

REUNION INTERNACIONAL DE EXPERTOS  
Seminario Internacional de Planeamiento,  
Reparación y Administración de Hospitales  
en Zonas Sísmicas

"Avances en los Estudios de Microzonificación  
Sísmica en el Perú"

Por

Jorge E. Alva Hurtado, PhD \*

En este trabajo se resumen los avances en los estudios de microzonificación sísmica de algunas ciudades del Perú, que está realizando el Laboratorio Geotécnico del CISMID de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Se documenta la metodología utilizada, así como los resultados de los estudios en Chimbote, Huaraz, y Ciudad Majes. Los estudios de microzonificación sísmica en las dos primeras ciudades se iniciaron después del sismo del 31 de Mayo de 1970, con el propósito de reconstruir las ciudades. El estudio en Ciudad Majes se encuentra en desarrollo, y ha servido para planificar apropiadamente su desarrollo.

Se recomienda que las instituciones municipales y regionales pertinentes recopilen los estudios geotécnicos que se hayan realizando en las ciudades del Perú, con el propósito de establecer un Banco de Datos para su utilización en la microzonificación sísmica de dichas localidades.

---

\* Profesor Principal  
Sub-Director de Investigación, CISMID.  
Facultad de Ingeniería Civil  
Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú.

La microzonificación sísmica de una ciudad es un procedimiento multidisciplinario que involucra la realización de estudios geológicos, sismológicos, geotécnicos, hidrológicos, de evaluación de daños sísmicos, de ensayos de microtrepidaciones y de amplificación sísmica.

En lo que se refiere a las características del subsuelo, se realizan perforaciones con el propósito de determinar las propiedades mecánicas y el tipo de suelo, así como el nivel freático; se ejecutan prospecciones geofísicas para determinar el basamento y los módulos dinámicos y se realizan ensayos de microtrepidaciones para determinar las características de vibración del subsuelo.

Con ocasión del sismo del 31 de Mayo de 1970, se iniciaron en el Perú los estudios de microzonificación sísmica en Chimbote (Morimoto et al, 1971, Hermoza, 1972); y Huaraz (Kuroiwa et al, 1973, Armas, 1973), así como en otras localidades afectadas. El Laboratorio Geotécnico complementó los estudios en Chimbote y Huaraz, realizando ensayos adicionales de microtrepidaciones (Chávez, 1984) y estableciendo nuevos mapas de microzonificación sísmica, Barrón (1984) y Ordoñez (1984).

La evaluación de los daños en edificaciones ocurridos por acción sísmica, contribuye también a evaluar la microzonificación sísmica de una ciudad. Lo anterior fue empleado en las ciudades de Chimbote y Huaraz. Sin embargo, en la Nueva Ciudad Majes, al no existir todavía edificaciones expuestas a la acción sísmica lo anterior no pudo ser ejecutado. Además, en esta última ciudad se continúan todavía los trabajos de zonificación.

Para realizar este estudio se revisó la información existente; se ejecutaron ensayos de medición de microtrepidaciones y se evaluaron los daños ocurridos durante el sismo del 31 de Mayo de 1970.

La ciudad de Chimbote se ubica en la costa norte del Perú a 400 Kms. de Lima. Su geología está constituida por roca volcánica e intrusiva y depósitos del cuaternario. La ciudad se ubica en una planicie aluvional del río Lacramarca, llegando el abanico aluvional a pantanos y lagunas. Las montañas rocosas tienen pendientes suaves y amplias planicies consistentes en depósitos de gran espesor de arena gruesa y gravas. En las zonas costeras el mar ha formado líneas de playa recientes y antiguas, que consisten en capas de arena con conchuelas. Capas gruesas de arena eólica cubren la parte sur de la ciudad. El abanico aluvional está dividido por pequeños valles de arenas finas y fangosas.

La napa freática es del tipo radial, libre y a filetes divergentes, con gradientes hidráulicos entre 2 y 8 por mil, con afloramiento de la misma en extensas zonas cercanas al mar por falta de suficiente drenaje. La profundidad de la napa freática se encuentra entre los 20 y 0 metros.

