

# **MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA SÍSMICA PARA EL ÁMBITO PISCO, SAN CLEMENTE, TÚPAC AMARU, SAN ANDRÉS Y PARACAS**

PRETELL DUCTRAM Anthony Renmin<sup>1</sup>

AGUILAR BARDALES Zenón<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de Ingeniería Civil – Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Nacional de Ingeniería.  
E-mail: apretelld@uni.pe

<sup>2</sup>Doctor en Ingeniería Civil – Profesor Asociado - Facultad de Ingeniería Civil – UNI.  
E-mail: zaguilard@zergeosystemperu.com

## **RESUMEN**

El presente estudio realizado por el Centro Peruano Japonés de Investigación Sísmica y Mitigación de Desastres CISMID, tiene por objetivo la zonificación geotécnica sísmica del área de estudio comprendida por los distritos de Pisco, San Clemente, Túpac Amaru, San Andrés y Paracas, dando énfasis en las áreas de expansión urbana para su futuro ordenamiento territorial. El estudio comprende aspectos de mecánica y dinámica de suelos, además de estudios de peligros de tsunami y licuación de suelos.

Con ese fin ha sido realizada una extensiva recopilación de información geológica, geotécnica y geofísica, información que fue evaluada y permitió reconocer las áreas de carencia de datos, por lo que fueron programadas nuevas zonas de exploración, con el objetivo de complementar y verificar los estudios recopilados. La exploración geotécnica consistió básicamente de calicatas y ensayos DPL para conocer el perfil estratigráfico del suelo y extraer muestras para el análisis de sus propiedades mecánicas, por otro lado la exploración geofísica radicó en la realización de ensayos de medición de ondas Rayleigh para la obtención de los perfiles sísmicos y medición de microtemores para determinar el periodo fundamental del suelo.

Finalmente, con toda la información recopilada y ejecutada se ha elaborado el mapa de microzonificación geotécnica y el mapa de isoperiodos, los cuales en conjunto con el análisis de peligro sísmico del área de estudio y el análisis de probabilidad de ocurrencia de tsunamis conforman el mapa de microzonificación geotécnica-sísmica.

## **INTRODUCCIÓN**

El Perú, al ser un país ubicado frente al mecanismo de subducción de las placas de Nazca y la Sudamericana, se ha visto siempre vapuleado por la frecuente y destructora actividad sísmica, especialmente la provincia de Pisco, ubicada en el departamento de Ica, siendo el sismo de importancia más reciente el del 15 de agosto del año 2007, con epicentro a 60 km de la ciudad de Pisco, profundidad de 40 km y una magnitud  $M_w=7,9$ , según el Instituto Geofísico del Perú.

Es por ello la preocupación del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento de elaborar un estudio de este frecuente escenario sísmico, para de esta manera orientar de una mejor forma el creciente asentamiento de la población y con ello resguardarla de los posibles desastres naturales.

## UBICACIÓN Y EXTENSIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende gran parte de la provincia de Pisco, ubicada en el departamento de Ica, al sur de Lima. Específicamente el presente estudio abarca en su totalidad al distrito de Pisco y un sector de los distritos de San Clemente, Túpac Amaru Inca, San Andrés, Paracas y El Carmen, que pertenece a la provincia de Chincha, conformando de esta manera una extensión de 334 km<sup>2</sup> de área de estudio mostrada en la Fig. 1.

La provincia de Pisco limita por el norte con la provincia de Chincha (distrito de El Carmen), por el sur con la provincia de Ica (distrito de Salas y San José de los Molinos), por el este con el departamento de Huancavelica (provincia de Huaytará) y por el oeste con el Océano Pacífico.

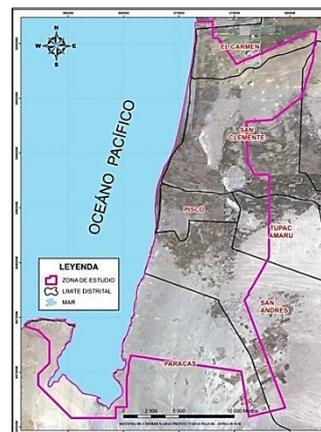


Figura 1: Delimitación del área de estudio.

## ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO

El análisis de peligro sísmico de la zona de estudio ha sido realizado en base a métodos probabilísticos y determinísticos. Se han considerado para ello las fuentes sismogénicas de subducción de interfase e intraplaca y fuentes continentales, a las cuales se han asociado los eventos sísmicos más importantes utilizando el algoritmo de GSHAP para descartar las réplicas y premonitoreos de los eventos principales. Cabe mencionar que de acuerdo a la historia sísmica del área de estudio han ocurrido sismos con intensidades de hasta IX, siendo uno de los más importantes el del 15 de agosto del 2 007.

