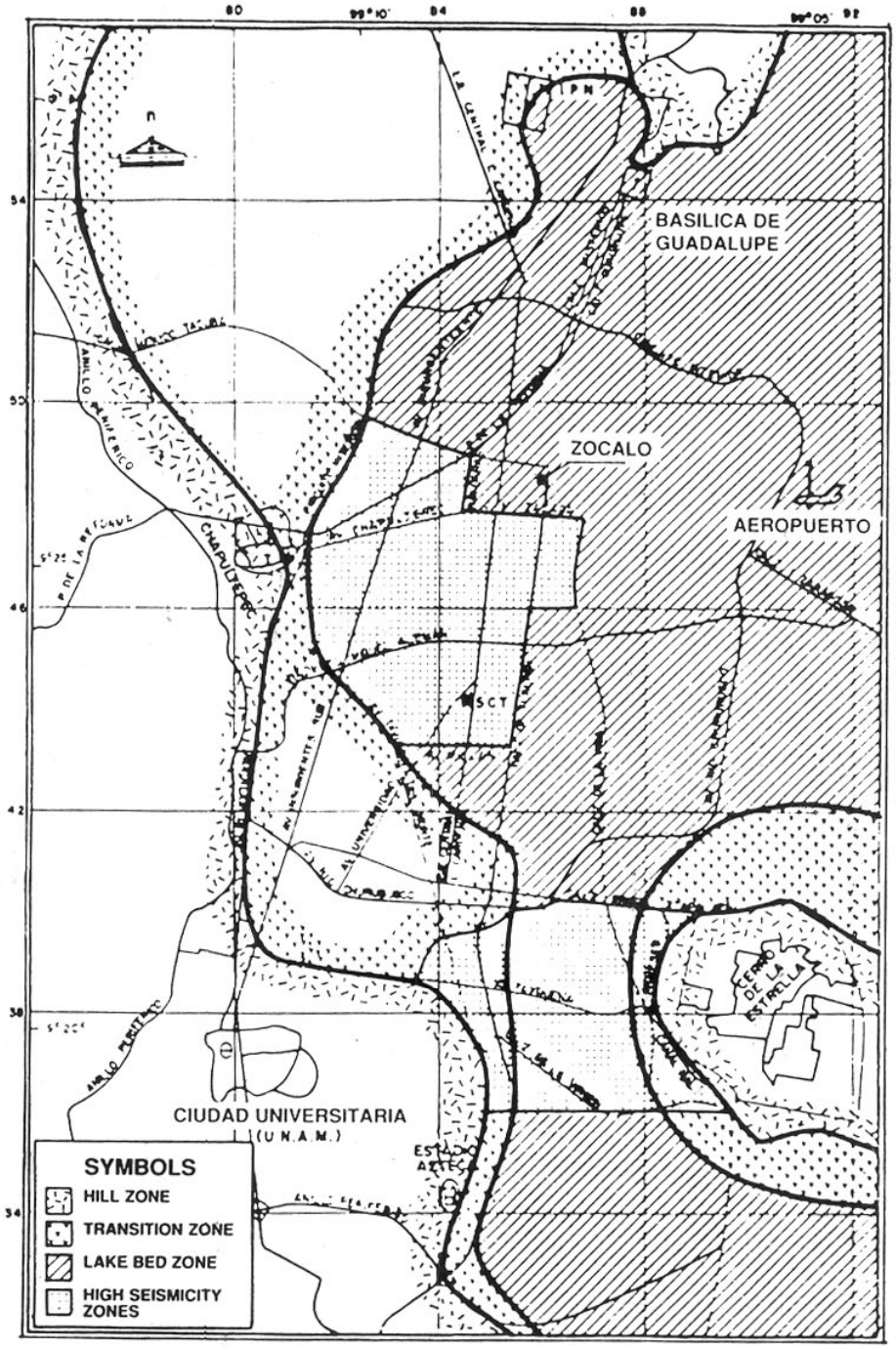

Fourth International Conference on Seismic Zonation

August 26th - 29th, 1991
Stanford University, Stanford, California USA

EERI

AVANCES EN LA MICROZONIFICACION SISMICA DE LIMA, PERU

Jorge E. Alva Hurtado [1]
Jorge Meneses Loja [2]
José Martínez Del Rosario [3]
Carlos E. Huamán Egoávil [3]

