profundidad que en promedio es menor a los 2.00 m, pudiéndose encontrar en zonas puntuales a profundidades mayores. En dirección este, esta profundidad va disminuyendo debido a la presencia de los afloramientos rocosos de las formaciones antes mencionadas.

En esta zona, las cimentaciones estarán emplazadas, dependiendo el caso, en gravas semi-compactas, arenas densas o material fino de consistencia firme. La capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho varía de 1.70 a 3.0 kg/cm² a la profundidad de cimentación de 0.80 a 1.50 m.

Zona II: Esta zona predomina en la región norte del distrito de Comas, y además se presenta como una franja en la zona sur oeste del distrito colindante con el distrito de los Olivos; está conformada por materiales superficiales arenosos finos y/o alternancias de suelos finos cohesivos y no cohesivos, además de depósitos puntuales de relleno de profundidad mayor a 2.00 m localizados en parte norte de esta zona. La profundidad a la que se encuentra el material gravoso es mayor a 2.0 m y en promedio está por debajo de los 4.00 m, pudiéndose encontrar a profundidades mayores como lo evidencian los pozos ubicados en esta zona. En general, el terreno de cimentación está conformado por suelos finos de consistencia media a dura de bajo contenido de humedad. Considerando una cimentación corrida de 0.60 m de ancho se obtienen valores de capacidad portante de 1.20 a 1.80 kg/cm² a la profundidad de cimentación de 1.00 a 1.50 m.

Zona III: Esta zona está localizada en el sector Nor-Oeste del distrito de Comas y está delimitada: al norte con la Av. San Carlos, al sur con la calle 23 en la Urb. El Pinar, al este con la Av. Universitaria y al oeste con la calle Condorcanqui y Av. Héroes del Alto Cenepa.

En esta zona, se presenta problemas de drenaje y ascensión de sales solubles, con aéreas críticas por presentar nivel freático entre 0.80 y 2.0 m., debido a su ubicación y depresión topográfica. El desnivel entre la zona El Pinar y Av. Universitaria y Av. El Trapiche está entre 5 a 6 m. En general a partir de la zona El Pinar, se aprecia hacia ambos lados elevación del nivel del terreno hacia la Av. Universitaria y Av. Trapiche con una pendiente lateral de 1 %.



Longitudinalmente la depresión se manifiesta a partir de la Av. San Carlos hasta la Av. Sangarará.

La zona deprimida, con el correr de los años, se ha rellenado con desmonte proveniente de nuevas urbanizaciones, desarrollándose sobre estos rellenos urbanizaciones en las cuales se tiene viviendas muy modestas y de material noble las mismas que en año 2001, fueron afectadas por el aumento lento de la napa freática generando asentamientos en sus viviendas, ascensión de sales solubles en los muros, y afectación a la salud de los habitantes, lo que se acentúa mas debido a la carencia de servicios básicos en ciertas zonas.

En la actualidad funciona un sistema de Drenaje compuesta por tuberías de drenaje subterráneas y buzones de control, manteniendo la napa freática a un nivel que no afecta la infraestructura privada y pública en las urbanizaciones ubicadas en esta zona.

En general el terreno de cimentación está conformado por suelos finos, arcillas y rellenos de hasta 3 m de profundidad conformado por gravas sub-redondeadas de TM de 8", con matriz de arena arcillosa de baja plástica. Estos suelos se encuentran con ligera humedad en estado de compacidad media densa, con cuyas características de resistencia se obtienen valores de capacidad de carga de 1.00 a 1.31 Kg/cm², considerando una cimentación corrida de 0.60 m de ancho a la profundidad de cimentación de 2.00 a 2.50 m.

En esta zona el nivel de peligro es moderado debido que asociado a la depresión topográfica existe el peligro que la napa freática aflore a la superficie en épocas críticas. Por tanto es una zona susceptible a asentamientos por el incremento del nivel freático ante falla del sistema de drenaje existente.

Zona IV: Esta zona está asociada a los taludes de fuerte pendiente que se localizan en el sector Este del distrito de Comas. En esta zona existe un potencial peligro de deslizamiento de detritos y lodos, derrumbes y caídas de rocas que están condicionadas a las precipitaciones pluviales y a la ocurrencia de sismos.

El plano de Microzonificación Geotécnica realizado en base a la descripción arriba indicada se presenta en el Plano P-04 del Apéndice B.



V. CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS DEL SUBSUELO DEL DISTRITO COMAS

5.1. INTRODUCCIÓN

Con la finalidad de determinar los perfiles de velocidades de ondas S en la zona de estudio se realizaron ensayos de medición de microtrepidaciones, utilizando el método F-K. A su vez, con el objeto de determinar los periodos predominantes de vibración natural y los valores de amplificación sísmica en la zona de estudio se realizaron también mediciones de microtrepidaciones, en forma puntual, para ser luego procesados por el método H/V. Los resultados obtenidos de los mencionados ensayos geofísicos han sido comparados con los tipos de suelos existentes encontrados en los registros de los sondajes realizados y recopilados, los cuales han permitido complementar los resultados de la presente investigación.

