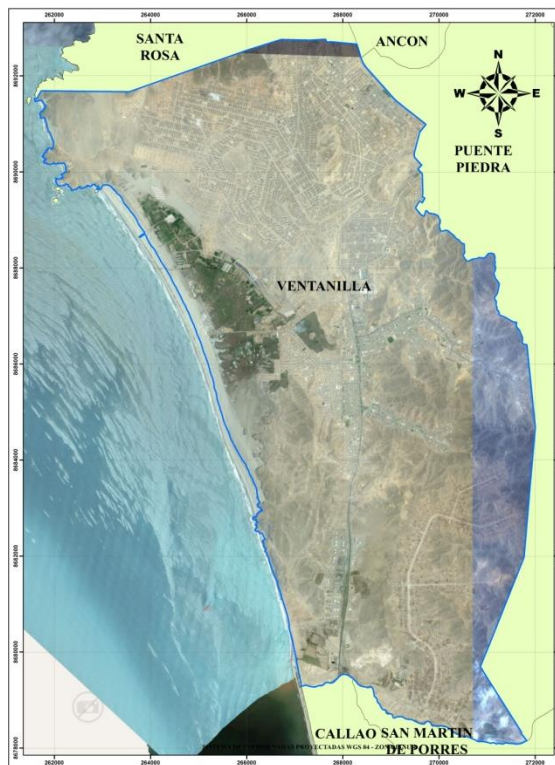




**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES**



# **Í ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA, MAPAS DE PELIGROS MÚLTIPLES Y ANÁLISIS DE RIESGO DE LOS DISTRITOS DE CERCADO DE LIMA, VENTANILLA Y DE LAS CIUDADES DE CHINCHA Y CONTUMAZÁÏ**



## **MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA Y PELIGROS MÚLTIPLES DEL DISTRITO DE VENTANILLA**

**LIMA Ë Octubre, 2012**



## ÍNDICE

RESUMEN .....	2
MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA Y PELIGROS MÚLTIPLES DEL DISTRITO DE VENTANILLA.....	4
I. INTRODUCCIÓN.....	4
1.1. OBJETIVO DEL ESTUDIO.....	4
1.2. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	4
II. EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO .....	5
2.1. SISMICIDAD DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	5
2.2. EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO .....	7
III. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL SUELO .....	7
3.1. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y MAPA DE TIPOS DE SUELO.....	7
3.2. MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA .....	11
IV. CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS.....	13
4.1. MEDICIÓN DE MICROTREMORES.....	14
4.2. MEDICIÓN DE ARREGLOS DE MICROTREMORES.....	14
4.3. MEDICIÓN DE ENSAYOS MASW.....	16
4.4. MAPA DE ZONAS DE ISOPERIODOS .....	17
V. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA.....	17
VI. MAPA DE ACELERACIONES MÁXIMAS ESPERADAS DEL SUELO .....	21
VII. MAPA DE VELOCIDADES MÁXIMAS ESPERADAS DEL SUELO.....	21
VIII. MAPA DE PELIGROS DE ORIGEN NATURAL – PELIGRO GEOLÓGICO EN EL DISTRITO DE VENTANILLA	22
IX. MAPA DE PELIGROS MÚLTIPLES PARA EL DISTRITO DE VENTANILLA.....	25
X. REFERENCIAS .....	31



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

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



---

**LISTA DE APENDICES**

- APÉNDICE A** : Evaluación del Peligro Sísmico en el distrito de Ventanilla
- APÉNDICE B** : Características Geotécnicas del Suelo en el distrito de Ventanilla.
- APÉNDICE C** : Caracterización Dinámica del Suelo en el distrito de Ventanilla.
- APÉNDICE D** : Evaluación de Peligros de Origen Natural en el distrito de Ventanilla.

**LISTA DE MAPAS**

- I-01** : Plano Base del distrito de Ventanilla
- I-02** : Plano Inundación de Tsunami
- I-03** : Mapa de Microzonificación Sísmica del distrito de Ventanilla
- I-04** : Mapa de Aceleraciones Máximas Esperadas del Suelo del distrito de Ventanilla
- I-05** : Mapa de Velocidades Máximas Esperadas del Suelo del distrito de Ventanilla
- I-06** : Mapa de Peligros Múltiples del distrito de Ventanilla.



## 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, Mapas de Peligros Múltiples y Análisis de Riesgo de los distritos de Cercado de Lima, Ventanilla y de las ciudades de Chincha y Contumazá”**.

En cumplimiento del convenio, el objetivo principal es elaborar Mapas de Riesgo para un escenario sísmico en una determinada zona de estudio, para ello es necesario elaborar un mapa de Microzonificación Sísmica para el área objeto de estudio, complementando trabajos anteriormente desarrollados. Por ello el presente informe corresponde a la Microzonificación Sísmica del distrito de Ventanilla.

Inicialmente se identificaron en el distrito de Ventanilla aquellas áreas declaradas como zonas intangibles, cuyo uso como zona residencial es prohibido y está declarado como una zona ecológica o de tratamiento especial, para ello se utilizó como referencia el Plan de Desarrollo Urbano de la Provincia Constitucional del Callao 2011-2022 elaborado por el Gobierno Regional del Callao, asimismo se identificaron las zonas declaradas por el Instituto Nacional de Cultura como monumentos arqueológicos, luego se limitaron e identificaron áreas ubicadas en las partes superiores y las laderas de fuerte pendiente de las formaciones rocosas existentes en el distrito, cuyo uso también está restringido como zona residencial. Luego se priorizó ejecutar el estudio en las zonas urbanas ocupadas con construcciones formales e informales y las zonas de expansión urbana. Este trabajo se ha desarrollado mediante varios estudios. El primero es el estudio del peligro sísmico para estimar probabilísticamente la aceleración máxima horizontal (PGA) en roca y suelo (Apéndice A), el cual es importante para determinar las aceleraciones del terreno en superficie. Los siguientes son las características geotécnicas, y dinámicas del suelo; estas características son plasmadas en los mapas de Microzonificación Geotécnica (Apéndice B) y de Isoperíodos (Apéndice C).

Las características geotécnicas fueron determinadas mediante exploraciones de campo y ensayos de laboratorio, los cuales permitieron identificar los diferentes tipos de suelo presentes en el área de estudio, así como también sus propiedades mecánicas.

Por otro lado, las características dinámicas, fueron determinadas a partir de mediciones de la vibración del suelo y su posterior análisis mediante métodos descritos en el Apéndice C.

A partir de la superposición de los mapas de Microzonificación Geotécnica (Apéndice B) e Isoperíodos (Apéndice C) se obtiene el Mapa de Microzonificación Sísmica (I-02), el cual fue el objetivo de este estudio.

Se han identificado cuatro zonas en el Mapa de Microzonificación Sísmica. Las Zonas I, II, III y IV reflejan el comportamiento geotécnico y sísmico del suelo en el área de estudio, de manera cuantitativa y cualitativa; estas zonas se presentan ordenadas de más a menos competente ante sollicitaciones de cargas estáticas y ante la ocurrencia de un evento sísmico severo. El resultado final es un mapa que se utilizará como insumo para la estimación del riesgo sísmico de la zona de estudio y asimismo en un gran



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

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



---

instrumento para la planificación y desarrollo urbano orientando la expansión hacia zonas más seguras ante un sismo o para la reconstrucción después de un desastre sísmico.

Es importante mencionar que los resultados obtenidos en la Microzonificación Sísmica no deben ser utilizados para fines de diseño y/o construcción de algún tipo de edificación en algún punto específico de la zona de estudio. Estos resultados no reemplazan a los estudios que deben ejecutarse siguiendo los procedimientos exigidos en la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente y la Norma Técnica de Edificación E.050 de Suelos y Cimentaciones, que son de obligatorio cumplimiento.

El Mapa de Peligros de Origen Natural ha considerado el peligro geológico que puede presentarse en este distrito, determinando zonas de peligro de niveles bajo a muy alto que se muestra en el Apéndice D.

En los Apéndices A, B, C y D se presentan a detalle los resultados obtenidos en los diferentes estudios realizados, utilizando tanto la información recopilada como la generada en este trabajo.

Finalmente se muestra el Mapa de Peligros Múltiples, que presenta niveles de peligro bajo, medio y alto para este distrito.



---

**“ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA, MAPAS DE PELIGROS MÚLTIPLES Y ANÁLISIS DE RIESGO DE LOS DISTRITOS DE CERCADEO DE LIMA, VENTANILLA Y DE LAS CIUDADES DE CHINCHA Y CONTUMAZÁ”.**

**MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA Y PELIGROS MÚLTIPLES DEL DISTRITO DE VENTANILLA**

**I. INTRODUCCIÓN**

**1.1. OBJETIVO 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, Mapas de Peligros Múltiples y Análisis de riesgo de los distritos de Cercado de Lima, Ventanilla y de las Ciudades de Chincha y Contumazá.

En cumplimiento del convenio, el objetivo principal del estudio es elaborar un mapa de riesgo sísmico para el distrito de Ventanilla, complementando trabajos anteriormente desarrollados.

Para obtener el riesgo sísmico, es necesario tener el estudio de microzonificación sísmica del distrito de Ventanilla, el cual caracterizará el comportamiento sísmico del suelo del distrito de manera cuantitativa, resultado que junto con la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones permite determinar el riesgo sísmico. Para el desarrollo del estudio de microzonificación sísmica, en una primera etapa se identificaron en el distrito de Ventanilla aquellas áreas declaradas como zonas intangibles, cuyo uso como zona residencial no es permitido y están declarados como una zona ecológica o de tratamiento especial, para ello se utilizó como referencia el Plan de Desarrollo Urbano de la Provincia Constitucional del Callao 2011-2022 elaborado por el Gobierno Regional del Callao, asimismo se identificaron las zonas declaradas por el Instituto Nacional de Cultura como monumentos arqueológicos, luego se limitaron e identificaron áreas ubicadas en las partes superiores y las laderas de fuerte pendiente de las formaciones rocosas existentes en el distrito, cuyo uso también está restringido como zona residencial.

Los trabajos de exploración de campo se realizaron con prioridad en las zonas urbanas, que se encuentran ocupadas con construcciones formales e informales y las zonas de expansión urbana

**1.2. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

El distrito de Ventanilla se ubica en la provincia de Lima, departamento de Lima, limita con los siguientes distritos:

- Por el Norte con el distrito de Santa Rosa.
- Por el Sur con los distritos de Callao y San Martín de Porres
- Por el Este con el distrito de Puente Piedra.
- Por el Oeste con el Océano Pacífico.

El Mapa I-01 muestra la ubicación geográfica del área de estudio.



