

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE SUELOS EN EL ÁREA URBANA DE CHACLACAYO (LIMA)

Fabiola Rosado, Hernando Tavera, Isabel Bernal, Juan Carlos Gómez, Henry Salas

Dirección de sismología, Instituto Geofísico del Perú email. frosado@igp.gob.pe, hernando.tavera@igp.gob.pe, isabel.bernal@igp.gob.pe, juan.gomez@igp.gob.pe, henry.salas@igp.gob.pe

RESUMEN

Se evalúa el Comportamiento Dinámico del Suelo en el área urbana de Chaclacayo a partir de la recolección de datos y la aplicación de métodos sísmicos, geofísicos, geológicos, geomorfológicos y geotécnicos. Los resultados obtenidos han permitido identificar en el área urbana de Chaclacayo, según el procedimiento establecido en la Norma E-030, la existencia de dos (2) zonas sísmicas-geotécnicas correspondientes a suelos Tipo S1 y S2. El Mapa de Zonificación Sísmica - Geotécnica representa ser una importante contribución para orientar el desarrollo urbano de la ciudad.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo a la historia sísmica de Perú, la región central ha sido afectada en varias oportunidades por eventos sísmicos de variada magnitud que han generado altos niveles de intensidad, puesta en evidencia con los daños observados post-sismo en cada área urbana. Al ser los sismos cíclicos, es de esperarse que en el futuro, las mismas áreas urbanas sean afectadas por nuevos eventos sísmicos con la misma o mayor intensidad. Entonces, no es tan importante el tamaño del sismo, sino la intensidad del sacudimiento del suelo, la educación de la población y la calidad de las construcciones presentes en cada área urbana.

Los estudios sobre el Comportamiento Dinámico de los suelos permitirán tener mayor conocimiento sobre las características del sub-suelo sobre el cual se levantan las áreas urbanas y/o futuras áreas de expansión. Para ello se realiza la aplicación de diferentes metodologías que consideran información sísmica, geofísica, geológica, geodinámica, geomorfológica y geotécnica. En este estudio, se evalúa el comportamiento dinámico de los suelos sobre los cuales se concentra el área urbana de Chaclacayo ubicado en el distrito del mismo nombre, provincia de Lima, departamento de Lima (Figura 1).

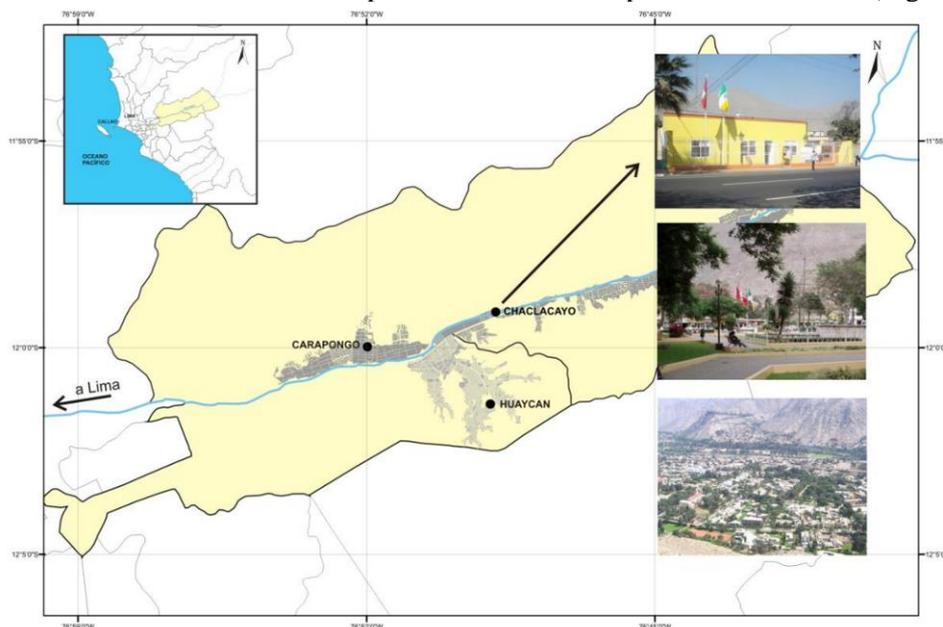


Figura 1. Ubicación geográfica del distrito y área urbana de Chaclacayo.

METODOLOGÍA

Para conocer el comportamiento dinámico de los suelos de Chaclacayo se utilizaron datos sísmicos (H/V), geofísicos (MASW, prospección eléctrica) y geotécnicos. Se aplicó los siguientes métodos:

ESTUDIOS SÍSMICOS Y GEOFÍSICOS

Estos estudios consideran la recolección, en campo, de registros de vibración ambiental para diversos puntos y como parte de arreglos sísmicos lineales y circulares. Para el análisis de esta información se utilizó la técnica H/V o de Nakamura, la misma que considera como hipótesis de base que las vibraciones ambientales o microtemores generadas por la actividad humana se deben principalmente a la excitación de ondas tipo Rayleigh en las capas superficiales. El registro de esta información y su interpretación, permite conocer el periodo natural del suelo y el factor de amplificación, parámetros que definen el comportamiento dinámico del suelo ante la ocurrencia de eventos sísmicos. Para Chacabuco se obtuvieron 300 datos sísmicos. Su análisis e interpretación mostraron los siguientes resultados.

Rango de frecuencias entre 0.5 - 2.0 Hz: Se distribuyen sobre toda el área de estudio. En puntos alejados del río Rímac, la curva H/V enmascara a las frecuencias mayores a 2 Hz; mientras que, para puntos próximos al río, dichas frecuencias sobresalen nítidamente, a menor distancia del río, los picos de frecuencia no están presentes; mientras que a mayor distancia, ellas están presentes. Rango de frecuencias de 2 a 10 Hz: Se puede diferenciar tres sub - áreas:

Área 1, las frecuencias predominantes varían entre 2.0 y 4.0 Hz, considera los extremos E y O de la Plaza Central y sobre el A. H. Miguel Grau, I Etapa. Se distribuyen, en su mayoría, hacia el centro de la cuenca del río Rímac.

Área 2, predominio de frecuencias que varían entre 4.0 y 20 Hz, los mismos que se incrementan conforme se tiende hacia las partes altas.

Área 3, Son puntos donde no se ha identificado frecuencias predominantes.

Rango de frecuencias de 10 a 30 Hz: Abarca el 30% del área de estudio, concentrándose en la zona céntrica sobre áreas pequeñas con amplificaciones de al menos 2 veces. Este rango de frecuencias es asociado a la presencia de superficies de menor espesor, con respecto a las zonas caracterizadas con valores de menor frecuencia predominante. Están presentes en zonas próximas al río Rímac y posibles puntos de relleno antrópico.

TÉCNICA DE ARREGLOS LINEALES

Se hace uso de tendidos lineales de 24 sensores sísmicos a fin de registrar ondas de volumen y superficiales generadas por fuentes artificiales. Se realizaron 7 arreglos, Arreglos lineales: LR01-CHA y LR02-CHA en la Urb. de Villa Rica y han permitido identificar la presencia de dos capas. La primera con espesores de 6 a 10 m y velocidades V_s alrededor de 400 m/s correspondientes a suelos duros. La segunda con espesores de 20 a 25 m y velocidades V_s alrededor de 700 m/s correspondiente a suelos muy duros y/o rocas moderadamente duras.

Arreglo: LR03-CHA, se ha identificado una primera capa superficial de 5 a 6 m de espesor con velocidades V_s promedio de 300 m/s correspondiente a suelos duros.

Arreglos lineales: LR04-CHA y LR05-CHA realizados en el extremo SO de la Plaza Central sobre la Urb. Los Pinos, se ha identificado la presencia de dos capas. La primera con espesores de 5 m y velocidades V_s de 240 m/s correspondientes a suelos duros. La segunda capa presenta espesores de 10 a 15 m y velocidades V_s de 380 m/s correspondientes a suelos muy duros.

Arreglo lineal: LR06 - CHA, ubicado en el extremo NO de la Plaza Central, entre el río Rímac y la Carretera Central, se han identificado dos capas, la primera superficial con espesores de 5 a 7 m y velocidades V_s de 440 m/s correspondientes a suelos muy duros. La segunda capa con espesores de 10 m velocidades V_s de 500 m/s correspondientes a suelos muy duros.

Arreglo lineal: LR07 - CHA, se ha identificado la presencia de dos capas, la primera superficial con espesores de 5 m y velocidades V_s de 400 m/s correspondientes a suelos muy duros. La segunda capa con espesores de 10 m y velocidades V_s de 600 m/s correspondientes a suelos muy duros.

TÉCNICA DE ARREGLOS CIRCULARES

Se considera el registro de datos de vibración ambiental, en arreglos circulares, a fin de obtener curvas de dispersión de ondas superficiales similar a la técnica de arreglos lineales.

Para el punto de estudio LR06 - CHA se ha identificado la presencia de dos capas, la primera con velocidades V_s alrededor de 400 m/s correspondientes a suelos duros con espesores de 6 a 10 m y la segunda, con velocidades V_s de 700 m/s correspondientes a suelos muy duros y espesores de 20 a 25

m. Estos espesores y velocidades Vs son coherentes con los obtenidos con la técnica H/V, demostrando así que los resultados obtenidos presentan gran confiabilidad.

TÉCNICA DE PROSPECCIÓN ELÉCTRICA. Tiene por objetivo determinar la distribución real de la resistividad del subsuelo hasta un cierto rango de profundidad a lo largo de un perfil de medida.

Línea geoelectrica LE01 - CHA, presenta zonas de baja resistividad con valores de 150 Ohm - m para la primera capa de espesor entre 2 y 3 m, estando posiblemente relacionada con la presencia de material de grano grueso no consolidado. La segunda capa exhibe un horizonte de alta resistividad, mayor a 500 Ohm - m y espesores entre 10 y 15 m aproximadamente, estando constituida por material consolidado con ausencia de humedad. Subyacente a esta capa, se tiene un horizonte de aproximadamente 10 m de espesor con resistividad moderada y de posibles zonas de fracturamiento.

ESTUDIOS GEOLÓGICOS - GEOTÉCNICOS

TÉCNICAS DE ANÁLISIS GEOTÉCNICO

Se excavaron 10 calicatas para la obtención de muestras de suelo a fin de realizar análisis como el granulométrico, límites de consistencia y contenido de humedad. Los resultados del análisis permiten realizar la clasificación SUCS y conocer la capacidad portante de los suelos (Tabla 1).

CALICATAS	Profundidad (m)	Grava (> 4.76mm)	Arena (>0.075mm <4.76mm)	Finos (<0.075mm)	Uniformidad	Curvatura	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice Plástico (%)	Contenido de Humedad (%)	CLASIFICACION SUCS	Denominación
C-16	2.50	0.0	46.0	54.0	-	-	NT	NP	-	9.08	ML arenoso	Limos orgánicos
C-17	2.60	14.0	75.0	11.0	37.42	0.34	24.31	18.38	5.93	4.25	SP-SC	Arena y arcilla req. Gradada
C-18	2.70	60.0	25.0	15.0	-	-	24.87	19.54	5.33	8.17	GC-GM con arena	Grava req. Gradada
C-19	2.40	48.0	41.0	11.0	141.51	0.62	NT	NP	-	2.90	GP-GM con arena	Grava pob. Gradada con limo
C-20	2.40	3.0	23.0	74.0	-	-	31.38	20.31	11.07	11.83	CL con arena	Arcillas inorgánicas
C-21	2.40	41.0	58.0	1.0	10.00	2.59	NT	NP	-	5.39	SW con grava	Arena bien Gradada
C-22	2.85	1.0	70.0	29.0	-	-	20.73	18.49	2.24	7.34	SM	Arena limosa mal Gradada
C-23	2.50	46.0	43.0	11.0	155.02	0.13	NT	NP	-	7.30	GP-GM con arena	Grava pob. Gradada con limo
C-24	2.60	61.0	38.0	1.0	31.41	2.47	NT	NP	-	3.94	GW con arena	Grava bien Gradada
C-25	2.60	12.0	87.0	1.0	11.43	0.51	NT	NP	-	1.67	SP	Arena pob. Gradada

Tabla 1. Clasificación de suelos SUCS - Casagrande para el área urbana de Chaclacayo.

Se realizaron ensayos de corte directo para determinar los parámetros de resistencia del suelo para el cálculo de la capacidad de carga última del suelo en los 10 puntos analizados. Los resultados se muestran en la tabla 2.

CALICATAS	Angulo de Fricción interna del Suelo (°)	Cohesión Aparente del Suelo (Kg/cm ²)	Densidad seca Promedio (gr/cm ³) (< N° 4)	Humedad Natural (%)	Capacidad Carga Admisible (Kg/cm ²)
C-16	30.15	0.00	1.61	3.20	1.68
C-17	24.39	0.02	1.70	4.25	1.06
C-18	26.61	0.05	1.64	8.17	1.69
C-19	26.74	0.02	1.58	2.90	1.30
C-20	24.96	0.09	1.46	11.83	1.76
C-21	27.89	0.00	1.52	5.35	1.17
C-22	27.69	0.13	1.76	7.34	1.79
C-23	29.90	0.02	1.45	7.30	1.76
C-24	29.98	0.00	1.51	3.94	1.51
C-25	31.21	0.02	1.62	1.67	1.91

Tabla 2. Valores de capacidad portante para cada calicata, del área urbana de Chaclacayo.

La capacidad portante de suelos para el área urbana de Chaclacayo, se ha calculado para una profundidad y ancho mínimo de 1.00 m obteniéndose valores de capacidad portante de media a baja. En Chaclacayo, los suelos presentan, desde el extremo oeste - este, una capacidad portante media en 60% de su área total. En la zona de los Andes Golf Club, Los Girasoles de Huampaní, PJ 3 de Octubre, Urb. Los Ángeles, Urb. Los Cóndores y la Asociación de vivienda El Inti, se presentan valores de capacidad portante baja.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos en este estudio han permitido identificar, según la Norma de Construcción Sismoresistente (Norma E030), la existencia en el área urbana de Chaclacayo de 2 zonas sísmicas - geotécnicas, las mismas que corresponden a suelos de Tipo S1 y S2. Esta clasificación permite proponer, en este estudio, el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del suelo) para el área urbana de Chaclacayo (Figura 2).

Zona I, conformada por estratos de grava coluvial - aluvial ubicados a nivel superficial o cubiertos por un estrato de material fino de poco espesor. Este suelo tiene un comportamiento rígido con periodos de vibración ambiental, entre 0.1 y 0.3s que corresponden a suelos de Tipo S1. Esta zona considera la parte baja de las laderas entorno a la zona urbana de Chaclacayo.

Zona II, esta zona considera las planicies aluvionales conformadas por gravas y arenas intercaladas con niveles finos limosos y arcillosos cuyos espesores varían entre 6 y 25 m. Los periodos dominantes del terreno, determinados por las mediciones de vibración ambiental, se encuentran entre 0.3 y 0.5 s y corresponde a suelos de Tipo S2. Esta zona abarca principalmente la parte céntrica del área urbana de Chaclacayo, el margen izquierdo del Río Rímac y su extremo oeste conformado por los A.H. Puerto Ñaña y Miguel Grau I Etapa.

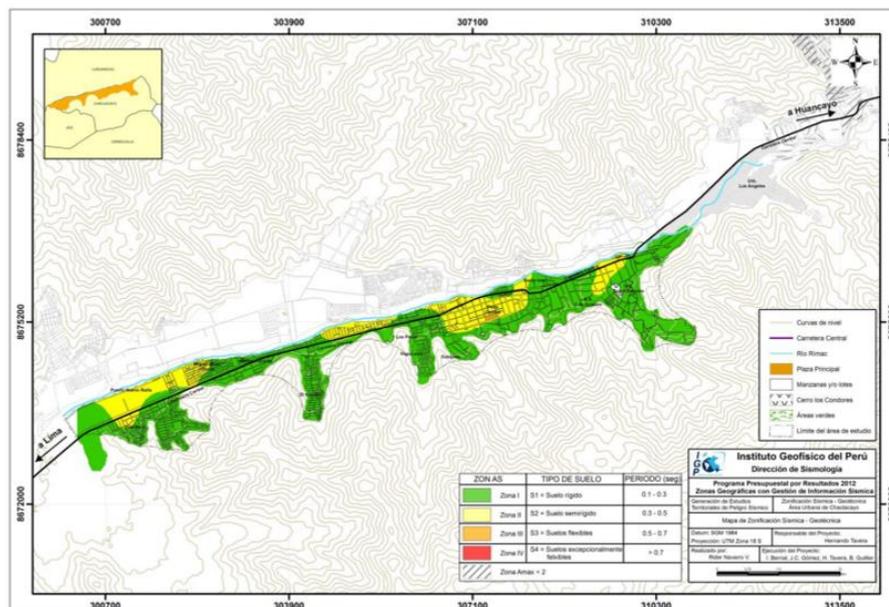


Figura 2. Mapa de zonificación sísmica - geotécnica para el área urbana de Chaclacayo.

REFERENCIAS

1. Alfaro, A., Egozcue y A. Ugalde (1999): Determinación de características dinámicas del suelo a partir de microtemores. Memorias del Primer Congreso de Ingeniería Sísmica, España.
2. APESEG (2005): Estudio de vulnerabilidad y riesgo sísmico en 42 distritos de Lima y Callao, CISMID, 10 pág.
3. Aki, K., (1957): Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtemors.
4. Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo 35, 415–457.
5. Bernal, I. (2006): Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Tlaxcala – México. Tesis de Maestría, II-UNAM, México.
6. Bernal, I. y H. Tavera (2007): Pruebas de vibración ambiental realizadas en la localidad de Condormarca, provincia de Bolívar. Dpto. de la Libertad. Informe Técnico, 23p.