La ciudad de Chimbote se desplanta sobre un depósito arenoso potente con nivel de agua superficial, susceptible a densificación y licuación, produciendo asentamientos diferenciales. En la mayor parte de la ciudad, la arena es de media a densa, con valores de N de 10 a 30, suprayaciendo arena más densa hasta la roca basal. En la parte norte, la zona de San Pedro está cubierta por arenas sueltas a parcialmente densas, mientras que la Siderúrgica está cimentada sobre arena fi

na a media, con material orgánico y nivel freático superficial. El casco urbano tiene un suelo de arena fina a semi-gruesa con nivel freático a 1.5 metros. La zona central es arenosa de grano fino a medio, con terreno agrícola superficial y nivel freático poco profundo. La zona sur está constituida por arena gruesa a fina con gravas y nivel freático profundo.

En base a estudios de perforaciones, microtrepidaciones y evaluación de daños en Chimbote, se estableció la microzonificación sísmica de ciudad, estableciendo cuatro zonas:

- |          |  |
|----------|--|
| Zona I   | Subsuelo de grava o roca con agua subterránea a 10 metros. Pocas posibilidades de asentamientos. La elevación es mayor que 10 m.s.n.m.   |
| Zona II  | Suelo arenoso suelto a semi-denso con varios metros de potencia. En la mayor parte el agua se encuentra a 5 mts de profundidad. Solo se esperan asentamientos en los bordes de las dunas. Los edificios mayores de dos pisos deben cimentarse por pilotes. |
| Zona III | Suelo arenoso cubierto por capa superficial agrícola. Gravas por debajo de 10 mts. Nivel freático superficial. La arena fina suelta profunda se licuará durante terremotos, pero no ocurrirán asentamientos apreciables en los edificios.                  |

Zona IV            Zona con nivel freático muy alto, zona pantanosa. El suelo arenoso está cubierto por capa delgada de limo orgánico. La elevación es menor de 5 m.s.n.m. El asentamiento será inevitable durante los sismos.

### 3.0    MICROZONIFICACION SISMICA DE HUARAZ

En este estudio se revisó la información existente, se ejecutaron ensayos de microtrepidaciones y se evaluaron los daños producidos por el sismo del 31 de Mayo de 1970.

La ciudad de Huaraz se ubica en el Callejón de Huaylas, entre las Cordilleras Blanca y Negra. La Cordillera Blanca consiste de un núcleo de granodiorita con rocas sedimentarias en sus flancos. La Cordillera Negra consiste en su mayor parte de flujos y rocas volcánicas. El valle del río Santa está parcialmente lleno de sedimentos de origen glaciario, aluvial y fluvio-glaciario, que provienen de la erosión de morrenas y extensos mantos fluvio-glaciares. Transversal al río Santa existe el río Quilcay, que causó el aluvión del año 1941. La ciudad de Huaraz está asentada sobre terrenos compuestos por terrazas fluviales, sedimentos fluvio-gravitacionales, depósitos de arcillas y arenas saturados y depósitos aluviales. Estos materiales han sido formados por acción torrencial, residuos de avalancha y residuos coluviales provenientes de áreas más elevadas.

La napa freática de Huaraz se alimenta por filtraciones de las quebradas circundantes. La napa es libre y convergente con un ancho de 800 metros que atravieza la ciudad de Este a Oeste. En el Centro Urbano el nivel

freático es superficial (1.5 mts), en la parte norte las profundidades son mayores de 3.0 metros.

Las características del subsuelo de Huaraz son las siguientes: En la zona norte, en el sector de la Av. Confraternidad Oeste predomina suelo aluvional, compuesto de trozos de rocas de gran tamaño. No existe presencia de humedad. En la Av. Centenario predomina una capa superficial de terreno de cultivo, suprayaciendo estratos limo-arenosos en estado seco y duro. En la parte Este de la Av. Centenario existen capas poco profundas de arcillas limosas en estado duro y compacto. En las zonas alejadas a laderas existen suelos duros y muy compactos, compuestos de bolones en matrices limo-arenosas.

En la zona central, entre la Av. Raimondi y el río Quilcay se presenta un suelo aluvional. Entre las Avs. Confraternidad Oeste, Raimondi, Gamarra y Villón existen suelos finos y humedad superficial. En el Barrio Belén y Huarupampa existen arcillas orgánicas de alta plasticidad.