## II. EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO

A continuación se describe la sismicidad del área de estudio y se presenta la evaluación del peligro sísmico mediante métodos probabilísticos. Mayor detalle se puede encontrar en el Apéndice A.

### 2.1. SISMICIDAD DEL ÁREA DE ESTUDIO

Silgado (1969, 1973, 1978 y 1992), hace una recopilación de datos sobre los principales eventos sísmicos ocurridos en el Perú desde el año 1513. Este trabajo constituye una fuente de información básica para el conocimiento de las intensidades sísmicas de los sismos históricos. Según esta información, los mayores terremotos registrados en la costa central del Perú son los de 1586, 1687 y el de 1746, este último destruyó completamente la ciudad de Lima y generó un maremoto con olas de 15 a 20 m de altitud. Así mismo, se reporta que durante el período de 1513 a 1959, Lima fue destruida sucesivamente por un total de 15 terremotos (Silgado, 1978)

Alva Hurtado et al (1984), basándose en esta fuente han elaborado un mapa de Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú. La confección de dicho mapa se ha basado en treinta isosistas de sismos peruanos y datos de intensidades puntuales de sismos históricos y sismos recientes. Las intensidades máximas registradas en la zona costa central, donde se localiza el área de estudio, alcanzan valores de hasta IX en la escala MMI.

En el Anexo A-1 (Apéndice A) se presenta una descripción resumida de los sismos que han ocurrido en el área de influencia. Este anexo está basado fundamentalmente en el trabajo de Silgado y en el Proyecto SISRA (Sismicidad de la Región Andina), patrocinado por el Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS). Así mismo, se incluye la descripción de los sismos recientes ocurridos en la región en estudio y que se consideran significativos para los fines de este estudio.

Del análisis de la información existente se deduce que en la zona andina, existe poca información histórica. La mayor cantidad de información está referida a sismos ocurridos principalmente a lo largo de la costa centro y sur, debido probablemente a que en esta región se establecieron las ciudades más importantes después del siglo XVI. Se debe indicar que dicha actividad sísmica, tal como se reporta, no es totalmente representativa, ya que pueden haber ocurrido sismos importantes en regiones remotas, que no fueron reportados.

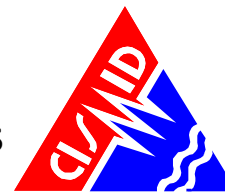
Los sismos más importantes que afectaron la región y cuya historia se conoce son:

- 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.



## UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

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



- 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 Nacional 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.

En el Anexo A-2 (Apéndice A) se presentan los Mapas de Isosistas disponibles, los cuales corresponden a los siguientes sismos ocurridos en el área en estudio: 9 de Julio de 1586, 20 de Octubre de 1687, 28 de Octubre de 1746, 06 de Enero 1725, 28 de Octubre de 1746, 24 de Mayo de 1940, 28 de Mayo de 1948, 17 de Octubre de 1966, 31 de Mayo de 1970, 3 de Octubre de 1974, 18 de Abril de 1993 y 15 de Agosto del 2007.

Se concluye que, de acuerdo a la historia sísmica del área de estudio, en los últimos 400 años han ocurrido sismos con intensidades de hasta IX.





## 2.2. EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO

En el presente estudio se han empleado leyes de atenuación para cuantificar la aceleración horizontal máxima del suelo en la base, así como leyes de atenuación que permiten estimar los niveles de demanda sísmica para diferentes periodos de vibración del suelo publicados en la literatura técnica, denominados leyes de atenuación para ordenadas espectrales. Dada esta tendencia mundial, se ha empleado en este estudio relaciones de atenuación de ordenadas espectrales para aceleraciones, que distingue sismos de subducción de interfase e intraplaca. Se ha empleado los modelos de atenuación de Youngs et al. (1997) y la ley de atenuación CISMID obtenida mediante el procesamiento estadístico bayesiano de registros de movimientos fuertes de suelo de sismos registrados dentro del territorio peruano y captados por la Red Acelerográfica del CISMID. Esta investigación fue realizada por Chávez, J. (2006). Así mismo, se ha empleado el modelo de atenuación para aceleraciones espectrales propuestas por Sadigh, et al, 1997 para sismos continentales.

En base a la clasificación de sitio definida en el código International Building Code (IBC), la ley de atenuación de Youngs et al, 1997 elaborada para roca aplica para un suelo Tipo B (velocidades promedio de ondas de corte  $V_s$  entre 760 m/s y 1500 m/s), la ley de atenuación de Youngs et al, 1997 elaborada para suelo, aplica para un suelo firme "Stiff soil" Tipo D (velocidades promedio de ondas de corte  $V_s$  que varían de 180 m/s a 360 m/s), la ley de atenuación de CISMID se aplica para un tipo de suelo "Tipo C", debido a que presenta una velocidad de 530 m/s, según los resultados obtenidos de mediciones realizados en la Estación "Jorge Alva Hurtado".

Los resultados obtenidos proponen un valor de aceleración horizontal máxima de diseño PGA de 0.34g para roca, y un valor de aceleración horizontal máxima de diseño PGA de 0.46g para suelo Tipo C, y 0.54g para suelo D, estimado para 475 años de periodo de retorno.

## III. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL SUELO

### 3.1. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y MAPA DE TIPOS DE SUELO

Se documenta las actividades realizadas para desarrollar el estudio de Microzonificación Geotécnica del distrito de Ventanilla, cuyos resultados serán utilizados para la elaboración del Mapa de Microzonificación Sísmica. Se presenta la recopilación de la información disponible, los trabajos de exploración de campo, los ensayos de laboratorio y la caracterización mecánica de los suelos de cimentación, que constituyen la información básica para definir las zonas con características geotécnicas similares, teniéndose como producto final el Mapa de la Microzonificación Geotécnica del distrito de Ventanilla, mayores detalles se pueden encontrar en el Apéndice B "Características Geotécnicas del Suelo en el distrito de Ventanilla" que forma parte del presente estudio.

La principal fuente de información existente sobre las características geotécnicas del distrito de Ventanilla lo constituye el estudio "Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de 10 distritos de Lima y Callao"



## UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

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



realizada por el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) en el año 2004, por encargo de la Asociación Peruana de Empresas de Seguros (APESEG). En dicho estudio se realizó la Zonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Ventanilla, el cual se basó en el análisis de los registros de 47 calicatas, 3 ensayos SPT y 1 ensayo de cono Peck. Los registros de los sondajes ejecutados y recopilados en el estudio del año 2004 se presentan en Apéndice B y la ubicación de los mismos, en el Mapa B-1 del Apéndice B en el cual se puede apreciar la ubicación de tales sondajes en el área de estudio.

Adicionalmente, en el presente estudio (CISMID, 2012), se ha recopilado información de estudios de mecánica de suelos con fines de cimentación, ejecutados en el distrito de Ventanilla por empresas privadas de prestigio reconocido. Esta información incluye 43 calicatas, 01 ensayo SPT y 24 ensayos con cono Peck. Los registros de estos sondajes se presentan en el Anexo B-2; y la ubicación de los mismos, en el Mapa B-1 del Apéndice B.

Las características geotécnicas del distrito de Ventanilla se pueden inferir en base a las unidades morfo-estructurales, las cuales se presentan a continuación y son respaldadas por un gran número de estudios geotécnicos recopilados y exploraciones geotécnicas realizadas como parte del presente estudio.

Así tenemos que el área correspondiente a tierra firme adyacente al litoral y expuesto a la acción de las olas marinas, se extiende desde la línea del nivel medio del mar hasta una distancia de 1 a 2 Km. tierra adentro. Esta franja está constituida por playas antiguas y recientes formadas por arena a través de corrientes litorales o por deriva litoral, que es el caso de la playa de Ventanilla, la cual está limitada por los cerros de piedras Gordas en el extremo norte, cerro Grande por el este y el cerro El Peno por el sur.

La zona de lomas y cerros, dentro de los que tenemos el Cerro Piedras Gordas, Cerro Grande y Cerro El Peno, bordean las estribaciones de la Cordillera Occidental y quedan como testigos de la labor erosiva de los ríos: Chancay, Chillón y Rímac, encontrándose en medio del cono aluvial de Lima. Las lomas de Ventanilla presentan una topografía subordinada a la litología de las unidades estratigráficas y al material eólico que las cubre.

Las zonas de valles y quebradas que se encuentran entre estos cerros están conformados predominantemente por suelos gravosos de origen coluvial, producto de la intemperización de las rocas y su acumulación en las partes bajas de los taludes. En varios sectores de la zona en estudio, estos materiales coluviales se encuentran cementados por sales solubles, los que en algunos casos han generado problemas de asentamientos a las edificaciones por el proceso de lixiviación (lavado de las sales), tal como ocurrió en la ciudadela Antonia Moreno de Cáceres.

En el área de estudio se han trazado cinco ejes a través de los sondajes representativos con el objetivo de caracterizar perfiles estratigráficos de las diferentes áreas delimitadas, estos perfiles estratigráficos se presentan en el Plano P-1 del Apéndice B y su descripción es la siguiente:



**Perfil Estratigráfico A-A**, ubicado en el Asentamiento Humano “Antonia Moreno de Cáceres”, presenta un estrato superficial conformado por rellenos, limos y gravas limosas mal gradadas, de 0.80 m de espesor. Subyaciendo a esta capa superficial continúa un estrato de grava limosa mal gradada (GP) intercalada con grava bien gradada limosa (GW) y arena limosa (SM/SP-SM), hasta la profundidad investigada que en el caso de los estudios recopilados llega hasta 5 m de profundidad.

**Perfil Estratigráfico B-B**, abarca la zona limítrofe del Parque Porcino con el Callao. Este perfil presenta estratos superficiales conformados por limos, arenas limosas y material de relleno que varían de 0.30 m a 1.10 m de espesor. Subyace a este estrato una arena mal gradada y en algunos sectores una grava mal gradada (GP) y grava bien gradada (GW) que llegan hasta la profundidad de 4.00 m, por debajo de este estrato se encuentra una grava pobremente gradada (GP) hasta la profundidad investigada que en este caso es de 10.00 m.

**Perfil Estratigráfico C-C**, atraviesa el Asentamiento Humano “Pachacutec”, presentando un estrato predominante de arena mal gradada (SP) con algo de limo por el lado oeste, volviéndose más limosa (SP-SM) hacia la dirección este, hasta la profundidad explorada de 4.50 m.

**Perfil Estratigráfico D-D**, está ubicado al norte del Asentamiento Humano “Antonia Moreno de Cáceres” y su trazo es paralelo a la avenida Víctor Raúl Haya de la Torre. En este perfil, el estrato superficial está conformado predominantemente por material de relleno hasta una profundidad de 0.60 m, debajo del cual se encuentra un suelo variado desde una arena limosa pobremente gradada (SP-SM), hasta una grava limosa mal gradada (GM).

