

# **ZONIFICACIÓN SÍSMICA –GEOTÉCNICA DEL DISTRITO DE SACHACA – AREQUIPA (COMPORTAMIENTO DINÁMICO DEL SUELO)**

Lisbeth Bejarano, Hernando Tavera, Isabel Bernal, Juan Carlos Gomez, Henry Salas.

Dirección de Sismología/Instituto Geofísico del Perú.lisbethbejarano@hotmail.com,hernando.tavera@igp.gob.pe,  
isabel.bernal@igp.gob.pe, juan.gomez@igp.gob.pe, henry.salas@igp.gob.pe

## **RESUMEN**

En el presente estudio se realiza una combinación de métodos sísmicos, geofísicos, geológicos y geotécnicos para caracterizar el suelo presente en la zona urbana del distrito de Sachaca, Arequipa. Según norma E –030. Los resultados obtenidos en este estudio, han permitido identificar en Sachaca dos zonas sísmicas-geotécnicas, correspondientes a suelos tipo S1 y S2. Así mismo, se han identificado la existencia de 6 laderas con índices de deslizamientos y factor de seguridad inestable a precario. En la cuenca del río Chili que limita con el distrito (aproximadamente 5 Km) se ha identificado la existencia de 6 zonas susceptibles a inundación con caudales mayores a 170m<sup>3</sup>/seg que afectaría zonas agrícolas y viviendas.

## **INTRODUCCIÓN**

De acuerdo a la historia sísmica de Perú, la región sur 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 de los principales departamentos ubicados en la zona costera (Silgado, 1978). 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. En este escenario, no es importante el tamaño del sismo, sino la intensidad del sacudimiento del suelo (efecto de sitio), la educación de la población y la calidad de las construcciones presentes en cada área urbana.

El comportamiento dinámico o los efectos locales de sitio dependen de varios factores como: las características de excitación de las ondas, debido a la estratigrafía y propiedades de los materiales; geometría de la cuenca, ubicación del sitio respecto de la fuente sísmica, etc. y pueden variar a distancias cortas, incluso a escala urbana. Por lo tanto, su evaluación detallada necesita de métodos de bajo costo que permitan caracterizar la respuesta del medio ante las ondas sísmicas. Los métodos basados en ondas superficiales, son una opción interesante a ser aplicados, lo que supone una ventaja para los métodos basados en el análisis espectral de estas ondas.

En el presente estudio se analiza los efectos de sitio para el distrito de Sachaca,(Arequipa) apartir de la aplicación métodos sísmicos, geofísicos, geológicos y geotécnicos, el objetivo es conocer elcomportamiento dinámico ante la ocurrencia de sismos y como una de las primeras acciones preventivas. Estas técnicas en conjunto, han permitido proponer el mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica para el distrito de Sachaca.

## **ESTUDIOS SÍSMICOS CON LA TÉCNICA H/V**

Técnica propuesta por Nakamura (1989),a fin de estimar el periodo fundamental a partir de mediciones de vibraciones ambientales. Nakamura concluyó que el cociente espectral entre las componentes horizontales y verticales del movimiento del suelo, en un mismo punto, puede ser usado como un estimativo de los efectos de sitio. En el Distrito de Sachaca se registró datos de Vibración Ambiental en 204 puntos, distribuidos sobre un área de 26 Km<sup>2</sup>. En cada punto se tomó un tiempo de registro de 20 minutos. El análisis de esta información permitió identificar la existencia de dos rangos de frecuencia predominantes: el primero de 2.0 a 3.0 Hz asociado a capas de gran espesor, y el segundo entre 3.1 y 10 Hz debido a suelos compactos y de menor espesor en las proximidades del río Chili. Así mismo, en algunos puntos se ha identificado hasta dos picos de frecuencias que definen la existencia de suelos heterogéneos o complejos. En resumen el Distrito de Sachaca cuenta con suelos constituidos por una o dos capas sedimentarias, de diferente espesor, posiblemente con similar composición geológica.

## ESTUDIOS SÍSMICOS CON LA TÉCNICA DE ARREGLOS LINEALES

La aplicación de esta técnica permite determinar las características físicas del subsuelo bajo un punto en forma indirecta, permitiendo de este modo, definir el perfil de velocidades de las ondas de corte Vs que caracteriza a dicha línea. En el Distrito de Sachaca se realizaron de 8 líneas de refracción sísmica codificadas como: S001, S002, S008. Los valores de espesor y de velocidad de cada capa se muestran en la Tabla 1. En conclusión, en el distrito de Sachaca el subsuelo presenta dos capas, (líneas S001, S004, S005, S007, S008), la primera capa del suelo corresponde a suelos blandos, y la segunda a suelos duros. En la línea S002, ambas capas son suelos duros, y en las líneas S003 y S006 la primera capa corresponde a suelos duros, y la segunda a suelos muy duros o rocas blandas.

Línea	Espesor capa 1(m)	Espesor capa 2 (m)	Velocidad capa 1 (m/s)	Velocidad capa 2 (m/s)	Velocidad en la superficie de contacto(m/s)
S001	4.5	2.6	150	220	380
S002	3.5	11.0	200	280	450
S003	13.0	4.0	300	480	600
S004	4.6	4.2	180	290	640
S005	1.8	4.2	160	250	340
S006	3.0	8.5	200	440	690
S007	1.5	2.5	220	530	530
S008	2.4	3.5	160	220	600

*Tabla 1: Valores de espesor y velocidad para las 8 líneas de refracción sísmica.*

## ESTUDIO GEOTÉCNICO

Para el estudio de los suelos en el Distrito de Sachaca se construyeron 15 calicatas distribuidas de tal modo que cubran toda el área. El análisis ha permitido identificar la existencia de hasta 3 tipos de suelos: SM compuestos por arenas limosas que se encuentran presentes en el 74 % del área total; SP constituidos por arena pobremente gradada con partículas de tamaño uniforme presente en un 13% del área, SP - SM conformados por arena pobremente gradada y arena limosa, presentes en un 13% del área de estudio. Estos tres tipos de suelos no presentan plasticidad. Todos los suelos jóvenes que se encuentran asentados sobre los cerros presentan suelos rocosos conformados por granodiorita. Según el análisis de la capacidad portante de los suelos el 74 % del área de estudio presenta capacidad portante baja y un 26 % capacidad portante alta.

## EVENTOS EXTERNOS

### ESTABILIDAD DE TALUDES

En el Distrito de Sachaca se ha identificado la presencia de 27 zonas de laderas con posibles índices de inestabilidad de taludes, todas en cerros ubicados dentro del mismo distrito. En promedio las laderas presentan pendientes de 25° a 40°, con superficies compuestas por un substrato rocoso de granodiorita y una cobertura de material coluvial de variado espesor. La ladera L-24 (P.J. Villa el Triunfo) presenta un factor de seguridad inestable; las laderas L-09 (P.J. José María Arguedas), L-12, L-14 (P.J. Corazón de Jesús) el factor de seguridad es precario. Para las laderas L-01 (P.J. 7 de Junio), L-23 (P.J. villa el Triunfo) el factor de seguridad es inestable – precario. En todas las demás laderas el factor de seguridad es estable.

Estos resultados se han obtenido aplicando las condiciones de un modelo estático y otro pseudo estático realizado con el software SLIDE, considerando como coeficiente sísmico en el modelo pseudo estático de 0,2 g como factor de seguridad.

### PELIGRO A INUNDACIONES

El área de estudio limita a lo largo de 5 Km con parte de la cuenca del Río Chili (desde P.T. Arrayanes, hasta P.T. Arancota). En su rivera se ha identificado la presencia 6 zonas susceptibles de inundación por incremento de su caudal. Entre 170 m<sup>3</sup>/sega 290 m<sup>3</sup>/seg, el desborde afectaría a viviendas y terrenos agrícolas que están ubicados cerca al Puente Tingo, P.T. Arancota, Urb. Palacio,

Puente de la Vía Férrea, Variante Uchumayo cerca al Puente San Isidro, P.T. Arrayanes cerca al Puente de Fierro.

Estos resultados se han obtenido utilizando el software HEC – RAS y los datos topográficos levantados en campo, tienen un rango de aproximación del 10% y 20 % debido a las condiciones asumidas para el escenario de la simulación no son datos exactos.

### MAPA DE ZONIFICACIÓN SÍSMICA – GEOTÉCNICA

El Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica para el Distrito de Sachaca considera el análisis e interpretación de la información geológica, geomorfológica, geodinámica, geotécnica, sísmica y geofísica. Las características dinámicas del suelo han permitido identificar en el área de estudio, de acuerdo a la Norma de Construcción Sismorresistente (Norma E030), la existencia de dos tipos de suelo: Tipo S1 y S2. Esta información ha permitido proponer para el Distrito de Sachaca la siguiente zonificación (Figura 1):

**ZONA I:** Conformada por estratos de grava coluvial-aluvial que se encuentran a nivel superficial o cubiertos por un estrato de material fino de poco espesor. Este suelo tiene un comportamiento rígido con periodos de vibración natural, determinados por las mediciones de vibración ambiental, entre 0.1 y 0.3 s correspondientes a suelos de Tipo S1. Asimismo, en esta zona predominan periodos de 0.2 s que se concentran en el extremo Norte y Sur del área urbana. Esta zona considera casi el 80% del suelo del distrito.

**ZONA II:** En esta zona se incluye a las superficies de aluviales conformadas por columnas de gravas con arenas intercaladas con niveles finos limosas y arcillosas cuyos espesores varían entre 3 y 10 m. Los periodos predominantes del terreno, determinados por las mediciones de vibración ambiental, entre 0.3 y 0.5 s correspondientes a suelos de Tipo S2. Esta zona considera áreas pequeñas comprendidas entre los P.T. Alto de Amados, Tío Chico y Tío Grande; otra en la Urb. El Ensueño, entre Campo Verde y el Palacio, y finalmente, un área alargada paralela al río Chili entre el P.T. Arancota y la Urb. El Palacio I.

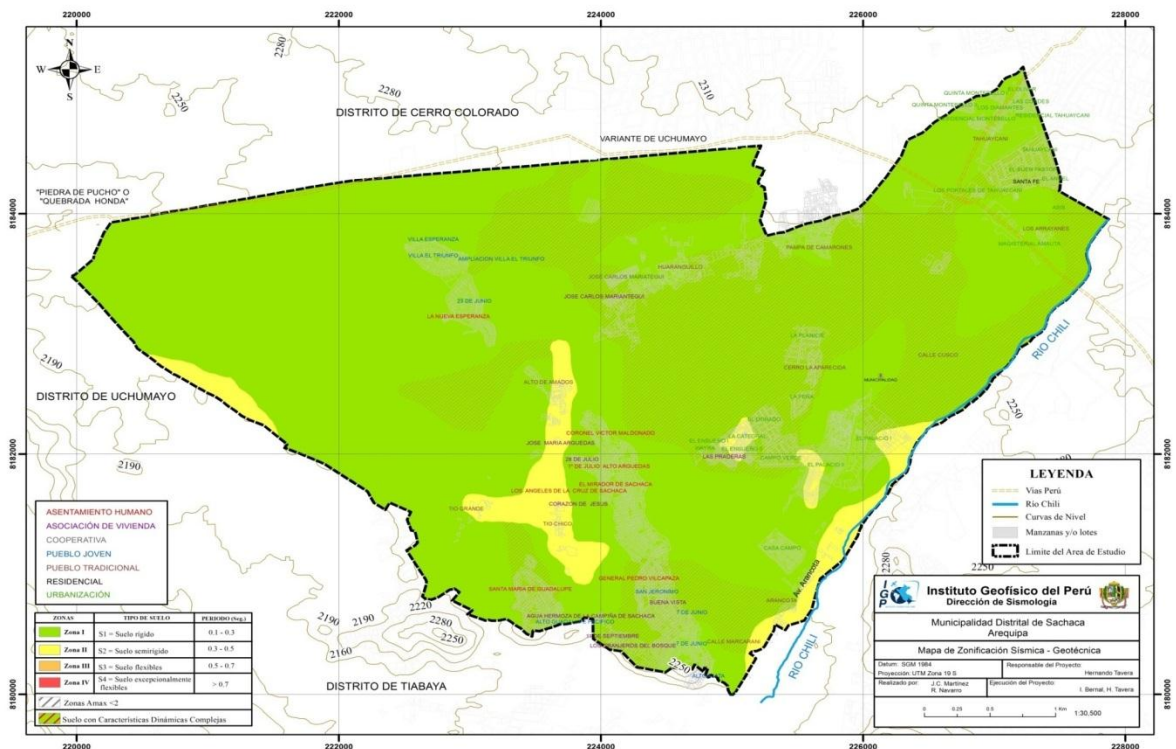


Figura 1: Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica para el Distrito de Sachaca

## CONCLUSIONES

- Se han identificado 6 zonas de laderas con índices de inestabilidad de taludes y factor de seguridad inestable a precario.
- En el cauce del río Chili que limita con el distrito de Sachaca, se ha identificado la presencia de 6 zonas susceptibles a inundaciones por incremento de caudal pudiendo llegar hasta los 290 m<sup>3</sup>/seg.
- El análisis de las razones espectrales H/V sugiere que el suelo sobre el cual se encuentra el área urbana de Sachaca es muy heterogéneo y por ende, complejo. El rango de frecuencias entre 2 y 10 Hz ha permitido identificar la presencia de dos capas sedimentarias de variado espesor. Estos resultados son confirmados con los obtenidos a partir de estudios de refracción sísmica aplicando el método MASW.
- Los resultados obtenidos en este estudio han permitido identificar, según la Norma de Construcción Sismorresistente (Norma E030), la existencia en el Distrito de Sachaca 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 Distrito de Sachaca.

## AGRADECIMIENTO

Para los trabajos de campo contamos con el apoyo de Julio Martínez, Eliana Vizcarra, Joseth Flores, Anthony Lopez.

## REFERENCIAS

1. Alfaro, A., Egozcue y A. Ugalde (1999): Determinación de características dinámicas del suelo a partir de microtremores. Memorias del Primer Congreso de Ingeniería Sísmica, España.
2. APESEG (2005): Estudio de vulnerabilidad y riesgo sísmico en 42 distritos de Lima y Callao, CISMID, 10 pag.
3. INGEMMET (1999): 501 Cuadrángulos Geológicos Digitales de la Carta Nacional 1960-1999. Sector Energía y Minas.
4. Nakamura, Y., (1989): A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, QR of RTRI, 30, No.1, 25-33 pp.
5. Norma E-30 (2003): Technical Building Standard E.030 Earthquake Resistant Standards (E-030 Diseño Sismorresistente). Ministry of Housing, Construction and Sanitation.
6. Silgado, E. (1978): Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú entre 1513 y 1974. Instituto Geológico Minerológico del Perú, Lima, Perú, 120 pag.
7. Tavera, H., Bernal, I., Gómez, J-C. (2010): Zonificación Sísmico-Geotécnico para el Distrito del Callao (Comportamiento Dinámico del Suelo). Informe Técnico COOPI-IRD.
8. Tavera, H., Bernal, I., Gómez, J-C. (2010): Zonificación Sísmico-Geotécnico para el Distrito del Lima (Comportamiento Dinámico del Suelo). Informe Técnico COOPI-IRD.
9. Tavera, H., Bernal, I., Condori, C. (2012): Propuesta del mapa de Peligro Sísmico para el Perú. Sismología, IGP.