En la zona este, entre la Alameda Grau y la Prol. Av. Raimondi existe una capa de arena limosa que suprayace estratos de arena limosa, limo arcilloso y arcilla arenosa. Existe humedad superficial. En el barrio de Soledad, Pedregal y Av. Confraternidad Sur existen suelos gravosos.

Se evaluaron los daños del sismo. En ese momento existía una concentración de edificaciones de adobe en el centro urbano y el barrio Centenario, rodeados de tierras de cultivo. Los barrios de Nicrupampa, Patay y Pedregal presentaban una gran dispersión de edificaciones. En el centro urbano, con las peores condiciones del subsuelo, el porcentaje de daños en edificaciones de adobe

fue mayor del 80%. En Huarupampa, San Francisco, La Soledad y al Sur del Pedregal, el porcentaje de daños fue de 50 a 80%. En la zona norte y Nicrupampa, con mejores condiciones del subsuelo, el porcentaje de daños no fue superior al 20%.

Se realizó la microzonificación sísmica de la ciudad de Huaraz en cuatro zonas.

- |          |   |
|----------|---|
| Zona I   | Suelo granular gravoso con matriz limo-arenosa, medianamente compacto. Topografía plana y nivel freático por debajo de 6 mts. Capacidad portante mayor de 2 Kg/cm <sup>2</sup> .  |
| Zona II  | Suelo limo-arenoso suprayaciendo arcilla dura. Topografía plana con nivel freático por debajo de 1.5 mts. Puede ocurrir amplificación. Capacidad portante inferior a 2 Kg/cm <sup>2</sup> .   |
| Zona III | Gravas y arenas poco cementadas. Nivel freático por debajo de 3.0 mts. Topografía con pendiente de 15%. Se esperan amplificaciones. Capacidad portante de 2 Kg/cm <sup>2</sup> .  |
| Zona IV  | Condiciones de suelo más desfavorables. Suelos limosos arcillosos y arenosos. Nivel freático superficial, en algunos lugares menores de 1.50 mts. Se esperan asentamiento del terreno y amplificación sísmica. Capacidad portante inferior a 1 Kg/cm <sup>2</sup> . |

La Nueva Ciudad Majes se ubica dentro del Proyecto de Irrigación Majes, en la Pampa de Majes, a 105 Kms al noroeste de la ciudad de Arequipa. El área total en estudio es de 1000 Hectáreas. La Autoridad Autónoma de Majes en Arequipa, redefinió el lugar donde se iniciará el proceso de urbanización de Ciudad Majes. El criterio básico fue emplear terrenos eriazos no destinados al uso agrícola. Al existir problemas potenciales de colapso de suelos por el agua cerca al lugar en estudio, se realizó la zonificación de suelos con propósitos de cimentación de obras urbanas.

Los estudios de zonificación comprendieron aspectos de: geología y geomorfología, exploración del subsuelo, extracción de muestras, ensayos de campo y de laboratorio para determinar las propiedades físicas y químicas del suelo y su comportamiento en estado seco y saturado. Todavía están pendientes los estudios de prospección geofísica, ensayos de microtrepidaciones y ensayos especiales de laboratorio.

El área se desarrolla en la Llanura Aluvional Alto Si huas del Pleistoceno. Esta llanura está constituida por un conglomerado aluvional de gravas arenosas que contienen sales, sulfatos y yesos en proporciones variables, y que tiene lentes de arena eólica y cenizas volcánicas que evidencian un régimen pluvial turbulento seguido de períodos de sequía. El clima desértico ha generado el fenómeno de capilaridad, con la formación de un casco salino en la superficie.

La Llanura Aluvional se ha modificado por la erosión hídrica de la quebrada Hospicio, insertando un pequeño valle con terrazas. Las terrazas aluviales se dividen en Inferior, Mrdia y Superior. La terraza Inferior está constituida por arenas y cenizas volcánicas livianas y porosas. La terraza mrdia está



constituída por conglomerados con sales y sulfatos. La terraza aluvial superior está constituída por grava arenosa con pequeños porcentajes de sales, sulfatos y yeso.