Es así que en base a estas fuentes sismogénicas y empleando las leyes de atenuación de Youngs et al. (1 997), la del CISMID desarrollada por Chávez, J. (2 006) y la de Sadigh et al. (1 997) para sismos continentales, se ha evaluado la probabilidad de ocurrencia del sismo más fuerte para un periodo de retorno de 30, 50, 100, 200, 400, 475, 1 000 y 2 500 años, utilizando el programa de cómputo CRISIS 2 007 y considerando 50 años de periodo de exposición sísmica, desarrollado por Ordaz et al. (1 999).

Debido a la extensa área de estudio, se han considerado 5 puntos de análisis. Los resultados del análisis para cada uno de estos puntos son mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1: Aceleraciones espectrales para diferentes periodos de retorno.

Distrito	Modelo de Atenuación	Longitud (W)	Latitud (S)	Aceleración horizontal máxima (g) un periodo de retorno de:							
				30	50	100	200	400	475	1000	2500
San Clemente	CISMID 2 006 (P.50)	-76,15°	-13,64°	0,17	0,22	0,30	0,39	0,51	0,54	0,70	0,94
	Youngs et al. 1 997 (P.50)			0,24	0,29	0,36	0,46	0,56	0,59	0,72	0,91
Pisco	CISMID 2 006 (P.50)	-76,20°	-13,71°	0,18	0,23	0,31	0,41	0,53	0,56	0,72	0,96
	Youngs et al. 1 997 (P.50)			0,24	0,29	0,37	0,47	0,57	0,60	0,72	0,91
Túpac Amaru	CISMID 2 006 (P.50)	-76,11°	-13,72°	0,18	0,22	0,30	0,40	0,52	0,55	0,71	0,96
	Youngs et al. 1 997 (P.50)			0,24	0,29	0,37	0,47	0,57	0,60	0,74	0,93
San Andrés	CISMID 2 006 (P.50)	-76,14°	-13,78°	0,18	0,23	0,10	0,41	0,53	0,57	0,73	0,97
	Youngs et al. 1 997 (P.50)			0,24	0,29	0,38	0,48	0,58	0,61	0,75	0,94
Paracas	CISMID 2 006 (P.50)	-76,33°	-13,83°	0,20	0,25	0,34	0,44	0,57	0,60	0,76	0,98
	Youngs et al. 1 997 (P.50)			0,25	0,30	0,39	0,49	0,60	0,63	0,77	0,96

## ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS

La recopilación de información geológica se basó en el Boletín N° 47 del INGEMMET. Entre los rasgos geomorfológicos, el área de estudio está conformada por la cordillera de la costa, la península costera y los valles, siendo el área de estudio en términos generales una zona desértica, constituida por lomadas y pampas de pendiente suave.

Entre los aspectos geológicos y unidades litológicas, se presentan rocas de origen sedimentario e ígneo de distintas edades, algunas formaciones son: la Formación Chocolate, Paracas, Choros, Yumaque, Pisco, entre otras, siendo la mayor parte de la zona de estudio conformada por depósitos eólicos, eluviales y aluviales en la cuenca del río Pisco; se presenta además zonas de humedales en la parte noroeste y extensiones de depósitos antrópicos cerca al litoral y en distintos sectores de Pisco y Paracas.

## ESTUDIOS GEOTÉCNICOS

Como se hizo mención anteriormente, la extensiva recopilación de información geotécnica permitió reconocer las áreas con poca información, por lo que se realizó una campaña de exploración, contando al final con 129 sondajes entre calicatas, taludes, pozos y ensayos DPL, de los cuales se obtuvo muestras para ser analizadas en laboratorio. Es así que se han realizado ensayos de caracterización, ensayos especiales para la determinación de los parámetros de resistencia del suelo y análisis de contenido de sales y sulfatos. Estos sondajes fueron de vital importancia, puesto que basándonos en los perfiles estratigráficos, se obtuvo como producto el Mapa de Tipos de Suelo (Fig. 2), con el cual, conjuntamente a los resultados de los ensayos de laboratorio antes mencionados y el cálculo de la capacidad portante, se determinó el Mapa de Microzonificación Geotécnica (Fig. 3).

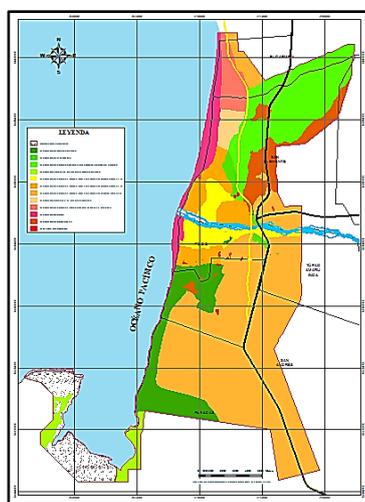


Figura 2: Mapa de Tipos de Suelo.

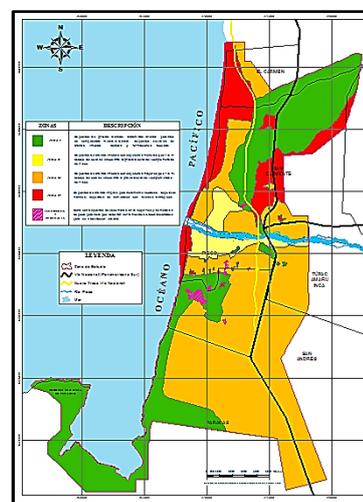


Figura 3: Microzonificación Geotécnica.

El procesamiento de la información geotécnica muestra la presencia de depósitos de gravas densas que va desde la parte sur del distrito de Pisco, paralelamente y junto al litoral hasta la zona norte del distrito de Paracas, al norte de la Bahía de Paracas; afloramientos de diatomitas presentes al este de Pisco y sur de San Clemente, materiales que conjuntamente a los depósitos eluviales de arenas limosas densas de la bahía de Paracas y las formaciones rocosas de la Reserva Nacional de Paracas conforman la Zona I de la microzonificación geotécnica; mientras que las Zonas II y III vienen dadas por depósitos de arenas limosas, diferenciándose únicamente en la potencia de sus estratos; por otro lado la Zona IV está comprendida por zonas de rellenos antrópicos, zonas de humedales, depósitos marinos y arenas potencialmente licuables, ubicadas al oeste de San Clemente y El Carmen.

## ESTUDIOS GEOFÍSICOS

Para determinar los parámetros dinámicos de los suelos del área de estudio, se realizó una recopilación de ensayos geofísicos, contando con resultados de ensayos MASW y mediciones de microtrepidaciones para la determinación del periodo fundamental del suelo, principalmente en el distrito de Pisco. Esta información se complementó con la realización de ensayos de medición microtremores y la medición de ondas Rayleigh, para determinar el periodo de vibración predominante y el perfil sísmico del suelo. Se han ejecutado un total de 10 arreglos de Microtremores de los cuales 9 presentaron resultados adecuados y 55 puntos de medición de microtremores.

De los resultados obtenidos y de la verificación de los ensayos recopilados, se obtuvieron valores de periodo del suelo, los cuales han sido de utilidad para agruparlos en valores similares y determinar el Mapa de Zonas de Isoperiodos (Fig. 4), donde se observan valores muy bajos en la zona sur del área de estudio, con periodos inferiores a 0,10 s, asimismo se encontraron valores parecidos en la zona noreste; por otro lado los cálculos revelan que los suelos adyacentes al río Pisco y en las costas de Paracas tienen periodos superiores a 0,10 s e inferiores a 0,26 s, finalmente en las áreas con presencia de humedales y en el litoral de El Carmen, San Clemente y Pisco el suelo tiene periodos superiores a 0,12 s, alcanzando valores de 0,40 s, lo que manifiesta un comportamiento menos favorable del suelo ante sollicitaciones sísmicas.

Los arreglos de medición de microtremores realizados, dieron como producto los perfiles sísmicos del suelo y las propiedades dinámicas del mismo, esto es la velocidad de ondas de corte ( $V_s$ ), el módulo de corte ( $G$ ) y el módulo de Poisson ( $\nu$ ), parámetros con los que se determinó la amplificación sísmica para tres perfiles, priorizando las zonas de expansión urbana. Así, se han obtenido factores de amplificación de 4 a 5 en un rango de periodos de 0,20 a 0,30 s, al este de San Clemente y al norte del río Pisco, de 3 a 4 en un rango de periodos de 0,15 a 0,25 s, en las costas de Paracas y en un rango de 0,75 a 1,50 s al este del poblado de Pisco.

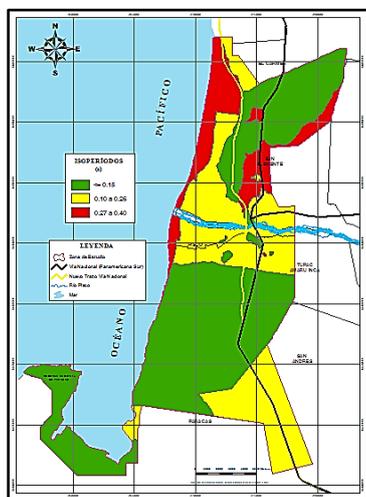


Figura 4: Mapa de Zonas de Isoperiodos.

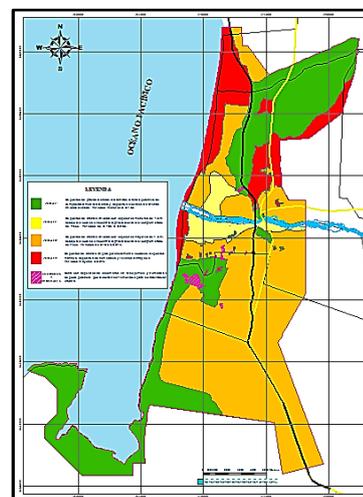


Figura 5: Microzonificación Geotécnica – Sísmica.

## MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA SÍSMICA

El mapa de microzonificación geotécnica sísmica (Fig. 5) se ha realizado tras haber evaluado toda la información de los mapas de tipos de suelo e isoperiodos y se han integrado el análisis de riesgo por tsunamis. Es así que se han determinado 4 zonas análogas a las establecidas por la Norma Peruana de diseño sismoresistente E030.

**ZONA I:** Está conformada por depósitos de gravas densas desde la parte sur del distrito de Pisco y emplazadas por la costa norte de Paracas, se encuentra además los afloramientos de diatomita al este de Pisco, los depósitos de arenas limosas densas en el este de San Clemente, los depósitos eluviales de arenas limosas densas y las formaciones rocosas de Paracas. La Zona I presenta periodos del suelo

inferiores a 0,10 s y una capacidad portante aproximada de 2,0 kg/cm<sup>2</sup> hasta 3,5 kg/cm<sup>2</sup> para una cimentación corrida de 0,60 m de ancho cimentada a una profundidad de 1,00 m a 1,20 m.

ZONA II: Conformada por la grava aluvial del conglomerado de Pisco y los depósitos de arenas limosas con espesor inferior a 1,50 m, ubicadas al margen izquierdo del río Pisco hasta una distancia promedio de 1,50 km hacia el sur y un sector adyacente y al norte del río. Estos depósitos de suelo poseen periodos alrededor de 0,10 s, mientras que las propiedades mecánicas establecen una capacidad de carga entre 1,50 kg/cm<sup>2</sup> y 2 kg/cm<sup>2</sup> para una cimentación corrida de 0,60 m de ancho y cimentada entre 1,0 m a 1,50 m de profundidad.

ZONA III: En esta zona se han agrupado a los depósitos de arenas limosas de una potencia de 4,0 m o superior; la evaluación de las mediciones de microtrepidaciones revela periodos desde 0,10 s hasta 0,26 s. Los sectores pertenecientes a esta zona se encuentran en gran parte al sureste del río Pisco, en la parte central del área de estudio y al norte, en el distrito de El Carmen. Se cuenta con una capacidad portante muy baja, desde 0,60 kg/cm<sup>2</sup> hasta un valor máximo de 1,0 kg/cm<sup>2</sup> para un cimiento corrido de 0,60 m de ancho y desplantado a 1,50 m de profundidad.

ZONA IV: Esta última zona incluye los depósitos de arenas potencialmente licuables y depósitos marinos ubicados al noroeste del área de estudio, además de los sectores con humedales del distrito de San Clemente y a todos los rellenos antrópicos, los cuales se encuentra ubicados en el litoral al norte del río Pisco y en diferentes puntos del distrito de Pisco. Se considera a esta zona como no apta para el asentamiento humano, por lo que no deben ser destinadas para viviendas.

## **CONCLUSIONES**

1. Los valores de aceleración para un sismo severo obtenidos del análisis de peligro sísmico utilizando el programa de cómputo CRISIS 2 007, muestra valores que se incrementan de norte a sur, parámetro que será de suma importancia en la toma de futuras decisiones para el ordenamiento territorial.
2. Se han utilizado métodos geofísicos para la determinación de los perfiles sísmicos del suelo, además de evaluación de medición de microtrepidaciones para el cálculo de los periodos del suelo, valores que han concordado muy bien con la información geológica y la exploración geotécnica mediante calicatas.
3. La zona de estudio, la cual abarca los distritos de Pisco, San Clemente, Túpac Amaru, San Andrés, Paracas y El Carmen, presentó en términos generales periodos bajos, alcanzando raramente valores superiores a 0,25 s, por lo que el aspecto geotécnico fue determinante para la elaboración del mapa de microzonificación geotécnica sísmica.

## **REFERENCIAS**

1. CISMID (2 007), “Zonificación Sísmica de la Ciudad de Pisco”. Informe integral para la Presidencia del Consejo de Ministros, Secretaría de Descentralización. CISMID, Universidad Nacional de Ingeniería, 2 007.
2. INDECI, INGEMMET, CESEL, CONIDA (2 007), “Investigaciones Geológicas - Geotécnicas realizadas en el distrito de San Clemente”, Sismo del 15 de Agosto de 2 007.
3. INDECI, INGEMMET, CESEL, CONIDA (2 008), “Mapa de Peligros de Pisco y San Andrés”, Información para la reconstrucción del Sismo 15 Agosto de 2 007.