**Perfil Estratigráfico E-E**, cubre parte de la zona norte del distrito de Ventanilla, abarcando los AA. HH. Los Cedros, Las Lomas, Villa los Reyes, entre otros. Esta zona se encuentra conformada por depósitos de arenas eólicas, que cubren los macizos rocosos con una potencia variable. El perfil estratigráfico presenta superficialmente un suelo arenoso (SP) a arena limoso (SM), alcanzando profundidades mayores a los 5.00 m explorados. En el sondaje SPT-01 el contacto con la roca se encuentra a 3.20 m de profundidad, observándose que ésta aflora en las cumbres de los cerros circundantes. La compacidad de la arena superficial varía de suelta a media densa.

Con la información geotécnica obtenida de la exploración de campo, la información recopilada y los resultados de los ensayos de mecánica de suelos realizados a las muestras de suelo, se ha procedido a delimitar el área en estudio, según tipos de suelo con características geotécnicas similares. Las características de cada uno de estos tipos de materiales y los criterios seguidos para su subdivisión se describen a continuación:

### Formación Rocosa

Según del informe del Apéndice D “Evaluación de Peligros de Origen Natural”, la formación rocosa identificada en el área de estudio, está conformada principalmente por las unidades lito estratigráficas de la Formación Volcánico Ancón y Formación Pamplona. Éstas se encuentran



emplazadas en los sectores topográficos relativamente elevados de la zona este, centro y norte del distrito de Ventanilla. Son materiales que presentan diferentes grados de fracturación y están afectados por procesos físicos. En las partes bajas de las laderas y en las zonas de poca pendiente, éstas se encuentran habitadas. Las zonas de mayor pendiente en la actualidad se encuentran deshabitadas.

### **Grava**

Son materiales que pertenecen a depósitos aluviales y coluviales, al pie de las formaciones rocosas, de bordes angulosos y de humedad baja a seca, de compacidad media a densa. Se encuentran en la zona central y sureste del distrito de Ventanilla. Están representados por los registros recopilados que se documentan en los Anexos B-1 y B-2 del Apéndice B; y los registros de las calicatas ejecutadas C-06 y C-07 que se presentan en el Anexo B-3 del Apéndice B.

### **Arena**

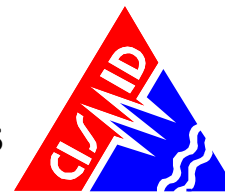
Son materiales que pertenecen a depósitos aluviales y marinos que se encuentran en las zonas norte y sur del distrito de Ventanilla, la compacidad varía de suelta a media densa, sin la presencia del nivel freático. Están representados por los registros de sondajes recopilados, que se presentan en los Anexos B-1 y B-2 del Apéndice B; y los registros de la calicatas ejecutadas C-01, C-02, C-03, C-04, C-05 y C-08, el ensayo de penetración estándar ejecutado SPT-01, que se presenta en el Anexo B-3 del Apéndice B y los taludes ejecutados T-01 y T-02, que se presentan en el Anexo B-3 del Apéndice B

A partir del informe del Apéndice D “Aspectos Geológicos y Litológicos”, se ha identificado algunos depósitos marinos ubicados en una franja del litoral del distrito de Ventanilla, conformado principalmente por arenas de grano medio a fino.

### **Rellenos antrópicos y escombros**

Corresponde a las acumulaciones en la superficie o depósitos de relleno de materiales antrópicos, tales como terraplenes, basura o escombros, materiales de demolición de construcciones antiguas, etc. Estos depósitos heterogéneos sin selección, están constituidos por diversos materiales que van desde gravas, arenas, finos hasta escombros, maderas y desechos. Están representados por los registros de los ensayos ejecutados: SPT-02 y CP-01 que se documentan en el Anexo B-3 del Apéndice B. Estas acumulaciones han sido identificadas en las áreas urbanas del distrito de Ventanilla, siendo los de mayor extensión el relleno sanitario y el terraplén de la margen derecha del río Chillón.

Los Mapas B-2 y B-3 del Apéndice B, muestran el tipos de material a una profundidad de 1.0 m y 2.5 m respectivamente.



### 3.2. MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

El distrito de Ventanilla, a la fecha, cuenta con una microzonificación geotécnica realizada por el CISMID, en el año 2004 correspondiente al estudio “Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de 10 distritos de Lima y Callao”. Por tanto, los puntos de exploración geotécnica programados en el presente estudio fueron ejecutados con el fin de complementar a los realizados en dicha microzonificación.

La evaluación geotécnica del área en estudio ha permitido delimitar los diferentes tipos de materiales por tipo de suelos con características geotécnicas similares, cuyo producto se presenta en los Mapas B-2 y B-3 del Apéndice B. A partir de esta delimitación, se ha procedido a agrupar los diferentes tipos de suelos según sus características geotécnicas. El propósito de esta agrupación ha sido definir un Mapa de Microzonificación Geotécnica el cual permita identificar zonas favorables y desfavorables para la construcción de viviendas del tipo convencional.

Esta microzonificación incluyó, para cada zona, la estimación de la capacidad de carga admisible que tendría la cimentación de una edificación convencional (cimiento corrido de 0.60 m de ancho y profundidad de desplante mínimo 0.80 m) y agresión química del suelo de cimentación. El criterio de diseño de una cimentación considera que para garantizar el comportamiento satisfactorio de las estructuras, se deben cumplir las dos condiciones siguientes:

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

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). Los parámetros de resistencia cortante utilizados fueron obtenidos de los ensayos de corte directo.

En consecuencia, se ha dividido el área de estudio en cinco zonas, los mismos que se describen a continuación:

#### Zona I

Esta zona incluye la formación rocosa con diferentes grados de fracturación en el sector centro y norte del distrito de Ventanilla, la cual actualmente está habitada, así como los depósitos de grava de compactación densa en el sector sureste. El tipo de suelo descrito en esta zona presenta las mejores características geotécnicas para la cimentación de edificaciones.

La capacidad de carga admisible en esta zona para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho, cimentada entre 0.80 m a 1.20 m, varía entre 2.0 kg/cm<sup>2</sup> y 3.5 kg/cm<sup>2</sup>. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos.



El análisis químico del suelo de cimentación en esta zona muestra una concentración de sulfatos que presenta una agresividad media al concreto y una concentración de cloruros de agresividad alta al acero de refuerzo. La concentración de sales solubles totales es moderada por lo cual no se espera problemas de lixiviación. Un caso excepcional es el ocurrido en la urbanización Antonia Moreno de Cáceres, debido a la alta concentración de sales solubles totales se ha presentado problemas de asentamiento por lixiviación.

### Zona II

Esta zona incluye depósitos de arena de compacidad media a densa y se ubica entre los sectores norte y sur del distrito de Ventanilla. El tipo de suelo descrito en esta zona presenta características geotécnicas favorables para la cimentación de edificaciones.

La capacidad de carga admisible sobre el material de arena para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho y desplantada entre 1.0 y 1.5 m de profundidad varía entre 1.5 Kg/cm<sup>2</sup> y 2.0 Kg/cm<sup>2</sup>. En el caso de que la cimentación se desplante sobre material gravoso, la capacidad de carga admisible sería mayor. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos.

El análisis químico del suelo de cimentación en la mayor parte de esta zona muestra una concentración de sulfatos que presenta una agresividad media al concreto y una concentración de cloruros con agresividad media al acero de refuerzo, así como una moderada concentración de sales solubles totales, por lo cual no se espera problemas de lixiviación. Solamente en el A.H. Mariano Ignacio Prado se ha encontrado una agresividad alta de los sulfatos, cloruros y un alto contenido de sales solubles totales que podrían generar problemas de asentamiento por lixiviación.

### Zona III

Esta zona incluye depósitos de arenas de compacidad suelta a media y se ubica en el sector noroeste y noreste del distrito de Ventanilla. El tipo de suelo descrito en esta zona presenta características geotécnicas menos favorables, en relación al caso anterior, para la cimentación de edificaciones.

La capacidad de carga admisible en esta zona para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho y desplantada entre 1.0 y 1.5 m de profundidad varía entre 0.5 Kg/cm<sup>2</sup> y 1.00 Kg/cm<sup>2</sup>. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos.

El análisis químico del suelo de cimentación en la mayor parte de esta zona muestra una concentración de sulfatos que presenta una agresividad media al concreto y una concentración de cloruros que presenta una agresividad media al acero de refuerzo, así como una moderada concentración de sales solubles totales, por lo cual no se espera problemas de lixiviación. Solamente en el proyecto El Mirador, localizado en el sector noroeste, se ha encontrado una



agresividad alta de los sulfatos, cloruros y un alto contenido de sales solubles totales que podrían generar problemas de asentamiento por lixiviación.

#### **Zona IV**

Esta zona incluye depósitos marinos, conformado por arenas sueltas a muy sueltas ubicada en la franja litoral del área en estudio; cerros con cobertura de arena e tal como se indica en el Apéndice D "Evaluación de Peligros de Origen Natural" del presente informe, ubicada en la zona este y sur; zonas de canteras de las que desconocen los métodos de explotación por lo que las condiciones del terreno pueden ser inestables, ubicadas en la zona este y sur del distrito. Dadas las características desfavorables de estos materiales emplazados en el sector mencionado, se considera que esta zona no es apta para la construcción de edificaciones sin un estudio específico de suelos que formule una cimentación apropiada para el caso.

#### **Zona V**

Esta zona incluye a los escombros y rellenos antrópicos, identificados en sectores específicos del área urbana. Dadas las características desfavorables de los materiales de escombros y rellenos, se considera que estas zonas, actualmente, no son aptas para la construcción de edificaciones.

Los escombros y rellenos podrían ser reemplazados por material competente, acondicionados, para ser usados como áreas de habilitación urbana, esto podrá ser posible siempre y cuando se ejecuten estudios específicos de mecánica de suelos que respalden técnicamente esta decisión, con la excepción del relleno sanitario ubicado en el sector sur.

El Mapa B-4 del Apéndice B, presenta la microzonificación geotécnica propuesta para el distrito de Ventanilla.

De los resultados de ensayos químicos realizados a los suelos, se concluye que es necesario que el concreto a utilizarse para la cimentación de las edificaciones, prácticamente en todo el distrito de Ventanilla, debe ser diseñado y elaborado con cemento que tenga buena resistencia a los sulfatos y el acero de refuerzo protegido contra al ataque de los cloruros.

Finalmente, cabe recalcar que el plano de microzonificación geotécnica del distrito de Ventanilla, es una información básica para realizar el modelamiento del comportamiento del terreno en la determinación del peligro sísmico, así como también para la evaluación del comportamiento dinámico del terreno, para obtener finalmente el mapa de microzonificación sísmica de este distrito.

## **IV. CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS**

La caracterización dinámica de los suelos en el ámbito del distrito de Ventanilla se ha realizado mediante ensayos geofísicos. Con la finalidad de determinar curvas de dispersión y sus subsecuentes perfiles de velocidades de ondas S se realizaron ensayos de medición de microtemores, procesados mediante los métodos espectrales F-K y nc-CCA y también se



ejecutaron ensayos MASW (Análisis de Ondas Superficiales en Arreglo Multicanal). A su vez, con el objeto de determinar los periodos predominantes de vibración natural del suelo en la zona de estudio se realizaron también mediciones de microtemblores, en forma puntual, para ser luego procesados por el método de los cocientes espectrales H/V. Los detalles de estos ensayos son descritos en el Apéndice C.

#### 4.1. MEDICIÓN DE MICROTREMORES

Los microtemblores son conocidos como microsismos, ruido sísmico de fondo, campo natural, vibración o ruido ambiental o microtemblores (Flores, 2004). Lermo (1992) y Lermo y Chávez-García (1994) definen los microtemblores como vibración o ruido ambiental.

En el presente estudio, se ha ejecutado la medición de microtemblores en 23 puntos con el objetivo de complementar las mediciones realizadas anteriormente. La información recopilada suma 32 puntos, correspondientes al estudio "Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de 10 distritos de Lima y Callao" realizado por el CISMID (2004) y otros. La ubicación de la totalidad de estos puntos se encuentra en el Mapa C-01 del Apéndice C.

Para el ensayo de medición de puntos de microtemblores se utilizó el siguiente equipo (foto 2 del Apéndice C)

- 01 Sistema de Adquisición de Datos GEODAS 15-HS,
- 01 Computadora portátil NEC, modelo Versa Pro VS-8
- 02 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.
- Software de adquisición de datos: Mtobs

Mediante el análisis de los cocientes espectrales H/V se han determinado los periodos naturales de vibración en los 23 puntos de la zona de estudio, los cuales varían de 0.12 s a 0.78 s como se muestra en el Mapa C-01. Asimismo, Los periodos de vibración de los 32 puntos de microtemblores recopilados varían de 0.07 s a 0.7 s.

#### 4.2. MEDICIÓN DE ARREGLOS DE MICROTREMORES

El principio de la medición de arreglos de microtemblores radica en el hecho de que éstos consisten predominantemente de ondas Rayleigh, y que el análisis espectral de estas ondas puede reproducir sus características dispersivas, las cuales reflejan el perfil de velocidades de ondas de corte del sitio en estudio (Tokimatsu et al., 1992a, Tokimatsu et al., 1992b).

Las características del equipo utilizado para este ensayo son (foto 2 del Apéndice C).

- 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





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

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



- 
- 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, Hrfk8.exe, Calhvm4.exe.

En base a los arreglos de microtremores se obtuvieron 06 perfiles de velocidades de ondas de corte en el distrito de Ventanilla, cuyas ubicaciones se muestran en el Mapa C-02 y cuyos perfiles se muestran en el Anexo C-3 del Apéndice C. A continuación se presenta una descripción de estos perfiles:

El perfil identificado como A01 presenta un estrato superficial blando menor a 5 m con una velocidad de ondas de corte aproximada de 250 m/s. Por debajo de este estrato hay un estrato de suelo medianamente rígido hasta casi 50 m de profundidad con velocidades de ondas de corte de 400 m/s aproximadamente. A partir de esta profundidad se encuentra un suelo más rígido sin espesor definido con velocidades del orden de los 800 m/s.

El perfil identificado como A02 presenta estratos blandos con espesores menores a 5 m y con velocidades menores a 250 m/s. A partir de los 10 m de profundidad el suelo se encuentra medianamente rígido y presenta velocidades de 500 m/s hasta casi los 90 m de profundidad. Por debajo de esta profundidad el suelo se encuentra muy rígido con velocidades mayores a 1000 m/s.

El perfil identificado como A03 presenta un estrato de suelo blando de 3 m de espesor aproximadamente. Por debajo de este estrato el suelo aumenta su rigidez llegando a una velocidad de 500 m/s a los 10 m de profundidad. Este estrato medianamente rígido se extiende hasta casi los 80 m de profundidad, a la cual se encuentra un estrato muy rígido con velocidades mayores a los 1000 m/s.

El perfil identificado como A04 presenta estratos blandos con espesores de 2 m aproximadamente. Por debajo de este estrato el suelo aumenta su rigidez hasta llegar a velocidades del orden de los 500 m/s a 8 m de profundidad. A partir de esta profundidad se encuentra un estrato de suelo medianamente rígido que llega hasta aproximadamente 25 m de profundidad. Subyaciendo a este estrato se encuentra un suelo rígido con velocidades de 800 m/s aproximadamente.

El perfil identificado como A05 presenta estratos blandos con espesores menores a y con velocidades de ondas de corte que llegan a 250 m/s. Por debajo de este estrato se encuentra un suelo medianamente rígido hasta aproximadamente 30 m de profundidad y con velocidades del orden de los 400 m/s. Subyaciendo a este estrato se encuentra un suelo rígido con velocidades de 800 m/s hasta casi los 60 m de profundidad. A partir de esta profundidad el suelo se encuentra muy rígido con velocidades mayores a 1000 m/s.

El perfil identificado como A06 presenta estratos blandos de 3 m de espesor aproximadamente con velocidades de ondas de corte de alrededor de 250 m/s. Por debajo de estos se observa un suelo



medianamente rígido con velocidades de 400 m/s aproximadamente y que se extiende hasta los 25 m de profundidad aproximadamente. Subyaciendo a este estrato se encuentra un suelo muy rígido con velocidades de 1000 m/s.

#### 4.3. MEDICIÓN DE ENSAYOS MASW

El ensayo MASW o Análisis de Ondas Superficiales en Arreglo Multicanal es un método de exploración geofísica que permite determinar la estratigrafía del subsuelo bajo un punto en forma indirecta, basándose en el cambio de las propiedades dinámicas de los materiales que la conforman. Este método consiste en la interpretación de las ondas superficiales (Ondas Rayleigh) de un registro en arreglo multicanal, generadas por una fuente de energía impulsiva en puntos localizados a distancias predeterminadas a lo largo de un eje sobre la superficie del terreno, obteniéndose el perfil de velocidades de ondas de corte ( $V_s$ ) para el punto central de dicha línea.

Para realizar los ensayos MASW se utilizó el equipo de prospección geofísica McSeis-SW 24ch, desarrollado por la empresa OYO CORPORATION (foto 2 del Apéndice C), el cual tiene las siguientes características:

- 24 canales de entrada, cada uno tiene un convertidor A/D individual con resolución de 24 bit y alta velocidad de muestreo.
- 24 sensores o geófonos de 4.5 Hz de frecuencia, los cuales permiten registrar las ondas S generadas por las fuentes de energía.
- Computadora portátil, Lap Top Pentium IV.
- Dos cables conectores de geófonos de 200 m.
- Radios de comunicación y accesorios varios.

En base a los ensayos MASW se obtuvieron 03 perfiles de velocidades de ondas de corte en el distrito de Ventanilla. En el Anexo C-7 del Apéndice C se muestran los resultados de los perfiles de velocidades de ondas de corte obtenidos. La ubicación de estos ensayos se muestra en el mapa C-02 y en la Tabla 5 del Apéndice C.

A continuación se presenta una descripción de estos perfiles:

El perfil MASW-01 presenta velocidades de ondas de corte que corresponden a un material granular suelto a medianamente denso hasta los 3.7 m de profundidad, subyaciendo a este estrato se encuentra un material granular denso hasta la máxima profundidad explorada de 25 m, a esta profundidad se encontró una máxima velocidad de ondas de corte de 725 m/s.

El perfil MASW-02 presenta velocidades de ondas de corte que corresponden a un material granular suelto a medianamente denso hasta los 5.3 m de profundidad, subyaciendo a este estrato se encuentra un material granular denso hasta la máxima profundidad explorada de 30 m, a esta profundidad se encontró una máxima velocidad de ondas de corte de 720 m/s.



El perfil MASW-03 presenta velocidades de ondas de corte que corresponden a un material granular suelto a medianamente denso hasta los 5.3 m de profundidad, subyaciendo a este estrato se encuentra un material granular denso hasta la máxima profundidad explorada de 30 m, a esta profundidad se encontró una máxima velocidad de ondas de corte de 600 m/s.

#### 4.4. MAPA DE ZONAS DE ISOPERIODOS

El Mapa C-03 del Apéndice C muestra 07 áreas definidas por diferentes intervalos de períodos. Estas áreas han sido agrupadas en 04 zonas de isoperiodos de acuerdo a sus características dinámicas de vibración. La descripción de estas zonas se presenta a continuación:

**La Zona I** comprende las áreas con periodos de vibración de 0.10 s a 0.30 s. Es la de mayor extensión y se encuentra hacia el este del distrito. Las características dinámicas de vibración de esta zona corresponden a un suelo medianamente rígido. Según el perfil sísmico A06 del Anexo C-3 del Apéndice C, existe una capa de suelo blando de espesor menor a 3 m por debajo del cual el suelo aumenta su rigidez hasta alcanzar un estrato muy rígido a una profundidad de 25m.

**La Zona II** comprende las áreas con periodos de vibración de 0.31 s a 0.50 s. Esta zona se encuentra en la parte central y norte del distrito, así como abarca el área de los pantanos. Las características dinámicas de vibración de esta zona corresponden a un suelo medianamente blando. Los perfiles sísmicos A03, A04 y A05 del Anexo C-3 del Apéndice C caracterizan esta zona, de estos perfiles se puede concluir que existe una capa de suelo blando de espesor menor a 10 m por debajo del cual el suelo aumenta su rigidez alcanzando un estrato muy rígido a una profundidad aproximadamente de 60 m.

**La Zona III** comprende las áreas con periodos de vibración de 0.51 s a 0.70 s. Esta zona se encuentra en la parte noroeste del distrito y abarca casi todo el litoral costero. Las características dinámicas de vibración de esta zona corresponden a un suelo blando. Los perfiles sísmicos A01, y A02 del Anexo C-3 del Apéndice C caracterizan esta zona, de estos perfiles se puede concluir que existe una capa de suelo blando de espesor menor a 5 m por debajo del cual el suelo va aumentando su rigidez hasta encontrarse un estrato muy rígido a la profundidad de 90 m aproximadamente.

**La Zona IV** está definida por períodos mayores a 0.70 s, esta zona es la de menor extensión y se encuentra en la parte noroeste del distrito. Aunque no se tiene ningún perfil sísmico en esta zona, los altos períodos de vibración dan cuenta de que el estrato rígido se encuentra a grandes profundidades.

#### V. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA

Para determinar el comportamiento de un suelo ante la ocurrencia de un sismo, se tienen que tomar en cuenta las características mecánicas y dinámicas que presentan los diferentes materiales del terreno. Estas características han sido determinadas para el distrito de Ventanilla y representadas en los mapas de Microzonificación Geotécnica (Mapa B-4, Apéndice B) y de



Isoperiodos (Mapa C-03, Apéndice C) respectivamente. Los resultados de estos mapas son superpuestos en la superficie del área de estudio, permitiendo identificar cuatro zonas de diferente característica que comprenden el Mapa de Microzonificación Sísmica que se muestra en el Mapa I-02 del presente informe. A continuación se describen estas zonas:

### Zona I

Esta zona incluye la formación rocosa con diferentes grados de fracturación en el sector centro y norte del distrito de Ventanilla, la cual actualmente está habitada, así como los depósitos de grava de compacidad densa en el sector sureste. El tipo de suelo descrito en esta zona presenta las mejores características geotécnicas para la cimentación de edificaciones.

La capacidad de carga admisible en esta zona para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho, cimentada entre 0.80 m a 1.20 m, varía entre 2.0 kg/cm<sup>2</sup> y 3.5 kg/cm<sup>2</sup>. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos.

El análisis químico del suelo de cimentación en esta zona muestra una concentración de sulfatos que presenta una agresividad media al concreto y una concentración de cloruros que presenta una alta agresividad al acero de refuerzo. La concentración de sales solubles totales es moderada por lo cual no se espera problemas de lixiviación. Un caso excepcional es el ocurrido en la urbanización Antonia Moreno de Cáceres, debido a la alta concentración de sales solubles totales se ha presentado problemas de asentamiento por lixiviación.

Los resultados de las mediciones de microtemores muestran que los periodos de vibración natural en esta zona son menores a 0.30 s. En consecuencia, este suelo tiene un comportamiento dinámico correspondiente a un suelo rígido, equivalente a un suelo de tipo S1 de la Norma E-030 de diseño sismorresistente.

### Zona II

Esta zona incluye depósitos de arena de compacidad media a densa y se ubica entre los sectores norte y sur del distrito de Ventanilla, también comprende zonas donde aflora rocas con diferentes grados de fracturación, así como también lomadas y cerros con posible desprendimiento de arena eólica y roca. El tipo de suelo descrito en esta zona presenta características geotécnicas favorables para la cimentación de edificaciones.

La capacidad de carga admisible sobre el material de arena para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho y desplantada entre 1.0 y 1.5 m de profundidad varía entre 1.5 Kg/cm<sup>2</sup> y 2.0 Kg/cm<sup>2</sup>. En el caso de que la cimentación se desplante sobre material gravoso, la capacidad de carga admisible sería mayor. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos.



El análisis químico del suelo de cimentación en la mayor parte de esta zona muestra una concentración de sulfatos que presenta una agresividad media al concreto y una concentración de cloruros que presenta una agresividad media al acero de refuerzo, así como una moderada concentración de sales solubles totales, por lo cual no se espera problemas de lixiviación. Solamente en el A.H. Mariano Ignacio Prado se ha encontrado una agresividad alta de los sulfatos, cloruros y un alto contenido de sales solubles totales que podrían generar problemas de asentamiento por lixiviación.

Los cerros y lomadas tienen laderas estables, se observan muy pocos bloques sueltos, que puedan caer, tampoco se observaron laderas deslizadas, ni presencia de cárcavas que hayan acarreado materiales fragmentales. Los cerros y lomadas presentan una cobertura de moderado espesor de arenas eólica, que toma coloración gris a beige claros. Debido a fuertes precipitaciones pluviales y sismos de gran magnitud, las arenas eólicas, pueden deslizarse ladera abajo.

Los resultados de las mediciones de microtremores muestran que los periodos de vibración natural en esta zona son menores a 0.40 s. En consecuencia, este suelo tiene un comportamiento dinámico correspondiente a un suelo rígido, equivalente a un suelo de tipo S2 de la Norma E-030 de diseño sismorresistente.

### Zona III

Esta zona incluye depósitos de arenas de compacidad suelta a media y se ubica en el sector noroeste y noreste del distrito de Ventanilla. El tipo de suelo descrito en esta zona presenta características geotécnicas menos favorables, en relación al caso anterior, para la cimentación de edificaciones.

La capacidad de carga admisible en esta zona para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho y desplantada entre 1.0 y 1.5 m de profundidad varía entre 0.5 Kg/cm<sup>2</sup> y 1.00 Kg/cm<sup>2</sup>. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos.

El análisis químico del suelo de cimentación en la mayor parte de esta zona muestra una concentración de sulfatos que presenta una agresividad media al concreto y una concentración de cloruros que presenta una agresividad media al acero de refuerzo, así como una moderada concentración de sales solubles totales, por lo cual no se espera problemas de lixiviación. Solamente en el proyecto El Mirador, localizado en el sector noroeste, se ha encontrado una agresividad alta de los sulfatos, cloruros y un alto contenido de sales solubles totales que podrían generar problemas de asentamiento por lixiviación.

Los resultados de las mediciones de microtremores muestran que los periodos de vibración natural en esta zona varían entre 0.4 s y 0.7 s. De acuerdo a estos resultados se concluye que este suelo tiene un comportamiento dinámico correspondiente a un suelo flexible, se le considera como un suelo de tipo S3 de la Norma E-030 de diseño sismorresistente.



## UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

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



---

#### Zona IV:

Esta zona incluye depósitos marinos, conformado por arenas sueltas a muy sueltas ubicada en la franja litoral del área en estudio; depósito de arenas de compacidad suelta a media ubicada en el sector noroeste, Los resultados de las mediciones de microtemores muestran que los periodos de vibración natural en esta zona varían entre 0.7 s y 0.8 s.

También incluye sectores de las llanuras que limitan con cerros y lomadas de poca altura, zonas de canteras de las que desconocen los métodos de explotación por lo que las condiciones del terreno pueden ser inestables, ubicadas al este y sur del distrito. Dadas las características desfavorables de estos materiales emplazados en el sector mencionado, se considera que esta zona no es apta para la construcción de edificaciones sin un estudio específico de suelos que formule una cimentación apropiada para el caso.

De acuerdo a estos resultados se concluye que estos materiales tiene un comportamiento dinámico correspondiente a un suelo con condiciones excepcionales, considerándolo como un suelo de tipo S4 de la Norma E-030 de diseño sismorresistente.

#### Zona V

Esta zona incluye a los escombros y rellenos antrópicos, identificados en sectores específicos del área urbana. Dadas las características desfavorables de los materiales de escombros y rellenos, se considera que estas zonas, actualmente, no son aptas para la construcción de edificaciones.

De acuerdo a la Norma E-050 de Suelos y Cimentaciones (1997), no está permitido cimentar sobre un relleno heterogéneo, en este material no es posible estimar la capacidad de carga para cimentaciones. Asimismo este material presenta una mala respuesta frente a un evento sísmico. La experiencia ha demostrado que edificaciones cimentadas sobre este tipo de suelo sufren grandes asentamientos y daño severo. En caso que sea necesaria que estas áreas sean utilizadas para fines de desarrollo urbano se recomienda la remoción total de escombros y rellenos y deberán ser reemplazados por material competente, acondicionados para ser usados como áreas de habilitación urbana, esto podrá ser posible siempre y cuando se ejecuten estudios específicos de mecánica de suelos que respalden técnicamente esta decisión. Se exceptúa de esta recomendación el área correspondiente al relleno sanitario del distrito ubicado en el sector sur, que por su uso no puede ser considerado para habilitación urbana.

Es necesario indicar que el concreto a utilizarse para la cimentación de las edificaciones, prácticamente en todo el distrito de Ventanilla, debe ser diseñado y construido con cemento que tenga buena resistencia a los sulfatos y su acero de refuerzo protegido contra al ataque de los cloruros.

Se incorpora al Mapa de Microzonificación Sísmica el Mapa de Inundación por Tsunami, considerando la zona correspondiente al distrito de Ventanilla (Mapa I-02, del presente informe),



información extraída del estudio “Evaluación de la Amenaza Frente a Tsunami Para Lima y Callao” elaborado por el CISMID (2011).

Se debe mencionar que los resultados obtenidos en la Microzonificación Sísmica no deben ser utilizados para fines de diseño y/o construcción de algún tipo de edificación en algún punto específico de la zona de estudio. Estos resultados no reemplazan a los estudios que deben ejecutarse siguiendo los procedimientos exigidos en la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente y la Norma Técnica de Edificación E.050 de Suelos y Cimentaciones, que son de cumplimiento obligatorio y se encuentran vigente a la fecha de elaboración de este informe.

## VI. MAPA DE ACELERACIONES MÁXIMAS ESPERADAS DEL SUELO

Una vez determinado el mapa de microzonificación sísmica en el área de estudio, es necesario caracterizar las zonas identificadas de manera cuantitativamente estimando el valor de aceleración horizontal máxima esperada para el suelo; para ello se utilizará como dato de entrada el resultado de la aceleración esperada para terreno firme del estudio de peligro sísmico para el distrito de Ventanilla (Apéndice A) que corresponde para un suelo “Tipo C” (IBC) un valor de aceleración horizontal máxima de diseño PGA de 0.460g; los valores de aceleración máxima proyectados para las diferentes zonas mostrados en el mapa de Microzonificación Sísmica I-02 se obtienen multiplicando los parámetros del suelo propuestos en la Norma Técnica de Edificación E.030 Diseño Sismorresistente por la aceleración horizontal máxima PGA de 0.460g de la siguiente manera:

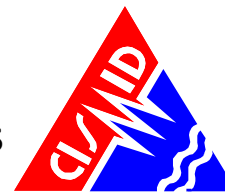
Zona	Factor	Aceleración Máxima
I	1.0	447 gal
II	1.2	537 gal
III	1.3	582 gal
IV	1.4	626 gal
V	1.5	671 gal

Los valores obtenidos para cada zona son mostrados en el Mapa I-03

## VII. MAPA DE VELOCIDADES MÁXIMAS ESPERADAS DEL SUELO

Es necesario determinar los valores de velocidad máxima del suelo que pueden presentarse en la zona de estudio con la finalidad de estimar el riesgo al que se encuentra expuesto el sistema de tuberías de la red de saneamiento.

Para la elaboración del mapa de velocidades máximas se utiliza la relación matemática presentada en el artículo técnico titulado “**Correlación entre la aceleración y velocidad máxima del suelo: Aplicación en el análisis del peligro sísmico**”, (Miguel A. Jaimes, Eduardo Reinoso, Mario Ordaz y Cesar Arredondo, 2009), publicado en la Revista de Ingeniería Sísmica No. 81, pag. 19-35



(2009), editada por la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica (SMIS). La relación es la siguiente:

$$\ln V_{\max} = -1.8349 + 1.1146 \ln A_{\max} + 0.4043 \ln T_s$$

donde la velocidad máxima esperada del suelo ( $V_{\max}$ ) se expresa en función de la aceleración máxima esperada del suelo ( $A_{\max}$ ) y del periodo de oscilación del suelo ( $T_s$ ) para sismos de tipo subducción. Entonces para determinar el mapa de velocidades máximas del suelo para el distrito de Ventanilla, se deberá utilizar como datos de entrada la aceleración máxima del suelo y el periodo de oscilación del suelo estimados anteriormente y representados en el Mapa I-03 del presente informe y el Mapa C-03 del Apéndice C respectivamente. Los valores de velocidades máximas esperadas del suelo para el distrito de Ventanilla se muestran en el Mapa I-04.

### VIII. MAPA DE PELIGROS DE ORIGEN NATURAL – PELIGRO GEOLÓGICO EN EL DISTRITO DE VENTANILLA

Los peligros de origen natural, concernientes a peligros de consideraciones geológicas, en el distrito de Ventanilla, están relacionados a aspectos de geodinámica externa e interna. Ventanilla, es un distrito ubicado en el litoral, que en sus límites inferiores limita con el valle del río Chillón, también existen cerros y lomadas de poca altura, entre los cuales se observan llanuras y pequeñas quebradas de poco recorrido. El área del distrito presenta aridez, propio del clima de la llanura costera del Perú. Actualmente se está urbanizando, con presencia de asentamientos humanos y urbanizadoras, también existen complejos industriales como la Refinería de Ventanilla, una central térmica para producir electricidad, canteras que explotan áridos de construcción y un amplio sector dedicado a la crianza porcina.

Se hace una descripción de los rangos de intensidad de peligros geológicos que puedan afectar al distrito; aparte de problemas de remoción del terreno superficial, anomalías marinas, aspectos hidrogeológicos, se presentan problemas relacionados a geodinámica interna, como los sismos. En el Mapa D- 02 se presenta el Mapa de Peligros Geológicos elaborado para este distrito

#### Peligro Muy Alto

El litoral del distrito de Ventanilla está conformado por llanuras, constituidos por depósitos de origen marino, mayormente eólico y aluvial en menor extensión. En las pampas de Ventanilla existe desde antes una Zona de Marismas, que generalmente representan en sí a playas abandonadas, que origina una barra o un cordón litoral que gradualmente fue controlando el avance del mar hacia el continente, luego estas áreas fueron rellenándose en forma progresiva con arena proveniente de las playas. Geomorfológicamente está constituida por áreas bajas con cotas máximas de 5 a 6 m. y mínima de 1 m.s.n.m. que litológicamente está conformada por arenas grises de grano medio, incoherentes y friables; poseen un alto contenido de sales, las cuales destacan en superficie a manera de costras por efectos de evaporación por capilaridad; intercalándose horizontes lenticulares de gravas que reflejan cambios en su deposición y en la velocidad de las corrientes. El cordón litoral del balneario de Ventanilla fue destruido por la actividad humana.





El peligro geológico de rango muy alto, está relacionado a la ocurrencia de tsunamis (maremotos), cuya inundación de parte del litoral puede causar fuerte destrucción de obras civiles y humanas. Las áreas que pueden ser afectadas comprenden la Pampa de Ventanilla al norte y la Playa Márquez al Sur del distrito. Dentro de estas áreas se encuentran también dos sectores en la desembocadura del río Chillón, en el límite de los distritos de Callao y Ventanilla, en el primero de los cuales se puede apreciar que en la margen derecha del cauce del río Chillón (aproximadamente de 15 m), existe material de desmonte inestable con desechos (basura) con una altura promedio aproximadamente de 10 m y en la margen izquierda se puede apreciar material de desmonte inestable más desechos (basura) con altura promedio de 5 m. En el segundo sector se puede apreciar que en la margen derecha del cauce del río Chillón (aproximadamente de 30 m), existe material de desmonte inestable y desechos (basura) con altura promedio de 5 m y en la margen izquierda se puede apreciar material de desmonte y desechos (basura) con altura promedio de 4 m.

### **Peligro Alto**

Las áreas que están comprometidas en el rango de Peligro Alto, son las que se encuentran conformadas por sectores de las llanuras que limitan con cerros y lomadas de poca altura y que presentan comportamientos especiales. También se considera de Peligro Alto a la margen derecha del río Chillón.

Las llanuras costeras, están constituidos por depósitos marinos de edad geológica del Pleistoceno, que están conformados por antiguos depósitos de abrasión marina. Los materiales de estos depósitos son característicos de los depósitos litorales clásticos, generados durante el pleistoceno, dentro de ellos se tienen terrazas marinas y zonas de marisma. Están conformados por arena gris de grano medio a fino, incoherentes y friables, posee un elevado contenido de sales, los mismos que destacan en superficie a manera de costras producidos por el efecto de la evaporación por capilaridad, intercalándose horizontes lenticulares de gravas que reflejan cambios en la deposición y en la velocidad de las corrientes asociadas probablemente a las variaciones estacionales del clima.

El nivel de peligro alto radica en una eventual invasión de grandes masas de agua de mar, producto de tsunamis, que pueden alcanzar estos terrenos. Así mismo, el suelo en estas zonas se encuentra saturado de agua, con un nivel freático alto, pues forman parte de los humedales, constituidos por lagunas y pantanos.

En esta zona de peligro alto también se localiza la ribera del río Chillón, por la posible inundación que puede ocurrir en épocas de lluvias y crecientes del río. La zona más afectada será la parte baja del cauce del río Chillón, que, en ambas márgenes, está conformada por material de desmonte más desechos (basura) adicional al material aluvial. El río Chillón recorre un lecho encajonado formando un valle de mediana amplitud, el cual se amplía a medida que se acerca a su desembocadura, parte del cauce se ha canalizado por la construcción de gaviones, muros empedrados, etc.



---

Se hace una descripción de sectores críticos producto de la actividad del río Chillón:

**Sector 1.-** Se ubica en el lugar denominado puente Inga, en la margen derecha del cauce del río Chillón (ancho aproximado de 30 m), se puede apreciar la existencia de material de desmote utilizado como relleno y al que han intentado estabilizar y proteger de la erosión mediante defensas ribereñas como gaviones y bloques de roca y en la margen izquierda se puede apreciar material de desmote sin ninguna medida de estabilización y protección a la erosión.

**Sector 2.-** Este sector se ubica al frente del cerro Culebras, a ambas márgenes del cauce del río Chillón (ancho aproximado de 35 m.), se aprecia material de desmote más desechos (basura) en estado suelto e inestable que puede ser erosionada por el río; también se puede apreciar vegetación a ambas márgenes así como material intrusivo poco colmatado, que es producto de anteriores avenidas a través del cauce del río Chillón. En esta sección se ha podido observar que en el lecho del río los materiales se encuentran conformados por cantos y bloques de forma subredondeada de tamaño máximo 1 m, con gravas y gravillas de forma subredondeada.

**Sector 3.-** Se encuentra frente al relleno sanitario, se aprecia que ambas márgenes del cauce del río Chillón, están conformada por potente material de desmote más basura y por debajo de estas se encuentran las rocas sedimentarias, que han sido fuertemente erosionadas, en la margen izquierda, el material de desmote y basura es más inestable. Ambas márgenes presentan alturas aproximadas de 40 a 50 m.

### **Peligro Medio**

El distrito de Ventanilla, está constituido en parte por cerros y lomadas, donde sus laderas y los afloramientos rocosos, están rodeados por terrenos llanos.

Litológicamente, los cerros y lomadas, están compuesto por areniscas feldespáticas de origen piroclásticos de color gris claro, capas de chert e intercalaciones de andesitas afaníticas. Asimismo rocas pertenecientes a la Formación Ventanilla. Parte de esta formación rocosa comprende los acantilados, presentan grutas y cuevas cuyos ingresos tienen forma de ventanas, originados por erosión eólica y marina de la formación morfogénica de los contrafuertes que llegan al litoral.

La formación rocosa comprometida es la de Cerro Blanco; que está constituido por areniscas feldespáticas de origen piroclásticos de color gris claro, capas de chert e intercalaciones de andesitas afaníticas. Las rocas en mención se encuentran principalmente en las partes altas de la quebrada.

Los cerros y lomadas tienen laderas estables, se observan muy pocos bloques sueltos, que puedan caer, tampoco se observaron laderas deslizadas, ni presencia de cárcavas que hayan acarreado materiales fragmentales. Los cerros y lomadas presentan una cobertura de moderado espesor de arenas eólica, que toma coloración gris a beige claros.



El peligro de rango medio que puede producirse, es que debido a fuertes precipitaciones pluviales y sismos de gran magnitud, las arenas eólicas, pueden deslizarse ladera abajo, afectando a las edificaciones.

### **Peligro Bajo**

Donde se ubica las áreas con peligro bajo, se encuentran en quebradas amplias pero de corto recorrido. En estas quebradas se observa que las habilitaciones urbanas se encuentran en las laderas e inclusive en las partes altas de los cerros comprometidas con estas. Las laderas y los afloramientos rocosos que circundan a la quebrada en mención presentan pendientes que van de moderadas a fuertes (en las partes altas).

Parte de estos terrenos, están ubicados en depósitos eólicos y aluviales, también ocupan laderas de cerros y lomadas, conformadas por rocas de composición areniscas feldespáticas de origen piroclásticas de color gris claro, capas de chert e intercalaciones de andesitas afaníticas; también se localizan rocas perteneciente a la formación geológica del Volcánico Ancón, que está conformada por derrames volcánicos de naturaleza andesítica, de color gris a gris verdoso y de textura porfirítica; estos acantilados presentan, formaciones de grutas y cuevas cuyos ingresos tienen forma de ventanas, originados por erosión eólica y marina de la formación morfogénica de los contrafuertes que llegan al litoral.

Los terrenos ubicados en rango de peligrosidad geológica bajo, actualmente están urbanizados, no presentan problemas geodinámicos como deslizamientos, caída de bloques, ni flujos de lodo y rocas en sus quebradas.

## **IX. MAPA DE PELIGROS MULTIPLES PARA EL DISTRITO DE VENTANILLA**

El Mapa de Peligros es una síntesis de los estudios de microzonificación y constituye una herramienta clave para el desarrollo físico, de manera segura de una ciudad (Kuroiwa, 2010). Es una herramienta que muestra gráficamente la zonificación de un determinado tipo de peligro natural existente para un área determinada, es de especial importancia para la planificación adecuada del desarrollo de una ciudad, tomando en cuenta el principal requisito que se debe cumplir: la seguridad física (Kuroiwa, 2010)

Por lo tanto es necesario evaluar los Peligros Naturales que se han identificado y que afectan la zona de estudio, los resultados de dicha evaluación se han plasmado en los Mapas de Peligro Geológico (Mapa D-02) del Apéndice D, Microzonificación Sísmica (Mapa I-03) y Aceleraciones Máximas esperadas del Suelo (Mapa I-04) del presente informe. Considerando los resultados de estos mapas, se ha elaborado el Mapa de Peligros Múltiples que considera los efectos producidos por la geodinámica interna y la geodinámica externa, para ello se utiliza la metodología elaborada y planteada por Kuroiwa (2002), con la cual se han desarrollado y elaborado mapas de peligros para diferentes ciudades del país (Kuroiwa, 2002).



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

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



Se ha utilizado la Tabla 1. Recomendaciones y restricciones para la aplicación del Mapa de Peligros en el Plan de Usos de Suelos (Kuroiwa, 2002), con la finalidad de clasificar las áreas identificadas con diferente nivel de peligro.

Para elaborar el Mapa de Peligros Múltiples, se ha tenido como guía los criterios utilizados en el estudio “Mapa de Peligros de Pisco y San Andrés, Información para la Reconstrucción, Sismo 15 agosto de 2007” (INDECI, 2008). Los fenómenos de origen geológico-geotécnico que se han considerado para el análisis, por su existencia en la zona de estudio, son los siguientes:

a) Sismos: La calificación del grado de peligro sísmico es la siguiente:

Bajo: Si la aceleración del suelo producida por un sismo con un periodo de retorno de 475 años no es mayor a  $100 \text{ cm/s}^2$ . Intensidad del sismo según MM menor a VI.

Medio: Si la aceleración del suelo producida por un sismo con un periodo de retorno de 475 años está entre  $100 \text{ cm/s}^2$  a  $400 \text{ cm/s}^2$ . Intensidad del sismo según MM entre VI a VIII.

Alto: Si la aceleración del suelo producida por un sismo con un periodo de retorno de 475 años está entre  $400 \text{ cm/s}^2$  a  $1000 \text{ cm/s}^2$ . Intensidad del sismo según MM entre VIII a IX.

Muy Alto: Si la aceleración del suelo producida por un sismo con un periodo de retorno de 475 años es mayor a  $1000 \text{ cm/s}^2$ . Intensidad del sismo según MM mayor a IX.

b) Falla por corte y asentamiento del suelo (capacidad portante de una cimentación superficial): La calificación del grado de peligro por capacidad portante de una cimentación superficial es la siguiente:

Bajo: Si la capacidad portante del suelo de cimentación para condiciones estáticas y dinámicas es mayor a  $2.50 \text{ Kg/cm}^2$ .

Medio: Si la capacidad portante del suelo de cimentación para condiciones estáticas y dinámicas está entre  $1.00 \text{ Kg/cm}^2$  a  $2.50 \text{ Kg/cm}^2$ .

Alto: Si la capacidad portante del suelo de cimentación para condiciones estáticas y dinámicas está entre  $0.50 \text{ Kg/cm}^2$  a  $1.00 \text{ Kg/cm}^2$ .

Muy Alto: Si la capacidad portante del suelo de cimentación para condiciones estáticas y dinámicas es menor a  $0.50 \text{ Kg/cm}^2$ .

c) Amplificación sísmica local: La calificación del grado de peligro por amplificación sísmica local, es la siguiente:

Bajo: Si el suelo corresponde al Tipo S1 de la Norma NTE 030 del RNE del Perú. Roca o suelos muy rígidos con un periodo predominante menor a 0.25 s. y una frecuencia de vibración mayor a 4.0 Hz. La velocidad de onda de corte promedio ( $V_s$ ) del suelo, es mayor o igual a 1,000 m/s y la amplificación sísmica es 1.0 veces la aceleración sobre roca.

Medio: Si el suelo corresponde al Tipo S2 de la Norma NTE 030 del RNE del Perú. Suelos intermedios entre S1 y S3 con un periodo predominante entre 0.20 s. a 0.6 s. y una frecuencia de vibración entre 1.7 Hz. a 4.0 Hz. La velocidad de onda de corte promedio ( $V_s$ ) del suelo, se encuentra entre 500 m/s a 1,000 m/s y la amplificación sísmica es de 1.0 a 1.5 veces la aceleración sobre roca.



Alto: Si el suelo corresponde al Tipo S3 de la Norma NTE 030 del RNE del Perú. Suelos flexibles o con estratos de gran espesor con un periodo predominante mayor a 0.6 s. y una frecuencia de vibración menor a 1.7 Hz. La velocidad de onda de corte promedio ( $V_s$ ) del suelo, se encuentra entre 250 m/s a 500 m/s y la amplificación sísmica es de 1.5 a 2.5 veces la aceleración sobre roca.  
Muy Alto: Si el suelo corresponde al Tipo S4 de la Norma NTE 030 del RNE del Perú. Suelos excepcionalmente flexibles con un periodo predominante mayor a 0.6 s. y una frecuencia de vibración menor a 1.7 Hz. La velocidad de onda de corte promedio ( $V_s$ ) del suelo, es menor a 250 m/s y la amplificación sísmica es mayor o igual a 2.5 veces la aceleración sobre roca.

Tabla 1: Recomendaciones y restricciones para la aplicación del Mapa de Peligros en el Plan de Usos de Suelos (Kuroiwa, 2002)

GRADO DE PELIGRO	CARACTERÍSTICAS	EJEMPLOS	RESTRICCIONES Y RECOMENDACIONES DE USO
MUY ALTO	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Las fuerzas naturales o sus efectos son tan grandes que las construcciones efectuadas por el hombre no las pueden resistir</li> <li>b) De ocurrir el fenómeno las pérdidas llegan al 100%.</li> <li>c) El costo de reducir los daños es tan alto que la relación costo-beneficio hace impracticable su uso para fines urbanos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Sectores amenazados por alud-avalanchas y flujos repentinos de piedra y lodo (huaicos). - Áreas amenazadas por flujos piroclásticos o lava. Fondos de quebradas que nacen de la cumbre de volcanes activos y sus zonas de deposición afectables por flujos de lodo.</li> <li>b) Sectores amenazados por deslizamientos. Zonas amenazadas por inundaciones con gran fuerza hidrodinámica, velocidad y poder erosivo.</li> <li>c) Sectores contiguos a las vértices de bahías en forma de V o U amenazados por tsunamis. - Suelos con alta probabilidad de ocurrencia de licuación generalizada o suelos colapsables en grandes proporciones.</li> </ul>	Prohibido sus uso con fines urbanos. Se recomienda utilizarlos como reservas ecológicas, recreación abierta, o para el cultivo de plantas de ciclo corto.
ALTO	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) La amenaza natural es alta pero se pueden tomar medidas efectivas de reducción de daños a costos aceptables, utilizando técnicas y materiales adecuados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Franjas contiguas a los sectores altamente peligrosos, la amenaza se reduce notoriamente, pero el peligro todavía es alto. - Sectores donde se esperan altas aceleraciones sísmicas por sus características geotécnicas. - Sectores, que son inundados a baja velocidad y permanecen bajo agua por varios días. - Ocurrencia parcial de la licuación y suelos expansivos.</li> </ul>	Se permite su uso urbano después de estudios detallados por especialistas con experiencia, para calificar el grado de peligro y fijar los límites con el sector anterior. Recomendable para usos urbanos de baja densidad.
MEDIO	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Amenaza natural moderada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Suelo de calidad intermedia, con aceleraciones sísmicas moderadas. - Inundaciones muy esporádicas con bajo tirante y velocidad.</li> </ul>	Adecuado para usos urbanos. Investigaciones geotécnicas normales.
BAJO	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Suelos donde se producirá baja amplificación de las ondas sísmicas.</li> <li>b) Donde es muy remota la probabilidad de ocurrencia de fenómenos naturales intensos o falla gradual del suelo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Terrenos plano o con poca pendiente, roca o suelo compacto y seco, con alta capacidad portante.</li> <li>b) Terrenos altos no inundables, alejados de barrancos o cerros deleznable. No amenazados por actividad volcánica o tsunamis.</li> </ul>	Ideal para usos urbanos de alta densidad y la ubicación de edificios indispensables como hospitales, centros educativos, cuarteles de policía, bomberos, etc.

Fuente: Ing<sup>o</sup>. Julio Kuroiwa Horiuchi, Reducción de Desastres, Enero 2002.

d) Agresión química del suelo de cimentación: La calificación del grado de peligro por agresión química del suelo de cimentación al concreto, es la siguiente:

Bajo: Si el contenido de sulfatos ( $SO_4$ ) del suelo de cimentación es menor a 1,000 p.p.m.



Medio: Si el contenido de sulfatos ( $SO_4$ ) del suelo de cimentación está entre 1,000 p.p.m. a 2,000 p.p.m.

Alto: Si el contenido de sulfatos ( $SO_4$ ) del suelo de cimentación está entre 2,000 p.p.m. a 20,000 p.p.m.

Muy Alto: Si el contenido de sulfatos ( $SO_4$ ) del suelo de cimentación es mayor a 20,000 p.p.m.

Con base en los criterios indicados, y utilizando los resultados obtenidos en los Mapas de Peligro Geológico (Mapa D-02) del Apéndice D, Microzonificación Sísmica (Mapa I-03) y Aceleraciones Máximas esperadas del Suelo (Mapa I-04) del presente informe, la caracterización de los peligros es la siguiente:

a) Sismos: La aceleración horizontal máxima que se puede producir en la zona de estudio de acuerdo al estudio de Peligro Sísmico para un sismo con un periodo de retorno de 475 años es igual a  $447 \text{ cm/s}^2$  en la Zona I,  $537 \text{ cm/s}^2$  en la Zona II,  $582 \text{ cm/s}^2$  en la Zona III,  $626 \text{ cm/s}^2$  en la Zona IV y  $671 \text{ cm/s}^2$  en la Zona V. La intensidad sísmica máxima para este evento se ha de encontrar entre VIII a IX en la escala de Mercalli modificada. A estos valores le corresponde una calificación de Peligro Alto.

b) Falla por corte y asentamiento del suelo de cimentación: La capacidad portante del suelo para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho toma valores de  $1.50 \text{ Kg/cm}^2$  a  $3.50 \text{ Kg/cm}^2$  en las Zonas I y II, por lo que le corresponde una calificación de Peligro Medio a Bajo. En la Zona III la capacidad portante del suelo para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho varía entre  $0.5 \text{ Kg/cm}^2$  y  $1.00 \text{ Kg/cm}^2$ , correspondiéndole un calificativo de Peligro Alto

c) Amplificación sísmica local: Según el comportamiento dinámico del suelo, la Zona I y la Zona II presentan valores de periodos del suelo menores a 0.40 s, correspondiendo un calificativo de Peligro Medio. La Zona III y la Zona IV presentan periodos del suelo mayores a 0.40 s, correspondiendo un calificativo de Peligro Alto

d) Agresión química del suelo de cimentación: La Zona I considera una agresividad media de los sulfatos correspondiéndole un nivel de Peligro Medio. La Zona II presenta en mayor área una agresividad media y de manera puntual una zona con agresividad alta de los sulfatos correspondiéndole un nivel de Peligro Medio - Alto. En la Zona III muestra una agresividad media de los sulfatos, en la mayor parte de esta zona y una agresividad alta de los sulfatos en un área puntual, correspondiéndole un nivel de Peligro Medio - Alto

e) La Zona II presenta cerros y lomadas que tienen laderas estables, se observan muy pocos bloques sueltos, que puedan caer, tampoco se observaron laderas deslizadas, ni presencia de cárcavas que hayan acarreado materiales fragmentales. Los cerros y lomadas presentan una cobertura de moderado espesor de arenas eólica, debido a fuertes precipitaciones pluviales y sismos de gran magnitud, las arenas eólicas, pueden deslizarse ladera abajo, afectando a las edificaciones, por ello se considera un peligro medio.



f) La ribera del río Chillón, por la posible inundación que puede ocurrir en épocas de lluvias y crecientes del río, presenta un peligro alto. La zona más afectada será la parte baja del cauce del río Chillón, que, en ambos márgenes, está conformada por material de desmonte más desechos (basura) adicional al material aluvial. El río Chillón recorre un lecho encajonado formando un valle de mediana amplitud, el cual se amplía a medida que se acerca a su desembocadura, parte del cauce se ha canalizado por la construcción de gaviones, muros empedrados, etc.

La caracterización descrita da como resultado el Mapa de Peligros Múltiples (Mapa I-06) del presente informe para el distrito de Ventanilla, en el que se describe los siguientes niveles de peligro:

### **Peligro Bajo**

Esta zona incluye la formación rocosa con diferentes grados de fracturación en el sector centro y norte del distrito de Ventanilla, la cual actualmente está habitada, así como los depósitos de grava de compacidad densa en el sector sureste. La capacidad de carga admisible en esta zona para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho, cimentada entre 0.80 m a 1.20 m, varía entre 2.0 kg/cm<sup>2</sup> y 3.5 kg/cm<sup>2</sup>.

El análisis químico del suelo de cimentación en esta zona muestra una concentración de sulfatos que presenta una agresividad media al concreto y una concentración de cloruros que presenta una alta agresividad al acero de refuerzo. La concentración de sales solubles totales es moderada por lo cual no se espera problemas de lixiviación. Un caso excepcional es el ocurrido en la urbanización Antonia Moreno de Cáceres, debido a la alta concentración de sales solubles totales se ha presentado problemas de asentamiento por lixiviación.

No se presentan problemas geodinámicos como deslizamientos, caída de bloques, ni flujos de lodo y rocas en sus quebradas

Los resultados de las mediciones de microtremores muestran que los periodos de vibración natural en esta zona son menores a 0.30 s. La aceleración horizontal máxima del suelo es de 447 cm/s<sup>2</sup>.

### **Peligro Medio**

Depósitos de arena de compacidad media a densa ubicada entre los sectores norte y sur del distrito de Ventanilla, la capacidad de carga admisible sobre el material de arena para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho y desplantada entre 1.0 y 1.5 m de profundidad varía entre 1.5 Kg/cm<sup>2</sup> y 2.0 Kg/cm<sup>2</sup>, en el caso de que la cimentación se desplante sobre material gravoso, la capacidad de carga admisible sería mayor.

El análisis químico del suelo de cimentación en la mayor parte de esta zona muestra una concentración de sulfatos que presenta una agresividad media al concreto y una concentración de



cloruros de agresividad media y alta al acero de refuerzo. La concentración de sales solubles totales es moderada por lo cual no se espera problemas de lixiviación. En el A.H. Mariano Ignacio Prado se ha encontrado una agresividad alta de los sulfatos, cloruros y un alto contenido de sales solubles totales que podrían generar problemas de asentamiento por lixiviación

Los resultados de las mediciones de microtemores muestran que los periodos de vibración natural del suelo son menores a 0.40 s. La aceleración horizontal máxima del suelo es mayor a 447 cm/s<sup>2</sup> y menor a 537 cm/s<sup>2</sup>.

Los cerros y lomadas tienen laderas estables, se observan muy pocos bloques sueltos, que puedan caer, tampoco se observaron laderas deslizadas, ni presencia de cárcavas que hayan acarreado materiales fragmentales. Los cerros y lomadas presentan una cobertura de moderado espesor de arenas eólica, que toma coloración gris a beige clara, que debido a fuertes precipitaciones pluviales y sismos de gran magnitud, pueden deslizarse ladera abajo, afectando a las edificaciones.

### **Peligro Alto**

Depósitos de arenas de compacidad suelta a media que se ubican en el sector noroeste y noreste del distrito de Ventanilla. La capacidad de carga admisible en esta zona para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho y desplantada entre 1.0 y 1.5 m de profundidad varía entre 0.5 Kg/cm<sup>2</sup> y 1.00 Kg/cm<sup>2</sup>. El análisis químico del suelo de cimentación en la mayor parte de esta zona muestra una concentración de sulfatos que presenta una agresividad media al concreto y una concentración de cloruros que presenta una agresividad media al acero de refuerzo, así como una moderada concentración de sales solubles totales, por lo cual no se espera problemas de lixiviación. Solamente en el proyecto El Mirador, localizado en el sector noroeste, se ha encontrado una agresividad alta de los sulfatos, cloruros y un alto contenido de sales solubles totales que podrían generar problemas de asentamiento por lixiviación.

Depósitos marinos, conformado por arenas sueltas a muy sueltas ubicada en la franja litoral del área en estudio.

Los resultados de las mediciones de microtemores muestran que los periodos de vibración natural del suelo en esta zona son mayores a 0.4 s. La aceleración horizontal máxima del suelo es mayor a 582 cm/s<sup>2</sup>.

Llanuras que limitan con cerros y lomadas de poca altura y que presentan comportamientos especiales. Zonas de canteras de las que desconocen los métodos de explotación por lo que las condiciones del terreno pueden ser inestables, ubicadas al este y sur del distrito.

Existencia de zonas con material de escombros y rellenos antrópicos, identificados en sectores específicos del área urbana.





Zona de inundación provocada por el régimen de descargas del río Chillón, se presentará en épocas crecientes de lluvias. La zona más afectada será la parte baja del cauce del río Chillón, zona que está conformada, en ambos márgenes, por material de desmonte más desechos (basura) adicional al material aluvial (las zonas más afectadas son tramos del río cuya profundidad es pequeña y tramos donde se obstruye el cauce con material de desmonte y/o basura).

Zona de Inundación por Tsunami, correspondiente al distrito de Ventanilla, información extraída del estudio "Evaluación de la Amenaza Frente a Tsunami Para Lima y Callao" elaborado por el CISMID (2011).

## X. 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.
- 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 Microtremores 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 ELECTROPERUS.A.
- Bieniawski Z.T (1989) "Engineering Rock Mass Clasificación" Willey Intersciencie Publication, USA.
- Capon J., 1969, High-Resolution Frequency-Wavenumber Spectrum Analysis: Proc. IEEE, v. 57, 1408-1418.
- Calderon, J., Sekiguchi, T., Aguilar, Z., Lazares, F. y Nakai, S., (2011), Dynamic Characteristics of the Surface Soils in Lima, Proc., Eighth International Conference on Urban Earthquake Engineering, 8CUEE Tokyo, Japan, 537-542.
- 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 (2004), "Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de 10 distritos de Lima y Callao". Informe Técnico, Lima, Perú.



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

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

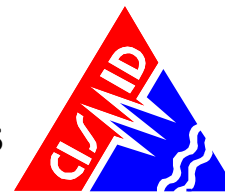


- Cornell A. (1968), "Engineering Seismic Risk Analysis", Bulletin of the Seismological Society of America", Vol58, N°5 págs.1538-1606.
- Das, B. M. (1996), "Principios de Ingeniería de Cimentaciones", México Thomson Editores, 4ta Edición, México.
- Deza E. y Carbonell C. (1978), "Regionalización Sismotectónica 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.
- Gonzáles 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.
- 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.
- 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: 25-j.
- 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, Vol73, N°18, 5855-5899.
- Jaimes Miguel A., Reinoso Eduardo, Ordaz Mario y Arredondo Cesar (2009), "Correlación entre la aceleración y velocidad máxima del suelo: Aplicación en el análisis del peligro sísmico", publicado en la Revista de Ingeniería Sísmica No. 81, pag. 19-35 (2009), editada por la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica (SMIS).
- Kramer, S.L., (1996), "Geotechnical Earthquake Engineering". Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Kuroiwa, Julio. (2002) "Reducción de Desastres" Quebecor World Peru S.A. Lima.
- Kuroiwa, Julio, Pando Pacheco E y Pando Merino E. (2010) "Alto a los Desastres" Umbral Ediciones S.A.C. Lima.
- 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. (1988) Natural period of sites in the valley of Mexico from microtremor measurements, Earthquake Spectra, 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.



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

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



- 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, 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. 25-30.
- Park, C., Miller, R. y Xia, J. (1999), "Multichannel analysis of surface waves". Geophysics. Vol. 64. N° 3. 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<sup>a</sup>). "Seismic characterization of geotechnical sites by Multichannel Analysis of Surface 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](http://www.alter.org.pe/cuenca/sis_natural_fisico.html). Página 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 Puente Piedra – 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, Vol2, 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.
- Slemmons D. (1982), "Magnitude of Active Faults", U.S. Army Engineer Waterways Experimental Station, USA.
- SISRA (1985), "Catálogo de Terremotos para América del Sur" Vol7a, 7b y 7c, Proyecto SISRA, CERESIS, Lima, Perú.



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

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



- 
- 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 Eng., 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.