Existen también dunas de arenas eólicas y coberturas salinas. La cobertura salina es consecuencia de la condición desértica del suelo; la ausencia de lluvias y el calor no han favorecido el lavado por lixiviación de las sales, por el contrario, han favorecido la ocurrencia del fenómeno de capilaridad, aumentando el contenido de sales.

Se realizó un programa de exploración consistente en 53 calicatas hasta una profundidad de 5 metros. Se extrajeron muestras para realizar ensayos de laboratorio con muestras alteradas e inalteradas. Se ejecutaron 5 ensayos de carga en suelo seco y saturado. En el laboratorio se realizaron 110 ensayos de clasificación, 50 análisis químicos del suelo, 4 ensayos de corte directo y 3 ensayos de colapso.

La zonificación realizada del área en estudio se basó en los trabajos indicados anteriormente: La zona A es la mejor, estando constituída por gravas arenosas con porcentajes pequeños de sales y yesos. Las zonas AG y A'G tienen en la superficie limos, arenas y cenizas volcánicas con altos porcentajes de sales, sulfatos y yesos. Por debajo existe grava similar a la zona A. Se recomienda eliminar el casco salino y utilizar cemento especial, controlando las filtraciones de agua. En la zona E existen arenas eólicas por encima de la grava tipo AG. Se recomienda descartar para edificaciones las zonas BS, B'S, CL, C'L y DP por su comportamiento de colapso con el agua. Estas zonas tienen un espesor de capa superficial de 2 a 4 metros constituído por materiales porosos con altos porcentajes de sales solubles y yesos. Tampoco se recomienda construir en el cauce fluvial de la quebrada.

## 5.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1) Se concluye que existe una relación directa entre los daños ocasionados en las edificaciones de una ciudad por acción sísmica y las características del subsuelo.
- 2) La microzonificación sísmica de una ciudad consiste en dividirla en áreas de comportamiento sísmico similar, con el objeto de establecer parámetros de diseño.
- 3) La microzonificación sísmica permite realizar un planeamiento urbano más racional, recomendando la construcción de las edificaciones más importantes de una ciudad en las mejores áreas, y destinando las peores a parques y jardines.
- 4) En países en vías de desarrollo con escasos recursos, se recomienda emplear métodos simplificados de microzonificación sísmica, que consisten en el uso de la geología, exploración de campo y ensayos de microtrpidaciones.
- 5) Se recomienda que las autoridades municipales u organismos regionales compilen los estudios geotécnicos que se realizan en una ciudad con propósitos de diseño de edificaciones, para establecer un banco de datos de dichos estudios, que pueden ser utilizados en los estudios de microzonificación sísmica.

## REFERENCIAS

- 1) Alva Hurtado J.E., Chávez O. y Taniwangsa de Chávez W. (1986), "Estudio de Microtrepidaciones en Chimbote y Huaraz", TECNIA, Vol 3, N°1, pp 61-74.
- 2) Alva Hurtado J.E. (1989), "Zonificación de la Nueva Ciudad Majes", Tercer Simposio Nacional de Prevención de Desastres, CISMID, Universidad Nacional de Ingeniería.
- 3) Armas C. (1973), "Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Huaraz", Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima- Perú.
- 4) Barrón H. (1984), "Estudio de la Vulnerabilidad Sísmica de la Ciudad de Chimbote", Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú.
- 5) Chávez O. (1984); "Amplificación Sísmica en Algunas Ciudades del Perú", Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú.
- 6) Hermoza M. (1972), "Estudio sobre el Sismo del 31 de Mayo de 1970, Ciudad de Chimbote", Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú.
- 7) Kuroiwa J., Deza E. y Jaén H. (1973), "Investigation of the Peruvian Earthquake of May 31, 1970", Proc. 5th World Conference on Earthquake Engineering, Rome.
- 8) Morimoto R., Koizumi Y, Matsuda T., Hakuno M. y Yamaguchi I. (1971), "Seismic Microzoning of Chimbote Area, Overseas Technical Cooperation Agency, Government of Japan.
- 9) Ordoñez E (1984), "Estudio de la Vulnerabilidad Sísmica de Huaraz", Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú.