

MICROZONIFICACION SISMICA DE LA CIUDAD DE AREQUIPA

Zenón Aguilar Bardales ⁽¹⁾

Jorge E. Alva Hurtado ⁽²⁾

RESUMEN

Se presenta una breve descripción de la geomorfología y geología de la ciudad de Arequipa, así como de algunas características geotécnicas de los suelos de cimentación y se presenta la metodología utilizada y los resultados obtenidos de los ensayos de medición de microtrepidaciones en más de 200 puntos en la ciudad.

Debido al origen volcánico de los suelos, en la ciudad de Arequipa se presenta una geología muy errática, encontrándose unidades de rocas ígneas intrusivas y extrusivas, tufos volcánicos, material piroclástico y materiales aluviales, los cuales poseen diversas características geotécnicas. Estas diferencias se reflejan en los valores de los períodos predominantes de vibración natural del suelo, obtenidos en los ensayos de medición de microtrepidaciones en esta ciudad, que varían de 0.10 a 0.45 seg.

En base a esta información se propone el mapa de curvas isoperíodos para la ciudad de Arequipa, que conjuntamente con la información geológica y geotécnica y la zonificación de daños del sismo de Arequipa del 16 de Febrero de 1979, han permitido proponer una zonificación sísmica preliminar de la ciudad de Arequipa.

INTRODUCCIÓN

La microzonificación sísmica de una ciudad es un procedimiento multidisciplinario, que involucra la realización de estudios geológicos, topográficos, sismológicos, geotécnicos, hidrológicos, de evaluación de daños sísmicos, de microtrepidaciones y de amplificación sísmica. Estos estudios permiten delimitar zonas con diferente comportamiento sísmico dentro de una ciudad, considerando las condiciones locales de los suelos de cimentación.

En este artículo se propone la microzonificación sísmica preliminar de la ciudad de Arequipa, la cual ha sido delimitada en base a la siguiente información:

⁽¹⁾ Investigador Asociado, Laboratorio Geotécnico del CISMID, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

⁽²⁾ Profesor Principal y Director del CISMID, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

- Estudios de geomorfología y geología.
- Estudio de las características geotécnicas de los suelos de cimentación.
- Evaluación del comportamiento dinámico del suelo, mediante la medición de microtrepidaciones.
- Evaluación y zonificación de daños producidos por el sismo de Arequipa del 16-02-79.

Parte de esta información ha sido recopilada de investigaciones realizadas en el pasado en el área de estudio y la otra parte constituye los resultados obtenidos de los trabajos de campo realizados en el desarrollo de esta investigación.

Uno de los principales aportes de esta investigación a la microzonificación sísmica de Arequipa lo constituye el estudio de medición de microtrepidaciones, mediante el cual se ha elaborado el mapa de curvas isoperíodos de esta ciudad.

Ubicación y Extensión del Area de Estudio

La ciudad de Arequipa está ubicada en la provincia y departamento del mismo nombre, al occidente de la región sur del Perú. Con la nueva división política del país, esta ciudad es la Sede de la Región Arequipa.

El área de estudio comprende el casco urbano de la ciudad, los distritos, urbanizaciones y pueblos jóvenes de la zona metropolitana, las que determinan un área de aproximadamente 182 Km².

Esta ciudad se encuentra asentada en el valle del río Chili, a una altitud promedio de 2300 m.s.n.m.

En la actualidad, Arequipa se constituye como la segunda ciudad del Perú en importancia, ya que con su población de más de 1'000,000 de habitantes, su industria y su comercio, es el centro vital de la economía del sur del país y polo de desarrollo de esa región.

Historia Sísmica

Según los antecedentes históricos, en Arequipa existe una intensa actividad sísmica, teniéndose noticias de sismos ocurridos desde la época incaica a través de informaciones recogidas por cronistas e historiadores. Así tenemos que:

- Entre los años 1471 a 1490, en la época del inca Túpac Yupanqui, ocurrió un terremoto que destruyó el primitivo asiento de la ciudad de Arequipa. Hubo erupción del volcán Misti (Silgado, 1978).
- En Enero de 1600 se produce la erupción del volcán Huaynaputina, dejando en tinieblas por varios días a la ciudad de Arequipa. La erupción provocó un terremoto que destruyó esta ciudad (Silgado, 1978).
- El 13 de Agosto de 1868 se produjo un terremoto que alcanzó una intensidad de XI en la escala de Mercalli Modificada, seguido de un gran Tsunami que arrasó gran

parte del litoral peruano. Toribio Polo se refiere a este terremoto como uno de los mayores ocurridos en el Perú desde su conquista (Silgado, 1978).

- Dentro de los eventos sísmicos más recientes tenemos: el terremoto del 15 de Enero de 1958, que alcanzó una intensidad de VII MMI; el terremoto del 13 de Enero de 1960, que tuvo una intensidad de VIII MMI, y el terremoto del 16 de Febrero de 1979, que en la ciudad de Arequipa alcanzó una intensidad de VI MMI.

Todos estos eventos sísmicos han ocasionado grandes pérdidas materiales y un considerable número de víctimas.

La información instrumental, de creciente precisión a partir de 1962, ha permitido conocer la distribución espacial de la actividad sísmica en la zona de Arequipa y la identificación de dos zonas de actividad sísmica superficial, la primera paralela a la costa y la segunda al oeste de la cadena volcánica, a unos 70 Km de la línea de costa (Kosaka, 1976; Lazo, 1989).

GEOMORFOLOGIA Y GEOLOGIA

Geomorfología

En el área en estudio se presentan tres unidades geomorfológicas:

- a) Cordillera de Laderas: Ocupa la parte sur de la ciudad, se caracteriza por presentar un relieve de cerros de superficie rocosa, con drenaje dendrítico y esporádicamente paralelo.
- b) Cadena del Barroso: Formada por las estribaciones de los tres volcanes: Chachani, Misti y Pichu Pichu. Tiene una superficie inclinada, cortada por numerosas quebradas de paredes empinadas.
- c) Penillanura de Arequipa: Es una superficie ligeramente plana, inclinada hacia el oeste con una pendiente de aproximadamente 4%. Está conformada por materiales tufáceos hacia el oeste y materiales detríticos hacia el este. Cuenta con cinco subunidades: Valle del Chili, Superficie del Cercado, Superficie de Socabaya, Superficie de Pachacútec y Superficie del Aeropuerto.

En la Fig. 1 se presenta el mapa geomorfológico realizado por Yanqui (1990).

Geología

En la ciudad de Arequipa se encuentra unidades ígneas, sedimentarias y metamórficas, cuyas edades se ubican en forma discontinua desde el prepaleozoico hasta el cuaternario reciente. Entre éstas tenemos:

- Gabrodiorita de La Caldera: Son rocas ígneas intrusivas que afloran en la parte sur de la ciudad.

Granodiorita de Tiabaya: Estas rocas afloran en forma de elipses groseras en los cerros vecinos al distrito de Tiabaya.

- Volcánico Sencca Compacto: Constituido por un tufo blanco compacto, coherente y algo poroso. Es conocido con el nombre de sillar.
- Volcánico Sencca Salmón: Son tufos de color rosáceo, estratificados en bancos subhorizontales.
- Volcánico Chila: Conformado por derrames andesíticos y basálticos de color marrón oscuro, altamente fracturados.
- Flujos de Barro: Compuestos por bloques andesíticos de diversos tamaños, cuyos intersticios están rellenos por una matriz arenotufácea.
- Depósitos Piroclásticos: Son tobas volcánicas de color blanco amarillentas, deleznales, ásperas y de aspecto azucarado, muy livianas.
- Materiales Aluviales: Conformados por el Aluvial de Acequia Alta, Aluvial de Umacollo y Aluvial de Miraflores, constituidos por gravas y arenas de distinta formación; además del Aluvial reciente, constituido por materiales que rellenan los cauces de los ríos y quebradas.
- Eluviales Recientes: Están conformados por arenas limosas de color beige, de origen residual, que constituyen los terrenos de cultivos.

En la Fig. 2 se presenta el mapa geológico de la ciudad de Arequipa realizado por Yanqui (1990).

CARACTERÍSTICAS GEOTECNICAS

En base a la información geotécnica recopilada y a los ensayos realizados, se han obtenido las características físico-mecánicas de los suelos de cimentación, las que se presentan en la Tabla N° 1. Para calcular la capacidad portante del suelo se ha tomado en consideración la cimentación de una vivienda de interés social típica, de tipo zapata corrida, con un ancho de 0.40 a 0.50 m. y emplazada entre 0.80 y 1.50 m. de profundidad.

Debido a lo errático de la geología, en la ciudad de Arequipa existen diversos tipos de suelos de cimentación, tales como: rocas ígneas, con capacidades portantes mayores que 10 Kg/cm²; sillares, con capacidades portantes mayores que 5 Kg/cm²; depósitos aluviales, con capacidades portantes de 3.5 a 1.0 Kg/cm²; depósitos de materiales piroclásticos y suelos eluviales, con capacidades portantes de 0.5 Kg/cm². Estos suelos, debido a su origen volcánico, generalmente contienen fragmentos de piedra pómez, lapilli y cenizas volcánicas, por lo que presentan pesos unitarios bastante bajos; además, debido a la forma en que han sido depositados, en algunos lugares se encuentran en estado suelto.

En la Fig. 3 se muestra el mapa de zonificación geotécnica de Arequipa, realizado en base al plano geotécnico presentado por Yanqui (1990).

Se recomienda que estos datos sean tomados solamente como referenciales para el caso de viviendas de interés social, debiendo realizarse necesariamente estudios de mecánica de suelos para estructuras de cierta envergadura.

CARACTERÍSTICAS DINAMICAS

Para evaluar las características dinámicas del suelo, en este estudio se ha utilizado la técnica de medición de microtrepidaciones, que permite evaluar el período de vibración natural del terreno. Estas mediciones pueden ser verificadas con análisis de amplificación sísmica a deformaciones pequeñas de la roca basal a la superficie.

El estudio de las microtrepidaciones como un método de microzonificación sísmica se ha llevado a cabo en varios países. En el Japón, Kanai et al (1954) utilizaron este método hace más de 30 años para clasificar al suelo en cuatro categorías, habiéndose utilizado después dichos resultados en el reglamento sismorresistente del Japón. Taniwangsa (1981) utilizó esta metodología en Indonesia para realizar la microzonificación sísmica de la capital Jakarta. En Chile se ha utilizado el método en la microzonificación sísmica de varias ciudades (Lástrigo y Monge, 1972; Thomas, Monge y Saragoni, 1980).

En el Perú se han realizado ensayos de medición de microtrepidaciones en Chimbote (Morimoto et al, 1971; Hermoza, 1972; Alva Hurtado et al, 1986), en Huaraz (Kuroiwa et al, 1973; Alva Hurtado et al, 1986), en La Molina, Lima (Martinez, 1989), Nueva Ciudad Majes (Meneses, 1990), Cusco y Tacna (Tokeshi, 1990), La Punta y Callao (Huamán, 1990) y últimamente en las ciudades de Rioja, Moyobamba y Soritor.

Técnica de Medición de Microtrepidaciones

El material que constituye la tierra se encuentra vibrando constantemente en todas direcciones. Un instrumento suficientemente sensible puede detectar estos continuos movimientos de microtrepidaciones. Se define como microtrepidación a la vibración natural del terreno con un período que varía de 0.05 a 2.0 seg. y con una amplitud de 0.1 a 1 micrón. Las microtrepidaciones se originan por causas naturales y artificiales; las causas naturales son condiciones volcánicas, ondas oceánicas y condiciones atmosféricas, mientras que las artificiales son el tráfico, las maquinarias industriales, etc.