5.2. ENSAYOS DE MEDICION DE ONDAS DE CORTE – MÉTODO F-K

El principio de este método radica en el hecho de que los Microtremores consisten predominantemente de ondas Rayleigh, y que el análisis espectral de estos puede reproducir las características dispersivas de las ondas Rayleigh, las cuales reflejan el perfil de velocidad de onda de corte del sitio en estudio (Tokimatsu et al., 1992a, Tokimatsu et al., 1992b).

El análisis espectral se basa en la relación Frecuencia-Número de Onda de Alta Resolución desarrollado por Capon (1969), la cual es una técnica simple para la extracción de las velocidades de propagación en un rango de frecuencia para un registro de microtremores (Asten, M. and Henstridge, J., 1984). Este método consiste en la medición de microtremores utilizando un arreglo de sensores, con el fin de determinar una curva de dispersión desde un análisis espectral de los movimientos observados (Tokimatsu et al., 1992a). Posteriormente se obtiene el perfil de velocidad de onda de corte (V_s) el cual se calcula utilizando un proceso iterativo que requiere la inversión no lineal de los datos de la curva de dispersión.

Para la medición de las ondas Rayleigh con el fin de obtener la curva de dispersión, hay esencialmente dos métodos, los métodos activos y pasivos (Tokimatsu et al., 1992b). El método activo mide la componente vertical de las ondas Rayleigh producida ya sea por una fuente impulsiva (representado por el golpe de un martillo o un peso pesado que se deja caer de una cierta altura) ((Gabriels et al., 1987, Roma, V., 2001) o una fuente armónica con un movimiento vertical armónico. Para emplear este método, los sensores deben ser ubicados sobre la superficie del terreno en línea con la fuente, y la velocidad de fase se calcula basada en el análisis espectral. El método es capaz de explorar la superficie del terreno a profundidades menores de 20 metros (Tokimatsu et al., 1992b).

El método pasivo mide la componente vertical de los microtremores usando un arreglo circular de sensores distribuidos sobre la superficie del terreno, no requiere de ninguna fuente (Tokimatsu et



al., 1992b) (la máxima profundidad de investigación depende de la longitud de onda generada y del medio de propagación (Gabriels et al., 1987)).

5.2.1. EQUIPO E INSTRUMENTOS UTILIZADOS

Para realizar los arreglos de Microtremores, se utilizó un equipo de medición de Microtremores o microtemblores, GEODAS 15-HS, desarrollado por la empresa BUTTAN SERVICE, el cual contiene las siguientes características:

- ✓ 01 Sistema de Adquisición de Datos GEODAS 15-HS
- ✓ 01 Computadora portátil NEC, modelo Versa Pro VS-8
- ✓ 06 sensores de 1Hz de frecuencia para medición de velocidad del suelo tipo CR4.5-1S
- ✓ 01 GPS GARMIN modelo GPS16x-LVS
- ✓ Cables de 50 m de longitud
- ✓ 01 cable de conexión para batería
- ✓ Software de adquisición de datos: Microtremor Observation
- ✓ Software de procesamiento de datos: LFK2.exe; CalHVm4.exe. WaveEq. (Surface Wave Analysis)

El sistema permite visualizar y registrar las vibraciones ambientales a diferentes frecuencias de muestreo. Una vez que las ondas hayan sido grabadas en el disco duro de la computadora, éstas pueden ser procesadas en gabinete, mediante el software desarrollado con diferentes métodos de procesamiento como el análisis espectral F-K. Mediante estos procedimientos, se pueden obtener las curvas de dispersión, (velocidad de fase vs frecuencia). Una vez calculada la curva de dispersión se procede a hacer el análisis de inversión, para determinar el perfil sísmico de cada punto, esto se realiza utilizando el programa WaveEq.

5.2.2. PROCEDIMIENTO DE LOS TRABAJOS DE CAMPO

En los trabajos de campo que se realizó para cada arreglo, utilizando el método F-K, primeramente se definió la geometría de los arreglos circulares y posteriormente el de los arreglos lineales. Seis sensores son instalados sobre la superficie del terreno para formar un arreglo circular, con un sensor en el centro y cinco sensores que forman un pentágono con un radio constante para cada medición. En los arreglos lineales los sensores son colocados en línea con el sensor en el centro. Luego los sensores y el equipo de adquisición son debidamente conectados con los cables de conexión.

El radio de los arreglos circulares así como también el espaciamiento entre sensores de los arreglos lineales está en función de la profundidad de exploración requerida, por lo que se recomienda que sea expandida o contraída por un valor cercano a dos, con el fin de cumplir



con este propósito.

En el presente trabajo, en función a la topografía y a los requerimientos del estudio, los trabajos de campos se llevaron a cabo en tres puntos diferentes. La ubicación de los arreglos ejecutados en el distrito de Comas se presentan en el Plano P-01 del Apéndice C, los registros de Microtremores para los seis sensores se presentan en el Anexo C-1 del Apéndice C. Así mismo, en el Anexo C-5 del Apéndice C se presenta el panel fotográfico que documenta las diferentes actividades realizadas en el trabajo de campo, durante la realización de estos ensayos.

5.2.3. PROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Los registros de medición de Microtremores, obtenidos en cada punto de exploración llevado a cabo, se muestran en el Anexo C-1 del Apéndice C, y representan la llegada de las ondas superficiales a cada uno de los sensores. En arreglos circulares se observa las ondas generadas por fuentes naturales y en los arreglos lineales se observa las ondas generadas por una fuente externa. Luego estos datos son analizados y procesados con un software desarrollado por la Universidad de Chiba (Japón) con el fin de determinar la curva de dispersión (velocidad de fase vs frecuencia), la cual se muestra para cada punto de exploración en el anexo C-2 del Apéndice C. La curva de dispersión expuesta en este anexo, procesada a partir del método F-K, se obtiene del conjunto de puntos que siguen una continuidad a través de la frecuencia (Calderon et al., 2011). A partir de la curva de dispersión se determina los perfiles sísmicos utilizando el método de inversión que viene incorporado en el software WaveEq. En el anexo C-3 del Apéndice C se muestran los perfiles sísmicos, cuya descripción se presenta a continuación.

ARREGLO N° 1

Comprende arreglos de Microtremores lineales de 0.5m, 2m de separación y circulares en forma de un pentágono con radios de 12m, 20m y 40m. La interpretación de este arreglo genera un perfil sísmico de velocidad de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 45 m. El cual muestra la presencia de 4 estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 2 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 240 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por un limo arenoso de consistencia media a blanda.

El segundo estrato, de 2 a 10 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 370 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena limosa densa.



El tercer estrato, de 10 a 32 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 480 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una grava densa.

El cuarto estrato, de 32 a 45 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 620 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una grava de densa a muy densa. Este perfil sísmico se muestra en la Figura 01 del Anexo C-3 del Apéndice C.

ARREGLO N°2

Comprende arreglos de Microtremores lineales de 0.5m, 2m de separación y circulares en forma de un pentágono con radios de 8m, 15m. La interpretación de este arreglo genera un perfil sísmico de velocidad de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 30 m. El cual muestra la presencia de 3 estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 6 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 200 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arcilla de consistencia media.

El segundo estrato, de 6 a 15.5 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 400 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una grava media densa.

El tercer estrato, de 15.5 a 30 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 550 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una grava densa. Este perfil sísmico se muestra en la Figura 02 del Anexo C-3 del Apéndice C.

ARREGLO N°3

Comprende arreglos de Microtremores lineales de 0.5m, 1m y 2m de separación y circulares en forma de un pentágono con un radio de 8 m. La interpretación de este arreglo genera un perfil sísmico de velocidad de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 15 m. El cual muestra la presencia de 3 estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 2.5 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 220 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena limosa, medio densa.



El segundo estrato, de 2.5 a 8.5 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 370 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una grava media densa.

El tercer estrato, de 8.5 a 15 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 685 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una grava muy densa con matriz arcillosa. Este perfil sísmico se muestra en la Figura 03 del Anexo C-3 Apéndice C.

Durante la campaña de recopilación de información en las diferentes consultoras del medio, se recopiló siete perfiles sísmicos, los cuales se pueden observar en el Anexo C-6 del Apéndice C, estos perfiles fueron procesados con el método MASW (Análisis Multicanal de Ondas Superficiales); los mismos que han permitido complementar los resultados de la presente investigación.

5.3. MEDICIÓN DE MICROTREPIDACIONES

Los microtemblores también son conocidas como microtrepidaciones, microsismos, ruido sísmico de fondo, campo natural, vibración o ruido ambiental, oscilaciones omnipresentes o microtemblores (Flores, 2004).

La técnica de medición de microtemblores ha sido utilizada desde principios del siglo XX para determinar las propiedades dinámicas del terreno. Omori (1908) inició las investigaciones sobre microtemblores empleando un instrumento muy simple para observar la vibración natural del suelo que no correspondía a una vibración sísmica ni a alguna oscilación pulsatoria y encontró que dicha vibración natural podría ser causada por el viento, olas marinas, o perturbaciones artificiales como el tráfico, vibración de máquinas, etc. Para definir este tipo de vibraciones, que tiene periodos cortos y sus amplitudes son más pequeños que las oscilaciones pulsatorias, Omori utilizó el término de “microtrepidaciones”.

5.3.1. MARCO TEÓRICO

Las microtrepidaciones son vibraciones naturales o ambientales del terreno generadas por fuentes naturales o artificiales. Éstas se usan para estimar las características de vibración del terreno durante un sismo, así como para conocer la estructura del subsuelo y modelar los efectos de sitio usando dicho modelo estructural del terreno. Las microtrepidaciones también son conocidas como microtemblores, microsismos, ruido sísmico de fondo, campo natural, vibración o ruido ambiental, oscilaciones omnipresentes o microtemblores (Flores, 2004).

Se ha utilizado la técnica propuesta por Nakamura (1989) para determinar periodos predominantes y factores de amplificación relativa, usando relaciones espectrales entre la componente horizontal y vertical de los registros de ondas.



Fundamento del Método de Nakamura

El método de Nakamura consiste en calcular la amplificación del terreno a partir del valor máximo del cociente espectral entre los componentes del movimiento horizontal y vertical en la superficie.

$$S_{TT} = \frac{\frac{S_{HS}}{S_{VS}}}{\frac{S_{HB}}{S_{VB}}} = \frac{R_S}{R_B}$$

Con esta relación Nakamura supone que los efectos de la fuente pueden ser removidos de los registros de microtrepidaciones con el espectro H/V. Él asume que sólo las microtrepidaciones horizontales son influenciadas por el suelo, y que las características espectrales de la fuente se mantienen en las microtrepidaciones verticales. Diversos investigadores han confirmado que los espectros H/V pueden proveer características más estables que los espectros de frecuencia (Espectro de Amplitudes de Fourier) de las microtrepidaciones, como comúnmente se han estado evaluando. Ampliación del fundamento teórico de esta técnica se encuentra en el Apéndice C.

5.3.2. TRABAJO DE CAMPO

Para este ensayo fue utilizado el siguiente equipo:

- 01 Sistema de Adquisición de Datos GEODAS 15-HS
- 01 Computadora portátil NEC, modelo VersaPro VS-8
- 03 sensores para medición de velocidad del suelo tipo CR4.5-1S
- 01 GPS GARMIN modelo GPS16x-LVS
- Cables de 50 m de longitud.
- 01 cable de conexión para batería
- Software de adquisición de datos: Microtremor Observation
- Software de procesamiento de datos: calHVm4.

En cada punto se tomaron mediciones de velocidad, descompuesta en tres direcciones ortogonales, las cuales coinciden con las dos direcciones horizontales: longitudinal y transversal, así como con la dirección vertical respectivamente. El sistema permite visualizar y registrar las vibraciones ambientales a diferentes frecuencias de muestreo. Una vez que las



ondas hayan sido grabadas en el disco duro de la computadora, éstas pueden ser procesadas inmediatamente, mediante un software incorporado que permite determinar los espectros de Fourier, las relaciones espectrales H/V y las relaciones espectrales entre dos registros de diferentes lugares. Mediante este procesamiento rápido se puede evaluar en campo la calidad de las mediciones, en función a lo cual se podrá determinar si se debe realizar mediciones adicionales.

Las mediciones de microtemores son realizadas sobre la superficie del terreno o a diferentes profundidades dentro de una perforación, utilizando sensores suficientemente sensibles. Estas mediciones registran las velocidades de los microtemores, las que luego son almacenadas en forma digital, para su posterior procesamiento en gabinete. Para realizar la medición se instala el sensor triaxial en la superficie del terreno, orientando sus componentes horizontales en las direcciones E-W y N-S. Luego de conectar e instalar todo el equipo se procede a registrar los microtemores por un lapso de tiempo lo suficientemente largo para garantizar que se registren tramos de ondas sin interferencias directas por el paso de vehículos o personas en las zonas próximas al sensor.

En el presente estudio, para el distrito de Comas, se realizó la medición de microtemores en 37 puntos, con el objetivo de complementar las mediciones realizadas en este distrito en anteriores estudios. De los 37 puntos ejecutados se seleccionaron 34 debido a que 03 registros estaban contaminados por ruido. La localización de estos puntos así como de las mediciones realizadas se presenta en el Plano P-02 del Apéndice. C. Los registros de las microtemepidaciones obtenidos en diversos puntos del distrito se presentan en el Anexo C-4 del Apéndice C.

5.3.3. MAPA DE ZONAS DE PERIODO

De los 37 puntos medidos, no se pudo estimar el periodo en 03 puntos (M2013, M2014 y M2021) debido a la contaminación por ruido en los registros. Los 34 puntos restantes han sido analizados mediante el espectro de amplitudes de Fourier y el cociente espectral H/V, al ubicarlos junto con los resultados obtenidos a los valores de periodo del suelo determinados anteriormente, representan un complemento de valores en zonas donde no se conocía el periodo del suelo. Los valores recopilados y obtenidos varían desde 0.05s hasta 0.22s, los cuales muestran correlación con la geología y ensayos de mecánica de suelos realizados en el presente estudio, los cuales indican la presencia predominante de suelo firme distribuido en todo el distrito.

Debido que la variación de los valores de periodo del suelo se encuentran en un intervalo pequeño de periodo (0.05 s a 0.22 s) y estos valores se encuentran muy dispersos a través de toda el área del distrito, no mostrando alguna tendencia de igualdad, no fue posible estimar curvas de isoperiodos como se realizó en los estudios anteriores. En su reemplazo se presenta un mapa con zonas de periodo de 0.1 s y 0.2 s, cuyos valores se obtienen al



interpretar los valores de periodos con tendencia a aproximarse a valores típicos de 0.1 s y 0.2 s. Valores desde 0.05 s hasta 0.15 s fueron considerados para un área de 0.1s y valores desde 0.16 s a 0.22 s para un área de 0.2 s. Se observa que estos valores se encuentran distribuidos tanto en las zonas altas como bajas del distrito, predominando el valor de 0.1 s en las zonas altas.

El cociente espectral H/V proporciona el valor de amplificación relativa del movimiento horizontal del suelo con respecto a su movimiento vertical. La Tabla 7 del Apéndice C muestra los valores de amplificación relativa obtenidos. Estos valores varían de 1.21 veces hasta 9 veces repartidos de manera dispersa en toda el área del distrito.

En el Plano P-03 del Apéndice C se presenta dos zonas de periodos predominantes del terreno determinada para el distrito de Comas en función del análisis de los resultados obtenidos de la medición de microtremores en diferentes puntos, tanto ejecutados en este estudio como de estudios anteriores.

5.3.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En comparación a los estudios anteriores en que se utilizó el método MASW, una técnica nueva conocida generalmente como el método de análisis espectral F-K está siendo introducida en este estudio, método geofísico que de forma indirecta determina el perfil de velocidad de onda de corte (V_s), propiedad importante para conocer las características dinámicas del suelo.

El método F-K consiste en la medición de la componente vertical de los microtremores utilizando un arreglo de sensores. Posteriormente basado en el análisis espectral Frecuencia-Número de Onda de Alta Resolución, la curva de dispersión es determinada a partir de los registros de microtremores. Finalmente, el perfil de velocidad de onda de corte (V_s) es calculado a partir de la inversión de las velocidades de fase de las ondas de Rayleigh (curva de dispersión).

El procesamiento e interpretación de 3 arreglos de microtremores en el distrito ha permitido corroborar que el terreno superficial está constituido por suelos de consistencia blanda a media y compacidad media densa. Subyacen a estos materiales gravas de compacidad densa a muy densa. Estos ensayos también han permitido estimar el valor del espesor de estos materiales, característica importante que influye en el comportamiento dinámico del suelo. Este es un nuevo aporte en comparación con anteriores estudios realizados para este distrito

Los nuevos valores de periodos dominantes de oscilación del suelo se correlacionan adecuadamente con los obtenidos anteriormente en anteriores estudios, dando valores similares a los que existen alrededor del punto medido.



La ubicación de estos puntos ayudó a identificar y limitar con mayor detalle las zonas de suelo de similar periodo de oscilación, distribuidos en el área de estudio.

Los valores reflejan la presencia de suelos con valores de 0.10 s y 0.2 s distribuidos tanto en las zonas bajas como altas del distrito. Esta zonificación de periodos es con base en los valores de periodo recopilados como ejecutados en este estudio.

Estos valores se correlacionan aceptablemente con los perfiles de velocidades sísmicas del suelo; valores de periodos cortos corresponden a los suelos con velocidades mayores a 350 m/s.

Estos resultados obtenidos de ambos ensayos (método de análisis espectral F-K y microtrepidaciones) serán utilizados en la determinación de la Microzonificación Sísmica del distrito de Comas.

VI. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA

El mapa de microzonificación sísmica identifica las zonas que presentan diferente comportamiento dinámico ante la ocurrencia de un sismo, esto se realiza en función de las características mecánicas y dinámicas que presentan los diferentes materiales del terreno. Asimismo se incorpora a este mapa las zonas que pueden ser afectadas por eventos asociados ante la ocurrencia de los sismos como son los Tsunamis, licuación de Suelos o derrumbes de diversos materiales en zonas de pendientes fuertes. Para el distrito de Comas se han elaborado los siguientes mapas: Microzonificación Geotécnica (Apéndice B), Peligro Geológico (Anexo B-4 del Apéndice B) y Zona de Isoperiodos (Apéndice C). Los resultados de estos mapas son superpuestos en la superficie del área de estudio, permitiendo identificar cuatro zonas en este distrito que presentarían diferente comportamiento ante la ocurrencia de un sismo severo. A continuación se describen estas zonas:

Zona I: Esta zona está conformada por los depósitos cuaternarios de grava con arenas y/o materiales finos superficiales en las zonas este y sur del distrito de Comas, además de la parte norte de la zona limítrofe con el distrito de Los Olivos. Dentro de esta denominación se pueden incluir a los depósitos aluviales provenientes del cono de deyección del río Chillón, los depósitos de huayco que se encuentran en las quebradas y los depósitos coluviales (formados bajo la acción de la gravedad) que se encuentran al pie de las formaciones rocosas Quilmaná y Patap.

En general, el material gravoso se encuentra a una profundidad que en promedio es menor a los 2.00 m, pudiéndose encontrar en zonas puntuales a profundidades mayores. En dirección este, esta profundidad va disminuyendo debido a la presencia de los afloramientos rocosos de las formaciones antes mencionadas.



En esta zona, las cimentaciones estarán emplazadas, dependiendo el caso, en gravas semi-compactas, arenas densas o material fino de consistencia firme. La capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho varía de 1.70 a 3.0 kg/cm² a la profundidad de cimentación de 0.80 a 1.50 m.

El comportamiento dinámico del material en esta zona es adecuado, se espera que no se incremente el nivel de peligro sísmico estimado. Los periodos de oscilación del suelo varían de 0.10 s a 0.20 s. El valor de la amplificación relativa del suelo obtenido por microtrepidaciones es de 1.27 veces a 5.36 veces.

Zona II: Esta zona predomina en la región norte del distrito de Comas, y además se presenta como una franja en la zona sur oeste del distrito colindante con el distrito de los Olivos; está conformada por materiales superficiales arenosos finos y/o alternancias de suelos finos cohesivos y no cohesivos, además de depósitos puntuales de relleno de profundidad mayor a 2.00 m localizados en parte norte de esta zona. La profundidad a la que se encuentra el material gravoso es mayor a 2.0 m y en promedio está por debajo de los 4.00 m, pudiéndose encontrar a profundidades mayores como lo evidencian los pozos ubicados en esta zona. En general, el terreno de cimentación está conformado por suelos finos de consistencia media a dura de bajo contenido de humedad. Considerando una cimentación corrida de 0.60 m de ancho se obtienen valores de capacidad portante de 1.20 a 1.80 kg/cm² a la profundidad de cimentación de 1.00 a 1.50 m.

En esta zona se espera un incremento moderado del nivel de peligro sísmico estimado por efecto del comportamiento dinámico del suelo. Los periodos dominantes del suelo tienen valores de 0.10 s a 0.20 s. Los valores de amplificación relativa del suelo obtenido por microtrepidaciones varían de 3.20 a 9.00 veces

Zona III: Se encuentra conformada por las Zona III-A y Zona III-B, las cuales se describen a continuación:

Zona III-A: Esta zona está localizada en el sector Nor-Oeste del distrito de Comas y está delimitada: al norte con la Av. San Carlos, al sur con la calle 23 en la Urb. El Pinar, al este con la Av. Universitaria y al oeste con la calle Condorcanqui y Av. Héroes del Alto Cenepa.

En esta zona se presenta problemas de drenaje y ascensión de sales solubles, con aéreas críticas por presentar nivel freático entre 0.80 y 2.0 m., debido a su ubicación y depresión topográfica. El desnivel entre la zona El Pinar y Av. Universitaria y Av. El Trapiche está entre 5 a 6 m. En general a partir de la zona El Pinar, se aprecia hacia ambos lados elevación del nivel del



terreno hacia la Av. Universitaria y Av. Trapiche con una pendiente lateral de 1 %. Longitudinalmente la depresión se manifiesta a partir de la Av. San Carlos hasta la Av. Sangarará.

La zona deprimida, con el correr de los años, se ha rellenado con desmonte proveniente de nuevas urbanizaciones, desarrollándose sobre estos rellenos urbanizaciones en las cuales se tiene viviendas muy modestas y de material noble las mismas que en año 2001, fueron afectadas por el aumento lento de la napa freática generando asentamientos en sus viviendas, ascensión de sales solubles en los muros, y afectación a la salud de los habitantes, lo que se acentúa mas debido a la carencia de servicios básicos en ciertas zonas.

En la actualidad funciona un sistema de Drenaje compuesta por tuberías de drenaje subterráneas y buzones de control, manteniendo la napa freática a un nivel que no afecta la infraestructura privada y pública en las urbanizaciones ubicadas en esta zona.

En general el terreno de cimentación está conformado por suelos finos, arcillas y rellenos de hasta 3 m de profundidad conformado por gravas sub-redondeadas de TM de 8", con matriz de arena arcillosa de baja plástica. Estos suelos se encuentran con ligera humedad en estado de compactación media densa, con cuyas características de resistencia se obtienen valores de capacidad de carga de 1.00 a 1.31 Kg/cm², considerando una cimentación corrida de 0.60 m de ancho a la profundidad de cimentación de 2.00 a 2.50 m.

En esta zona el nivel de peligro es moderado debido que asociado a la depresión topográfica existe el peligro que la napa freática aflora a la superficie en épocas críticas. Por tanto es una zona susceptible a asentamientos por el incremento del nivel freático ante falla del sistema de drenaje existente.

Se espera un incremento moderado del nivel de peligro sísmico estimado por efecto del comportamiento dinámico del suelo, si el nivel de la napa freática no aflora a la superficie. El incremento sería alto si en épocas críticas la napa freática alcanza la superficie. Los periodos dominantes del suelo tienen valores de 0.10 s a 0.20 s. Los valores de amplificación relativa del suelo obtenidos por microtrépidaciones varían de 6.34 veces a 7.0 veces.

Zona III-B: Esta zona pertenece a los taludes de pendiente moderada a fuerte que se localizan al Este del distrito de Comas. En esta zona existe un peligro potencialmente moderado de deslizamiento de detritos y lodos, derrumbes y caídas de rocas que están condicionadas a las precipitaciones pluviales y a la ocurrencia de sismos.



Zona IV: Esta zona está asociada a los taludes de fuerte pendiente que se localizan en el sector Este del distrito de Comas. Para esta zona existe un peligro potencial de moderado a alto de deslizamiento de detritos y lodos, derrumbes y caídas de rocas que están condicionadas a las precipitaciones pluviales y a la ocurrencia de sismos.

El plano P-02 del presente informe se presenta la Microzonificación Sísmica para el distrito de Comas realizado en base a la descripción antes indicada.

VII. CONCLUSIONES

Para el distrito de Comas se han elaborado los siguientes mapas: Microzonificación Geotécnica (Apéndice B), Peligro Geológico (Anexo B-4 del Apéndice B) y Zona de Isoperiodos (Apéndice C). Los resultados obtenidos de estos mapas son superpuestos en el área de estudio permitiendo determinar el mapa de microzonificación sísmica para el distrito de Comas.

Se han determinado cuatro zonas con diferentes características que reflejarían el comportamiento dinámico en estas zonas ante la ocurrencia de un sismo severo que afectaría a la ciudad de Lima.

Las zonas I y II representan las mejores zonas para el desarrollo urbano del distrito, los suelos en estas zonas tendrán un comportamiento dinámico que no incrementarán o incrementarán moderadamente el peligro sísmico estimado ante la ocurrencia de un sismo severo.

Las zonas III y IV merecen especial atención por parte de las autoridades locales ya que reflejan condiciones desfavorables del comportamiento del terreno ante la ocurrencia de un sismo severo con un comportamiento dinámico incrementarán de moderado a alto el peligro sísmico estimado ante la ocurrencia de un sismo severo. En estas zonas en donde se esperan los mayores daños a las estructuras más vulnerables ante un sismo. Se deben tomar las medidas de prevención adecuadas con la finalidad de mitigar la ocurrencia de daños mencionada.



VIII. REFERENCIAS

- Alva Hurtado J.E., Meneses J. y Guzmán V. (1984), "Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú", V Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Tacna, Perú.
- Asten M.W. and Henstridge J.D., 1984, "Array Estimators and the use of Microseisms for Sedimentary Basin Reconnaissance": *Geophysics* v. 49, 1828–183.
- Ayquipa C. (1995), "Microzonificación Sísmica de Chorrillos y Barranco", Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería Lima.
- Ayashi, K (2003), "Data Acquisition and Analysis of Active and Passive Surface Wave Methods". Short Course - SAGEEP 2003.
- Bard, P. (1998), Microtremor Measurements: A tool for site effect estimation? The effects of Surface Geology on Seismic Motion, Irikura, Kudo, Okada y Sasatani (eds), 1251-1279.
- Bermúdez M., Franco L., Martínez S. y Ojeda A., (2002) "Uso de las Microtrepidaciones para la evaluación de la Respuesta Dinámica de los Suelos"
- Berrocal J., (1974), "South American Seismotectonics from SAAS data", Thesis submitted for the Degree of Doctor of Philosophy in the University of Edinburg.
- Berrocal J., Deza E. y Shikiya J. (1975), "Estudio de Sismicidad para el Proyecto de Derivación del Río Mantaro a Lima", Informe del Instituto Geofísico del Perú a ELECTROPERU S.A.
- Bieniawski Z.T (1989) " Engineering Rock Mass Clasificación "Willey Intersciencie Publicación , USA.
- Capon J., 1969, High-resolution frequency-wavenumber spectrum analysis: *Proc. IEEE*, v. 57, p. 1408-1418.
- Casaverde L. y Vargas J. (1980), "Zonificación Sísmica del Perú", II Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sismo-Resistente, Organización de Estados Americanos y Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Castillo J. (1993), "Peligro Sísmico en el Perú", Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería Lima.
- CISMID (1991), "Memorias del Seminario Taller de Dinámica de Suelos". Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- CISMID (1992), "Estudio de Peligro Sísmico para el Afianzamiento Hídrico del Río Cañete – Lima". Informe Técnico, Lima, Perú.



-
- CISMID (2004), "Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de 32 distritos de Lima y Callao".
Informe Técnico, Lima, Perú
- Cornell A. (1968), "Engineering Seismic Risk Analysis", Bulletin of the Seismological Society of America", Vol 58, N°5 págs. 1538-1606.
- Das, B. M. (1996), "Principios de Ingeniería de Cimentaciones", México Thomson Editores , 4ta Edición, México.
- Deza E. y Carbonell C. (1978), "Regionalización Sismotectónica Preliminar del Perú", IV Congreso Peruano de Geología, Lima, Perú.
- Deza E. (1969), "Estudio Preliminar Sobre las Zonas de Transición que Separan Posibles Regiones Sismotectónicas del Margen Occidental de Sudamérica: Zona de Transición en el Perú", I Congreso Nacional de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Lima, Perú.
- Figuerola, J., C. (1974), "Tratado de Geofísica Aplicada", LITOPRINT, Madrid.
- Gabriels, P., Snider, R., and Nolet, G., 1987, In situ measurements of shear-wave velocity in sediments with higher-mode Rayleigh waves: Geophys. Prospecting, 35, 187-196.
- González de Vallejo, L. y Ferrer M. (2002), "Ingeniería Geológica", Prentice Hall, Madrid, España.
- Hoek E. Bray J .W (1977) "Rock Slope Engineering "London , 2da Edición. Idriss I. (1985), "Evaluating Seismic Risk in Engineering Practice". XI International Conference in Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, USA, Vol.
- Flores, H.C.(2004), "Método SPAC : Una alternativa para la Estimación de Modelos Velocidades en el Valle de México", Tesis de Maestría, Posgrado en Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- HIDROENERGIA CONSULTORES EN INGENIERIA SRL (2010), "Estudio Geotécnico con Fines de Cimentación de 05 Reservorios – R-03 Collique", Informe Técnico, Lima, Perú.
- Hunt, Roy E (1986), "Geotechnical Engineering – Techniques and Practices", McGraw-Hill, USA.
- Instituto Geofísico del Perú. (2000), "Catálogo Sísmico del Perú: Versión Revisada y Actualizada". Lima, Perú.
- INGEMMET (1992), "Geología de los Cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica "Boletín N°43 – Hoja: 24-i.
- Instituto Tecnológico de España (1991) "Manual de Ingeniería de Taludes"
- Isacks B., Oliver J. y Sykes L.R., (1968), "Seismology and Global Tectonics", Journal of Geophysical Research, Vol 73, N°18, págs. 5855-5899.
- Kramer, S. L., (1996), "Geotechnical Earthquake Engineering". Prentice Hall, New Jersey, USA.



- Lankston, R. W., "High Resolution Refraction Data Acquisition and Interpretation", Geo-Compu-Graph, Inc., U.S.A.
- Lermo J., Rodríguez M., y Singh S. K. Natural period of sites in the valley of Mexico from microtremor measurements, *Earthquake Spectra*, 1988, 4, 805-14.
- Lermo, J. and F. J. Chavez-Garcia (1994). Are microtremors useful in site response evaluation?, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 83,1350-1364.
- McGuire R.K. (1974), "Seismic Structural Response Risk Analysis incorporating Peak Response Regression on Earthquake Magnitude and Distance", MIT Report R74-51 Cambridge MA, USA.
- McGuire R.K. (1976), "Fortran Computer Program for Seismic Risk Analysis", Open-File Report 76-67, U.S. Geological Survey.
- Miller, R. D., Pullan, S.E., Waldner, J. S., Haeni, F. P., (1986), "Field comparison of shallow seismic sources", *Geophysics*, Vol. 51, N° 11, Pag. 2067 – 2092, U.S.A.
- Nakamura, Y. (1989). "A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremors on the ground surface". *Quarterly Report Railway Technology. Research Institute.*, Vol. 30. N°3. pags. 25-30.
- Park, C., Miller, R. y Xía, J. 1999, "Multichannel analysis of surface waves". *Geophysics*. Vol. 64. N° 3. p: 800-808.
- Park., C.B., R. D. Miller, and J. Xia, Julian M.(1999), *Multichannel Analysis of Surface Waves to Map Bedrock*, Kansas Geological Survey, Lawrence, Kansas, U.S.
- Park, C., Miller, R., Xia, J., & Ivanov, J. 2001^a. "Seismic characterization of geotechnical sites by Multichannel Analysis of Surfaces Waves (MASW) method". *Tenth International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering (SDEE)*, Philadelphia.
- Plan de Ordenamiento Territorial y Ambiental -POTA- (2011), *Geología de la Cuenca Chillón*.
http://www.alter.org.pe/cuenca/sis_natural_fisico.html. Pagina accedida en Marzo del 2011.
- Roma V. (2001), "Soil Properties and Site Characterization by means of Rayleigh Waves", PhD Degree in Geotechnical Engineering, Department of Structural and Geotechnical Engineering, Technical University of Turin (Politecnico), Italy.
- Redpath, B., B. (1973), "Seismic Refraction Exploration for Engineering Site Investigations", *Explosive Excavation Research Laboratory Livermore, California, U.S.A.*
- Richter C.F. (1958), "Elementary Seismology", W.H. Freeman Co., San Francisco.
- Sebrier M., Huamán D., Blanc J.L, Macharé J., Bonnot D. y Cabrera J. (1982), "Observaciones acerca de la Neotectónica del Perú", Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú.



- SEDAPAL (2009), Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto "Optimización de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado, Sectorización, Rehabilitación de Redes y Actualización de Catastro – Área de Influencia Planta Huachipa – Área de Drenaje Comas – Chillón – Lima", Informe Técnico, Lima, Perú.
- Silgado E., (1969), "Sismicidad de la Región Occidental de la América del Sur entre los paralelos 2° y 18° Latitud Sur", Primer Congreso Nacional de Sismología e Ingeniería Antisísmica, pp. 33-44.
- Silgado E. (1973), "Historia de los Sismos más Notables ocurridos en el Perú 1955- 1970", Geofísica Panamericana, Vol 2 pp. 179-243
- Silgado E. (1978), "Historia de los Sismos más Notables ocurridos en el Perú (1513-1974)", Instituto de Geología y Minería, Boletín N°3, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica, Lima, Perú.
- Silgado E. (1992), "Investigación de Sismicidad Histórica en la América del Sur en los Siglos XVI, XVII, XVIII y XIX", CONCYTEC, Lima, Perú.
- Stemmnons D. (1982), "Magnitude of Active Faults", U.S. Army Engineer Waterways Experimental Station, USA.
- SISRA (1985), "Catálogo de Terremotos para América del Sur" Vol 7a, 7b y 7c, Proyecto SISRA, CERESIS, Lima, Perú.
- Tavera, H., y E. Buforn. (1998), " Sismicidad y Sismotectónica de Perú", Física de la Tierra, N° 10, pp. 187 – 219. España.
- Tokimatsu K., Miyadera Y. and Kuwayama S. (1992a), Determination of Shear Wave Velocity Structures from Spectrum Analyses of Short-Period Microtremors, Proc., 10th World Conf. on Earthquake Engrg., 1, , 253-258.
- Tokimatsu K., Shinzawa K., Kuwayama S. (1992b), Use of short-period microtremors for Vs profiling, J. Geotechnical Eng., vol. 118 (10), ASCE, pp. 1544-1558.
- U. S. Army Corps of Engineers, (1995), "Geophysical Exploration for Engineering and Environmental Investigations", Engineer Manual 1110-1-1802, Washington, U. S. A.
- Underwood, D.; Hayashi, K. (2006), Surface Wave data Acquisition and Field Methods, Geometrics Inc, U.S.