Comúnmente el equipo utilizado en la medición de microtrepidaciones consta de lo siguiente:

- a) Sensores.- Se utilizan 3 sensores: 2 horizontales y 1 vertical, dispuestos ortogonalmente entre sí.

- b) Amplificador.- Dado que las amplitudes de las microtrepidaciones son muy pequeñas, es necesario utilizar un amplificador que normalmente incluye circuitos de integración y diferenciación.
- c) Registro de información.- Las vibraciones medidas se graban en una cinta magnética, para luego ser procesadas directamente en la computadora analógica.
- d) Monitor de registros.- Se utiliza un oscilógrafo para verificar la forma de la onda de microtrepidaciones durante la medición y evitar la grabación de perturbaciones e interferencias.
- e) Analizador analógico-digital FFT.- Es una computadora analógica para efectuar el análisis de Fourier de la onda grabada, graficar el registro medido, calcular y graficar el espectro de Fourier, proporcionando también la frecuencia predominante de la onda.

En las mediciones se registran los desplazamientos en dos direcciones horizontales perpendiculares y una vertical. La onda medida en el campo es visualizada en el gabinete, con el objeto de definir la parte representativa de la misma a ser procesada en el analizador analógico digital de ondas (FFT Analyzing Scope TEAC-3000), que calcula el espectro de Fourier y la frecuencia predominante.

El período predominante en un punto es calculado promediando los valores de períodos predominantes de las dos componentes horizontales registradas en dicho punto. El período predominante de la componente vertical solamente es considerado como referencial.

Medición de Microtrepidaciones en el Ciudad de Arequipa

En la ciudad de Arequipa se realizaron 227 puntos de medición de microtrepidaciones, distribuidos más o menos uniformemente en toda la ciudad. Los trabajos de campo se llevaron a cabo en dos campañas de 12 días cada una.

El mapa de curvas isoperíodos de la ciudad de Arequipa, que se muestra en la Fig. 4, presenta períodos predominantes entre 0.15 y 0.45 seg., existiendo una gran área con valores de períodos predominantes entre 0.25 y 0.40 seg.

En algunos lugares, estos valores han podido ser comprobados con análisis de amplificación sísmica, los cuales se han realizado en base a los ensayos SPT de estudios recopilados y a la información geológica de la zona. Los resultados de estos análisis dan valores muy similares a los obtenidos por el método de medición de microtrepidaciones, como en el caso de la Plaza de Armas, donde el período fundamental del suelo obtenido por amplificación sísmica, es de 0.37 seg. y el período predominante obtenido por medición de microtrepidaciones es de 0.38 seg.

Los valores de períodos predominantes han sido agrupados en rangos para definir la zonificación sísmica, considerando básicamente las condiciones geotécnicas de los suelos que delimitan las curvas isoperíodos, lográndose así proponer las siguientes zonas:

- ZONA A:** Conformada por las rocas ígneas intrusivas de la Cordillera de Laderas que ocupan la parte sur oeste de la ciudad y por las rocas ígneas del Volcánico Chila que afloran en la parte norte, en la margen izquierda del río Chili. Los valores de períodos predominantes obtenidos en esta zona varían entre 0.15 y 0.25 seg. los suelos de cimentación presentan excelentes características geotécnicas, pudiéndoles asignar una capacidad portante superior a 10 Kg/cm².
- ZONA B:** Conformada por los afloramientos de sillar, parte de los suelos puzolánicos de Pachacútec y parte de los flujos de barro que constituyen las laderas de la Cadena del Barroso. Los valores de períodos predominantes obtenidos en esta zona varían de 0.20 a 0.30 seg., llegando hasta 0.35 seg. en los flujos de barro. Se incluye en esta zona el área del Cercado comprendida entre las Urbanizaciones Cerro Juli, Parque Industrial, Ferroviarios, IV Centenario y Municipal, que presentan valores de períodos predominantes de 0.15 a 0.25 seg. Las características geotécnicas de esta zona son buenas, presentando valores de capacidad portante entre 2.0 y 3.5 Kg/cm².
- ZONA C:** Conformada por la mayor parte del casco urbano, entre las que se encuentran los distritos de Cayma, Yanahuara, el Cercado, parte de Cerro Colorado y las partes bajas de los distritos de Miraflores, Mariano Melgar y Paucarpata. Los suelos de esta zona presentan características geotécnicas bastante erráticas, encontrándose valores de capacidad portante entre 1.0 y 2.5 Kg/cm². El nivel freático se encuentra a mas de 5 m. de profundidad, excepto en la zona del balneario Tingo, en la que el nivel freático se encuentra muy cerca de a la superficie. Los valores de períodos predominantes obtenidos en esta zona se encuentran en el rango de 0.30 a 0.45 seg.
- ZONA D:** Conformada por el material piroclástico que cubre las urbanizaciones Alto Cayma y Francisco Bolognesi, y por los suelos eluviales de Bellapampa, donde el nivel freático se encuentra cercano a la superficie. Esta zona presenta condiciones geotécnicas desfavorables, encontrándose valores de capacidad portante de 0.50 Kg/cm². Los valores de períodos predominantes obtenidos en esta zona también se encuentran en el rango de 0.30 a 0.45 seg.

En la Fig. 5 se presenta el mapa de Microzonificación Sísmica Preliminar de la Ciudad de Arequipa.

ZONIFICACION DE DAÑOS DEL SISMO DEL 16-02-79

El sismo de Arequipa del 16-02-79 ha sido estudiado con mayor detalle (Kuroiwa, 1979; Ocola, 1979; Barriola y San Bartolomé, 1980), lográndose obtener una valiosa información sobre los efectos del sismo en esta ciudad. La zonificación de daños ocasionados por el sismo del 16-02-79 en viviendas tipo "B", realizado por Orihuela (1981), tiene una buena correlación con la zonificación sísmica propuesta, así tenemos:

- En la zona A se encuentran viviendas con edades desde muy antiguas a recientes, que presentan daños leves o ningún daño.
- En gran parte de la zona B se encuentran viviendas antiguas y recientes que presentan daños leves o ningún daño, y en áreas pequeñas existen viviendas con daños moderados.
- En la zona C existen áreas con daños severos y con colapso parcial, ubicadas principalmente en el centro de la ciudad, donde las viviendas son muy antiguas. En esta zona también se presentan áreas con daños leves o daños moderados, ubicadas en los alrededores de la ciudad, donde las viviendas son medianamente antiguas y recientes.
- En la zona D no se puede determinar los efectos del sismo, pues en la fecha de su ocurrencia existían muy pocas edificaciones en estas áreas, las cuales son de edades recientes. Dado el actual crecimiento de la ciudad, si se tiene que construir en esta zona, se recomienda tomar las debidas precauciones en el diseño sísmico de las edificaciones.

CONCLUSIONES

- 1) Debido al origen volcánico de los suelos, la ciudad de Arequipa presenta una geología muy errática, encontrándose unidades constituidas por depósitos aluviales, flujos de barro, depósitos piroclásticos, etc., las que presentan características geotécnicas muy variadas.
- 2) La zonificación geotécnica ha sido delimitada en base a la información obtenida de los estudios de suelos realizados en el pasado y recopilados; pero debido a que éstos son escasos, se ha apoyado en el tipo de unidad geológica para cubrir toda el área urbana. En consecuencia, esta delimitación podrá ser afinada con la incorporación de nuevos estudios geotécnicos.
- 3) Mediante la técnica de medición de microtrepidaciones se obtuvo resultados concordantes con la geología de la zona, encontrándose períodos predominantes con valores bajos en los afloramientos rocosos y con valores relativamente altos en las zonas conformadas por suelos aluviales con distintos grados de compacidad. Estos valores han sido verificados en algunas zonas mediante el análisis de amplificación sísmica.

- 4) La microzonificación sísmica que se propone corresponde básicamente a la interpretación de los resultados obtenidos del estudio de medición de microtrepidaciones y de los estudios de geología y geotecnia. Los límites de las zonas han sido determinados en base a las curvas isoperíodos y al tipo de suelo que ellas encierran.
- 5) Como puede concluirse del análisis de los resultados obtenidos, la técnica de medición de microtrepidaciones permite determinar con bastante precisión el comportamiento dinámico de los suelos, por lo cual es muy conveniente utilizarla en este tipo de estudio. Esta técnica es bastante sencilla y además, por la rapidez con la que puede realizarse, permite cubrir grandes extensiones de terreno en poco tiempo, resultando muy económica en comparación con otros tipos de ensayos de exploración de campo.

REFERENCIAS

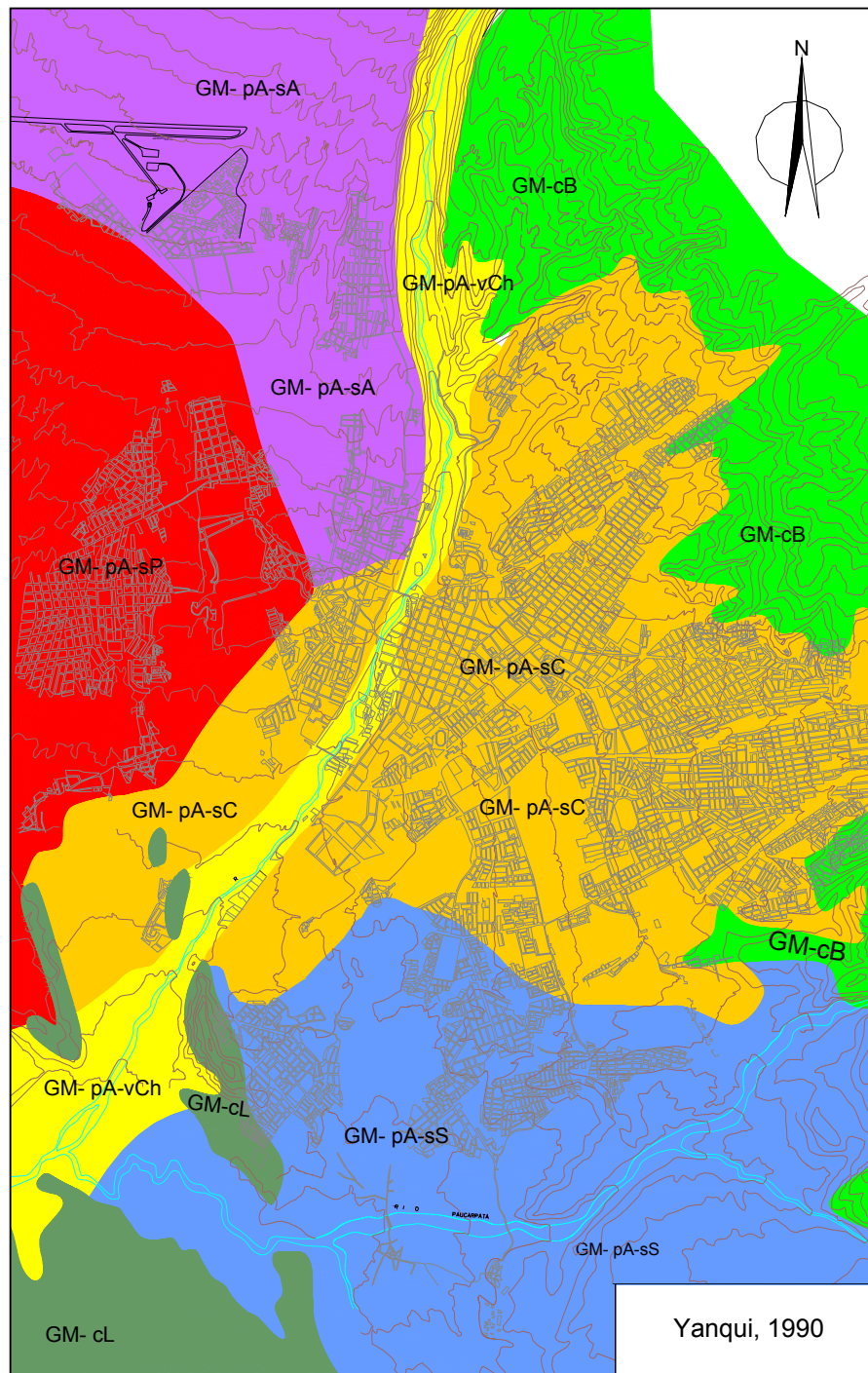
- 1) Barriola J. y San Bartolomé A. (1980) "El Sismo del 16 de Febrero de 1979 en Arequipa", III Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Cusco.
- 2) Chávez O. (1986), "Amplificación Sísmica en Algunas Ciudades del Perú", Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, UNI, Lima.
- 3) Daza H. (1960) "Contribución al Estudio de los Sismos en Arequipa", Tesis de Bachiller, Facultad de Geología, UNSA, Arequipa.
- 4) Huamán C. (1990), "Microzonificación Sísmica de La Punta y El Callao", Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, UNI, Lima.
- 5) Kanai K. y Tanaka T. (1961) "On Microtremors VIII", Bulletin of the Earthquake Research Institute, Vol. 39, pp. 97-114, Tokyo, Japan.
- 6) Kosaka A. (1976) "Estudio de Sismicidad de la Región Sur-Oeste del Perú", Tesis de Grado, Facultad de Geología, UNSA, Arequipa.
- 7) Kuroiwa J. (1979) "Aspectos Ingenieriles del Sismo de Majes, Arequipa, del 16 de Febrero de 1979", Boletín N° 1 de la Asociación Peruana de Ingeniería Sísmica, pp. 13-43, Lima.
- 8) Lazo M. (1989) "Características de la Sismicidad de la Región de Arequipa", Ponencia presentada en el Seminario de Microzonificación Sísmica – 1989 del CISMID, FIC, UNI, Lima.
- 9) Ocola L. (1979) "Problemática Sísmica en el Perú y el Sismo de Arequipa de Febrero de 1979", Boletín N° 1 de la Asociación Peruana de Ingeniería Sísmica, pp. 7-12, Lima.

- 10) Orihuela P. (1981) "Sismo Arequipa 16-02-79. Influencias de las Condiciones Locales", Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, UNI, Lima.
- 11) Silgado E. (1978) "Historia de los Sismos más Notables Ocurredos en el Perú (1513-1974)", Boletín N° 3, Serie C, Instituto de Geología y Minería, Lima.
- 12) Thomas O, Monge, J. y Saragoni R. (1980) "Microzonificación Sísmica de La Serena y Coquimbo", Publicación SES I 3/80(152), Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.
- 13) Tokeshi, J. (1990) "Microtrepidaciones en las Ciudades de Cusco y Tacna", Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, UNI, Lima.
- 14) Yanqui C. (1990) "Geología Preliminar de la Ciudad de Arequipa", Informe Técnico presentado al CISMID, FIC, UNI, Lima.
- 15) Yanqui, C. (1990) "Zonificación Geotécnica de Arequipa", VIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, pp. 623-637. Piura.


TABLA N° 1

CARACTERÍSTICAS GEOTECNICAS DE LAS ZONAS PROPUESTAS.

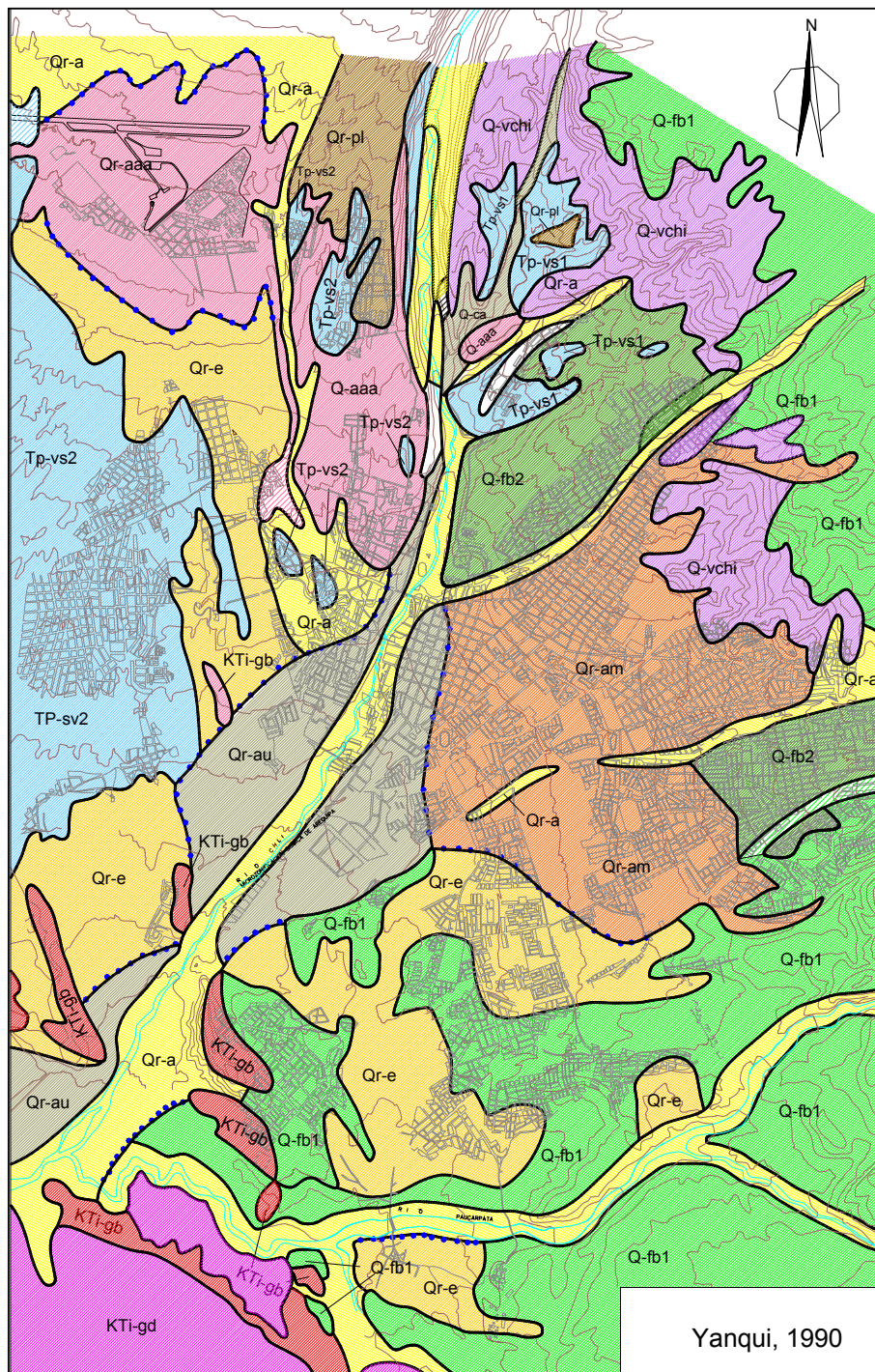
Zona	Df (m)	B (m)	γ (gr/cm³)	ϕ (°)	C (Kg/cm²)	DR (%)	qa (Kg/cm²)
G1 - rpt	0.00 – 0.50	0.40	2.2 – 2.4	30 - 39	70.0 - 90.0	> 100	30.0
G2 - rvch	0.40 – 0.50	0.40	1.7 – 2.2	32	0.0 - 30.0		15.0
G3 - si	0.40 – 0.50	0.40	1.3	30	---		5.0
G4 - saa	0.80 – 1.00	0.40	1.4 – 1.8	29 - 32	0.0 - 0.4	50 - 100	3.5
G5 - fb	0.80 – 1.00	0.40	1.3 – 2.0	30 - 36	0.0 - 2.0	70 - 100	3.0
G6 - spp	0.80 – 1.00	0.40	1.1 – 1.6	26 - 31	0.0 - 0.4	0 - 90	2.0
G7 - sau	1.00 – 1.50	0.40	1.5 – 2.0	30 - 35	0.0 - 0.5	40 - 90	1.5
G8 - sam	1.00 – 1.50	0.40	1.4 – 1.7	32 - 36	0.0	0 - 50	1.0
G9 - ste	1.00 – 1.50	0.40	0.6 – 1.2	30 - 35	0.0 - 0.1	0 - 100	0.5
G10 - ser	1.00 – 1.50	0.50	1.4 – 1.7	29 - 36	0.0	0 - 50	0.5



LEYENDA

	GM-cL	Cordillera de Laderas		GM-pA-sS	Superficie de Socabaya
	GM-cB	Cadena del Barroso		GM-pA-sP	Superficie de Pachacútec
		Penillanura de Arequipa		GM-pA-sA	Superficie del Aeropuerto
	GM-pA-vCh	Valle del Chili			
	GM-pA-sC	Superficie del Cercado			

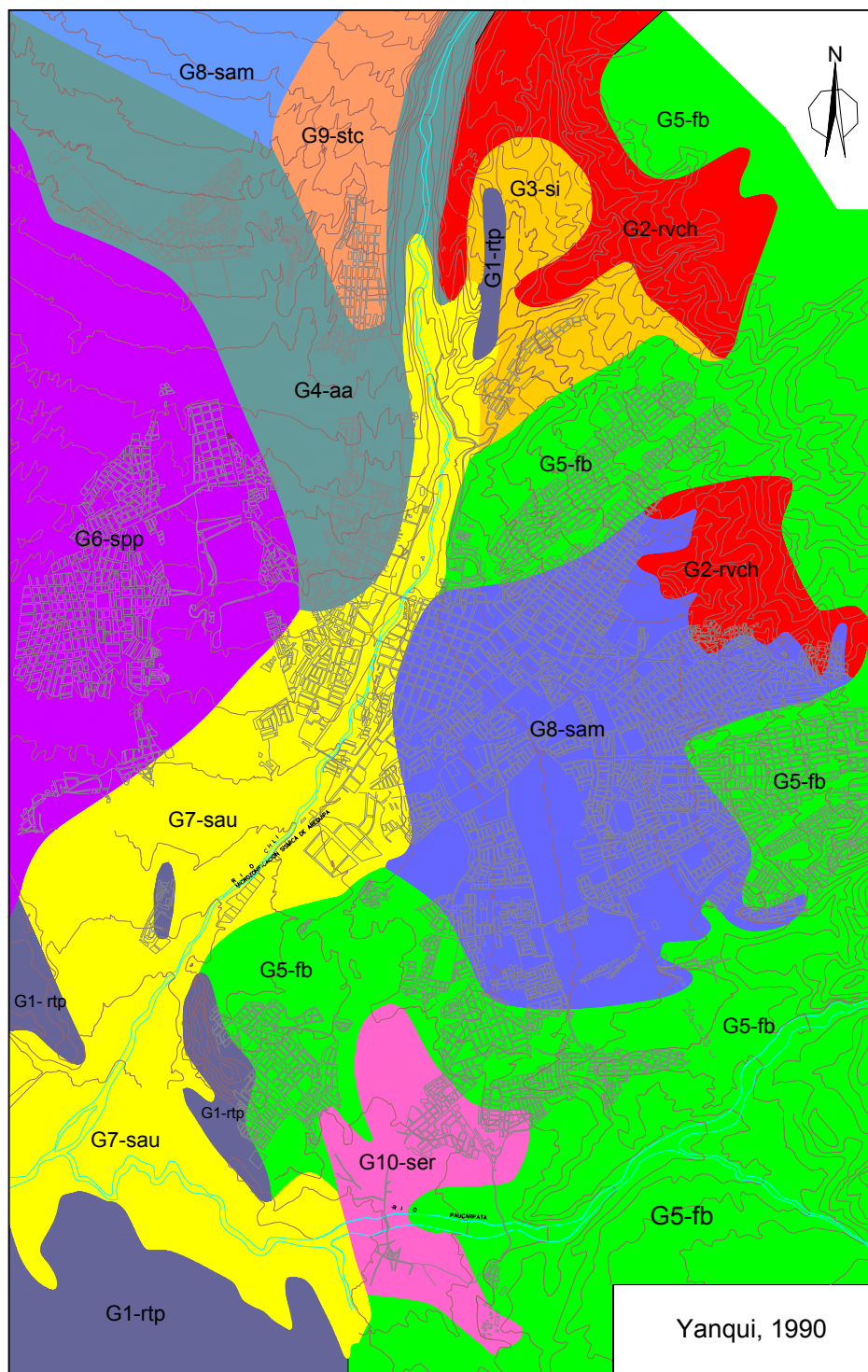
FIGU. 1 : MAPA GEOMORFOLÓGICO DE LA CIUDAD DE AREQUIPA



LEYENDA

Qr-e	Eluvial Reciente	Q-fb1	Flujo de Barro Brechoso	Tp-vs2	Volcánico Sencca 2
Qr-a	Aluvial Reciente	Q-fb2	Flujo de Barro Rosáceo	Tp-vs1	Volcánico Sencca 1
Qr-am	Aluvial Miraflores	Q-aaa	Aluvial Acequia Alta	KTi-gd	Granodiorita Tiabaya
Qr-au	Aluvial Umacollo	Q-vchi	Volcánico Chila	KTi-gb	Gabrodiorita
Qr-pi	Depósitos Piroclásticos	Q-ca	Formación Capillune		

FIG. 2: MAPA GEOLÓGICO DE LA CIUDAD DE AREQUIPA



LEYENDA











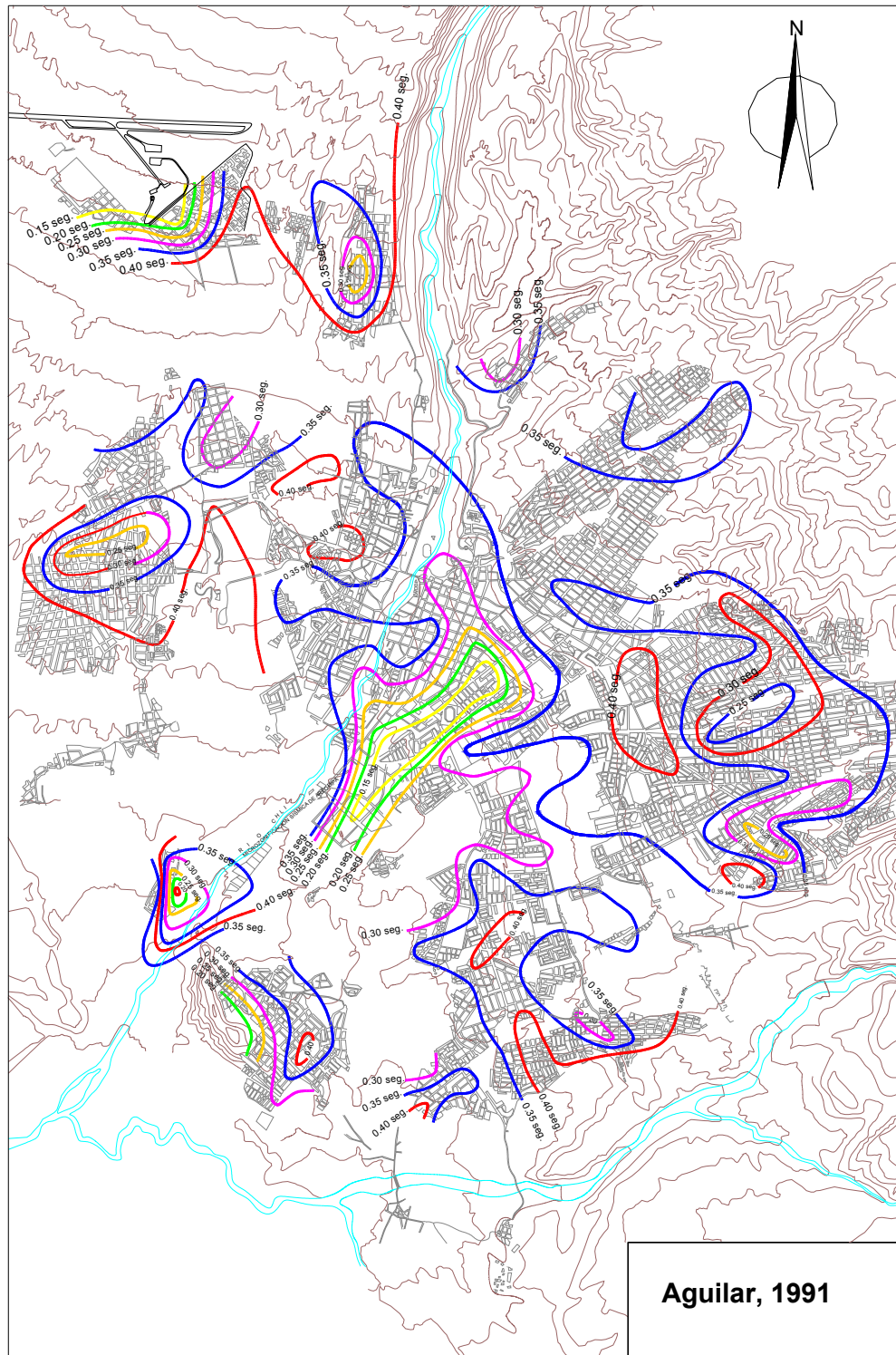
			$q_a(\text{Kg/m}^2)$				$q_a(\text{Kg/m}^2)$
	G1-rpt	Rocas Preterciarias	30.0		G6-spp	Suelo Puzolánico de Pachacútec	2.0
	G2-rvch	Rocas Volcánicas de Chila	15.0		G7-sau	Suelo Aluvial de Umacollo	1.5
	G3-si	Sillar	5.0		G8-sam	Suelo Aluvial de Miraflores	1.0
	G4-saa	Suelo de Acequia Alta	3.5		G9-stc	Suelo Tobáceo Compresible	0.5
	G5-fb	Flujos del Barro	3.0		G10-ser	Suelo Aluvial Reciente	0.5

FIG. 3 MAPA GEOTECNICO DE LA CIUDAD DE AREQUIPA



LEYENDA

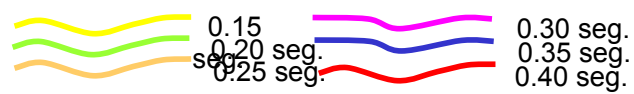
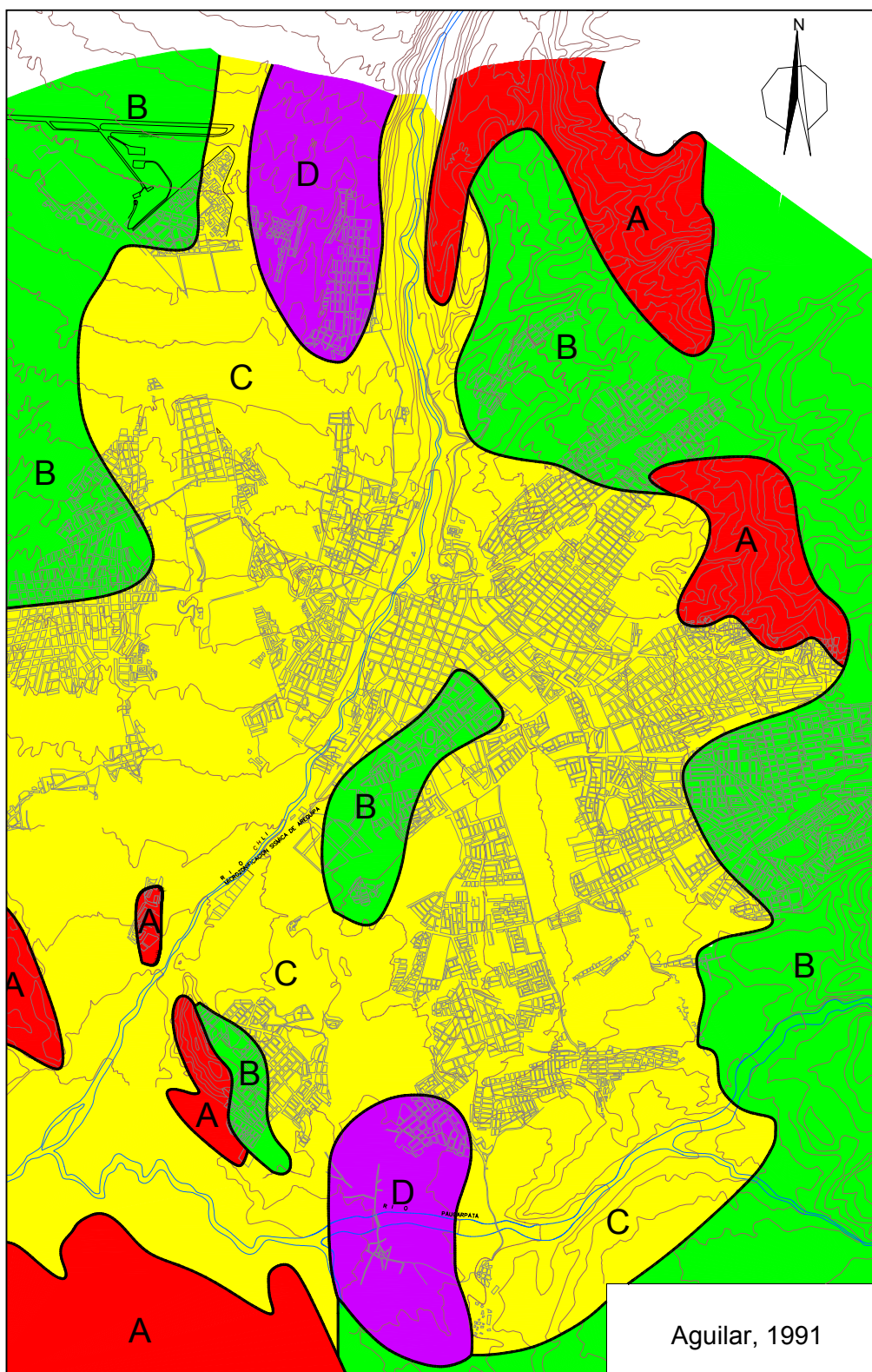


FIG. 4: MAPA DE CURVAS ISOPERIODO DE LA CIUDAD DE AREQUIPA



LEYENDA



ZONA A		ZONA C	
ZONA B		ZONA D	

FIG. 5: MAPA DE MICROZONIFICACION SÍSMICA DE LA CIUDAD DE AREQUIPA