RESUMEN

Los terremotos ocurridos en el pasado reciente en la ciudad de Lima (1940, 1966 y 1974) han producido daños mayores en ciertas zonas de ésta, que son los distritos de La Molina, Barranco, Chorrillos y La Punta-Callao. Las características del subsuelo en estas áreas difieren de las existentes en el centro de Lima, que corresponden a un depósito grueso de grava aluvial con nivel freático profundo. En este artículo se describen los trabajos realizados en los distritos de La Molina y La Punta-Callao que consisten en recopilar información geotécnica y realizar ensayos de microtrepidaciones para determinar el período predominante de vibración ambiental. Se ha encontrado una buena correspondencia entre las características del subsuelo y los períodos predominantes determinados en los distritos estudiados. Se continúa el estudio en el resto de Lima.

INTRODUCCION

La ciudad de Lima se ubica en la costa occidental de Sudamérica, en una franja desértica entre el Océano Pacífico y los Andes. Lima está localizada en los conos de deyección de los ríos Rimac y Chillón, que descienden de los Andes al Océano Pacifico. La región es parte del Cinturón Circum-Pacífico, que es una de las zonas sísmicas más activas del mundo. Los sismos en esta área se originan principalmente por la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana. Esta zona ha generado sismos de alta magnitud con períodos de recurrencia relativamente cortos.

Lima fue fundada por los españoles en 1535, siendo una de las ciudades más antiguas de América. El crecimiento de Lima en la Colonia e Independencia fue relativamente lento; sin embargo, en los últimos 60 años su crecimiento ha sido muy grande, llegando en la actualidad a tener una población de cerca de 9 millones de habitantes. Este crecimiento poblacional ha significado la ocupación de áreas en los alrededores de Lima Metropolitana, existiendo actualmente edificaciones en lugares que no han estado expuestos a sismos en el pasado.

---

[1] Director, [2] Investigador Asociado, [3] Asistente de Investigación, Centro Peruano-Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Artículo presentado en la Cuarta Conferencia Internacional de Microzonificación Sísmica, Universidad de Stanford, California, USA, 26-29 de Agosto de 1991

Los daños sísmicos en las edificaciones de Lima han ocurrido generalmente en la zona oeste, cerca al puerto del Callao, al este en el distrito de La Molina y al sur en los distritos de Barranco y Chorrillos. Se ha iniciado el estudio de la Microzonificación Sísmica de Lima con la evaluación geotécnica y la realización de ensayos de microtrepediciones en La Molina y La Punta-Callao.

INTENSIDADES SISMICAS OBSERVADAS

Silgado (1978) ha recopilado la información histórica de los eventos sísmicos más importantes ocurridos en el Perú desde el siglo XVI hasta el presente. En base a dicha recopilación y a su reinterpretación, Alva-Hurtado et al (1984) han propuesto el mapa de distribución de máximas intensidades sísmicas observadas en el Perú, que se presenta en el Fig.1. Se Observa en el mapa que la ciudad de Lima tiene asignado un valor de X en la escala de intensidades Mercalli Modificada. La sismicidad del Perú es mayor a lo largo de la costa, aunque existe una zona de sismos superficiales en la selva alta, denominada zona subandina.

Los sismos recientes que afectaron Lima han evidenciado la existencia de zonas más susceptibles a los efectos sísmicos por las condiciones locales de suelos existentes. Valencia (1940) reportó intensidades de VII MM en El Callao, La Molina, Barranco y Chorrillos durante el sismo del 24 de Mayo de 1940. Silgado (1978) reportó daños acentuados en El Callao y La Molina durante el sismo del 17 de Octubre de 1966. La distribución de daños en la ciudad de Lima con ocasión del sismo del 3 de Octubre de 1974 es la información más completa sobre los efectos locales del suelo (Espinosa et al, 1977; Giesecke et al, 1980; Repetto et al, 1980).

Espinosa et al (1977) asignaron a La Molina una intensidad máxima de IX MM, más alta que el resto de Lima, debido probablemente a un efecto de foco que pudo causar una concentración de energía e interferencia de las ondas sísmicas por la geometría del valle. En este distrito se reportaron durante el sismo de 1974 daños espectaculares en la Universidad Nacional Agraria, donde colapsaron completamente edificios de concreto armado. En el Colegio Reina de los Angeles ocurrieron daños por asentamiento diferencial como resultado de la compactación de arenas sueltas (Moran et al, 1975; Sarrazin et al, 1974).

En La Punta y El Callao se registraron intensidades máximas de IX y VIII MM (Espinosa et al, 1977). Existió una falla de la torre elevadora de silos en el puerto, así como fallas en otras edificaciones de estos distritos. La Fig. 2 presenta el mapa oficial de la distribución de intensidades del sismo del 3 de Octubre de 1974 en la ciudad de Lima, preparado por el Instituto Geofísico del Perú (Giesecke et al, 1980).

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS Y GEOTECNICAS

La ciudad de Lima se ubica principalmente sobre un depósito de origen fluvio-aluvial de características heterogéneas, perteneciendo a los conos de deyección de los ríos Rimac y Chillón, de edad Cuaternaria. Existen colinas que rodean la ciudad, que son rocas intrusivas y del

Cretáceo. La mayor parte de la ciudad está en zona plana. La geología de Lima ha sido presentada por Martínez Vargas (1986). La Fig. 3 presenta un mapa simplificado de la geología de la ciudad.

El subsuelo predominante en el centro de Lima es el conglomerado (mezcla de bolones, grava y arena) que se encuentra en estados suelto a compacto y está intercalado con capas de arenas medias a finas, limos y arcillas. En las zonas marginales y de contacto al norte, sur y este, el conglomerado se encuentra mezclado con depósitos coluviales, aluvionales y eólicos, produciendo suelos erráticos de contacto. En El Callao y La Punta, La Molina y Barranco-Chorrillos existen suelos finos. Al norte y sur de Lima aparecen arenas eólicas y marinas en la costa. En la parte superior de los acantilados se han depositado rellenos. La Fig. 4 presenta el mapa de mecánica de suelos de Martínez Vargas (1986).

El distrito de La Molina se ubica al este de Lima. La zona corresponde a un valle aluvial de forma semi-elíptica rodeada de cerros, comunicándose con el valle del Rimac. Parece que en el pasado la zona formó un lago debido a la obstrucción de su salida. El perfil estratigráfico consiste de arcillas, limos y arenas sueltas en la superficie hasta una profundidad de 8 a 15 metros, encontrándose gravas y arenas densas por debajo. El nivel freático se encuentra más abajo de los 10 metros.

El perfil estratigráfico de El Callao está constituido por rellenos superficiales que cubren una capa de material fino constituido por arenas, limos y arcillas que pueden contener turbas. Por debajo del material fino existe el conglomerado hasta profundidades variables, con algunas arcillas marinas duras localizadas a gran profundidad en determinadas áreas. En La Punta existe en la superficie una secuencia de grava mal graduada con limos y arenas entremezcladas de manera poco uniforme, con espesores de 7 a 15 metros. Debajo de este estrato existe arena fina con lentes de limo y arcilla. A los 30 metros aparece el conglomerado de Lima. La profundidad del nivel freático en La Punta varía de 1.5 a 3.5 metros, mientras que en El Callao varía de 2.0 a 8.0 metros.

MEDICION DE MICROTREPIDACIONES

Se define como microtrepidación a la vibración natural del terreno con un período que generalmente varía entre 0.05 a 2 segundos y con una amplitud de 0.1 a 1 micrón. Las microtrepidaciones se originan por causas naturales y artificiales. Se emplea un instrumento suficientemente sensible para detectar estos movimientos. En las mediciones se registran los desplazamientos en dos direcciones horizontales perpendiculares y una vertical. El período predominante en un punto es calculado promediando los valores de los períodos predominantes de las dos componentes horizontales.

Martínez (1991) ha efectuado mediciones de microtrepidaciones en el distrito de La Molina y ha propuesto un mapa de distribución de curvas isoperíodos. (Fig. 5). De esta figura se puede apreciar que los períodos de microvibración medidos en La Molina varían de 0.15 a 0.40 segs, correspondiendo un valor de 0.3 segs en el campus de la Universidad Nacional Agraria. El período predominante calculado del espectro de respuesta disponible de la réplica de 9 de noviembre de 1974 coincide con el período medido en la Universidad Nacional Agraria. Esta coincidencia

explicaría los efectos catastróficos en las edificaciones debido a la ocurrencia de la resonancia y amplificación de las ondas sísmicas en el subsuelo. Asimismo, Martínez (1991) ha recolectado la información geotécnica disponible en La Molina, confirmando la presencia de suelos distintos del conglomerado típico existente en la mayor parte de la ciudad de Lima.

Huamán (1991) ha realizado ensayos de microtrepidaciones en La Punta y El Callao, que es otra área donde en el pasado se han manifestado efectos sísmicos locales de importancia en la ciudad de Lima. Se propone el mapa de isoperíodos para La Punta y El Callao de la Fig.6, obteniendo un rango de periodos de vibración del suelo para El Callao de 0.25 a 0.35 segs y para La Punta de 0.35 a 0.65 segs. Se observa que estos períodos medidos son mayores que el período predominante de 0.1 seg. existente en la mayor parte del centro de la ciudad de Lima, que corresponde a zona firme. También se recopiló información del subsuelo en estos distritos.

Los mapas de isoperíodos propuestos por Martínez (1991) y Huamán (1991) para La Molina y La Punta y El Callao respectivamente, muestran una buena correlación entre los períodos medidos y las condiciones geológicas y de suelos existentes.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1) La ciudad de Lima ha estado expuesta a sismos de alta magnitud con relativa frecuencia. La población ha aumentado considerablemente en los últimos años, ocupando las edificaciones en la actualidad terrenos marginales bajo el punto de vista de resistencia sísmica. La vulnerabilidad sísmica de Lima ha aumentado.

2) Se han presentado resultados de mediciones de ensayos de microtrepidación en los distritos de La Molina y La Punta y El Callao, que son zonas críticas por los efectos sísmicos del pasado. Se planea continuar los ensayos en otras zonas críticas. Las curvas isoperiodos presentadas indican una buena correlación con las características geológicas y geotécnicas del terreno.

3) Se recomienda el empleo de la técnica de microtrepidaciones en la microzonificación sísmica de ciudades como Lima por ser relativamente económica, rápida y con resultados confiables.

AGRADECIMIENTOS

Los estudios de investigación descritos en este artículo fueron posibles gracias al apoyo económico de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) y del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC). También los autores agradecen la cooperación de los Ingenieros A. Abe, S.Fukumoto y T. Nishimura de la Tokyo Soil Research Co, Ltd.

REFERENCIAS

1) Alva Hurtado J.E., Meneses Loja J. y Guzmán V. (1984), "Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú", V Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Tacna, Perú.

2) Espinosa A.F., Husid R., Algermissen S.T. y De las Casas J. (1977), The Lima Earthquake of October 3, 1974: Intensity Distribution", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol 67, Nº 5, pp 1429-1439, october.

3) Giesecke A., Ocola L., Silgado E., Herrera J. y Giuliani H. (1980), "El Terremoto de Lima del 3 de Octubre de 1974", CERESIS/UNESCO.

4) Huamán C. (1991), "Microzonificación Sísmica de La Punta y El Callao", Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú.

5) Martínez Vargas A. (1986),"Características del Subsuelo en Lima Metropolitana", Seminario de Actualización de Conocimientos, Diseño y Construcción de Cimentaciones (Primera Parte), Comité Peruano de Mecánica de Suelos, Fundaciones y Mecánica de Rocas, Lima, Perú.

6) Martínez J.A. (1991),"Microtrepidaciones en La Molina", Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

7) Moran D., Ferver G., Thiel C., Stratta J., Valera J. y Wyllie L. (1975), "Engineering Aspects of the Lima, Perú Earthquake of October 3, 1974", Earthquake Engineering Research Institute, CA, USA.

8) Repetto P., Arango I., y Seed H.B. (1980), "Influence of Site Characteristics on Building Damage During the October 3, 1974 Lima Earthquake", Report N°UCB/EERC-80/41, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.

9) Sarrazin M., Saragoni R. y Monge J. (1976), "El Terremoto del Perú del 3 de Octubre de 1974", Segundas Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Santiago de Chile.

10) Silgado E. (1978), "Historia de los Sismos más Notables Ocurridos en el Perú (1513-1974)", Instituto de Geología y Minería, Boletín Nº 3, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica, Lima, Perú.

11) Valencia R. (1940), "El Terremoto del 24 de Mayo de 1940, Sus Efectos y Enseñanzas", Revista de la Universidad Católica, Tomo VIII, N°s 6 y 7, Lima, Perú.

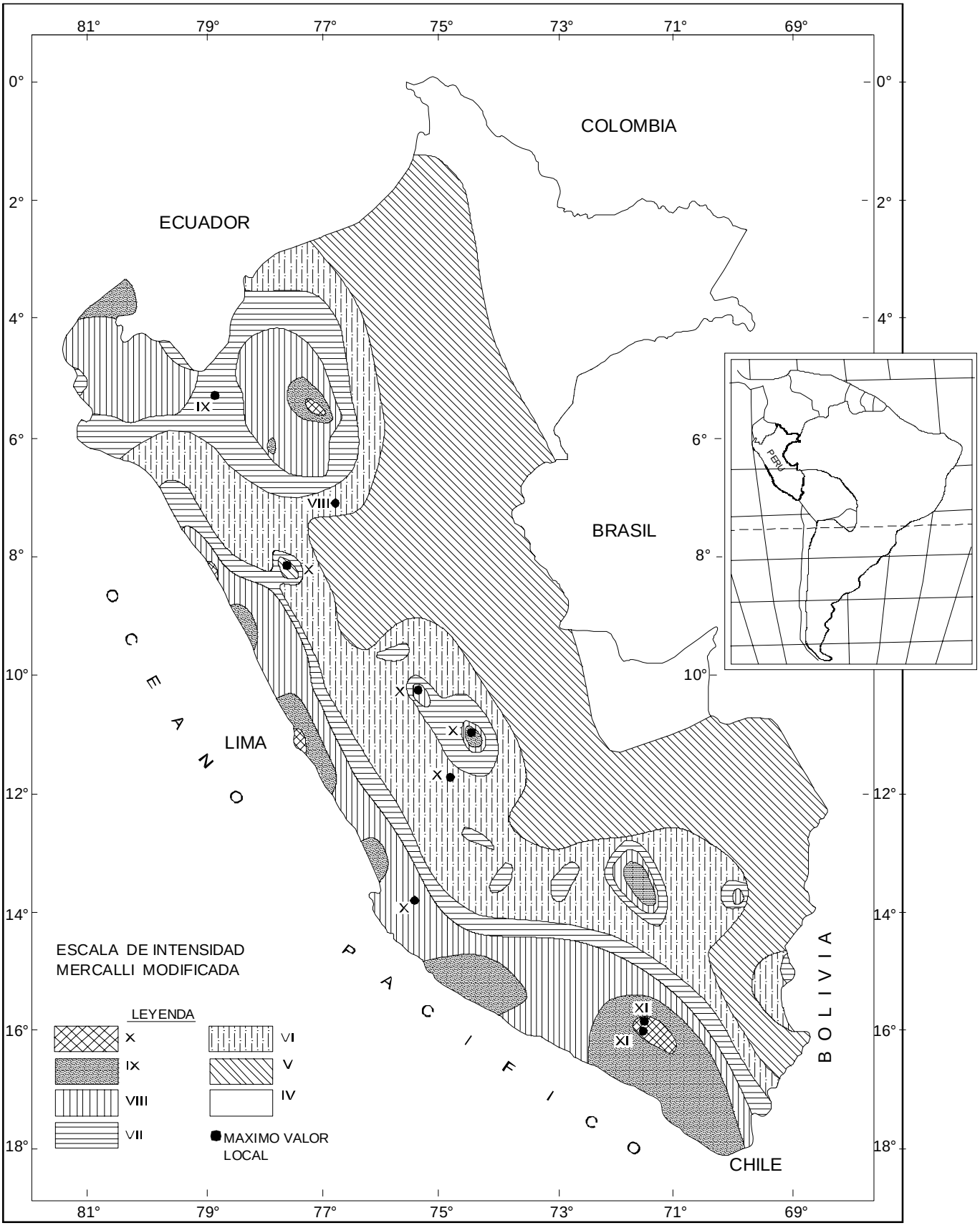

FIGURA 1. DISTRIBUCION DE MAXIMAS INTENSIDADES SISMICAS OBSERVADAS EN EL PERU
(Alva Hurtado et al, 1984)

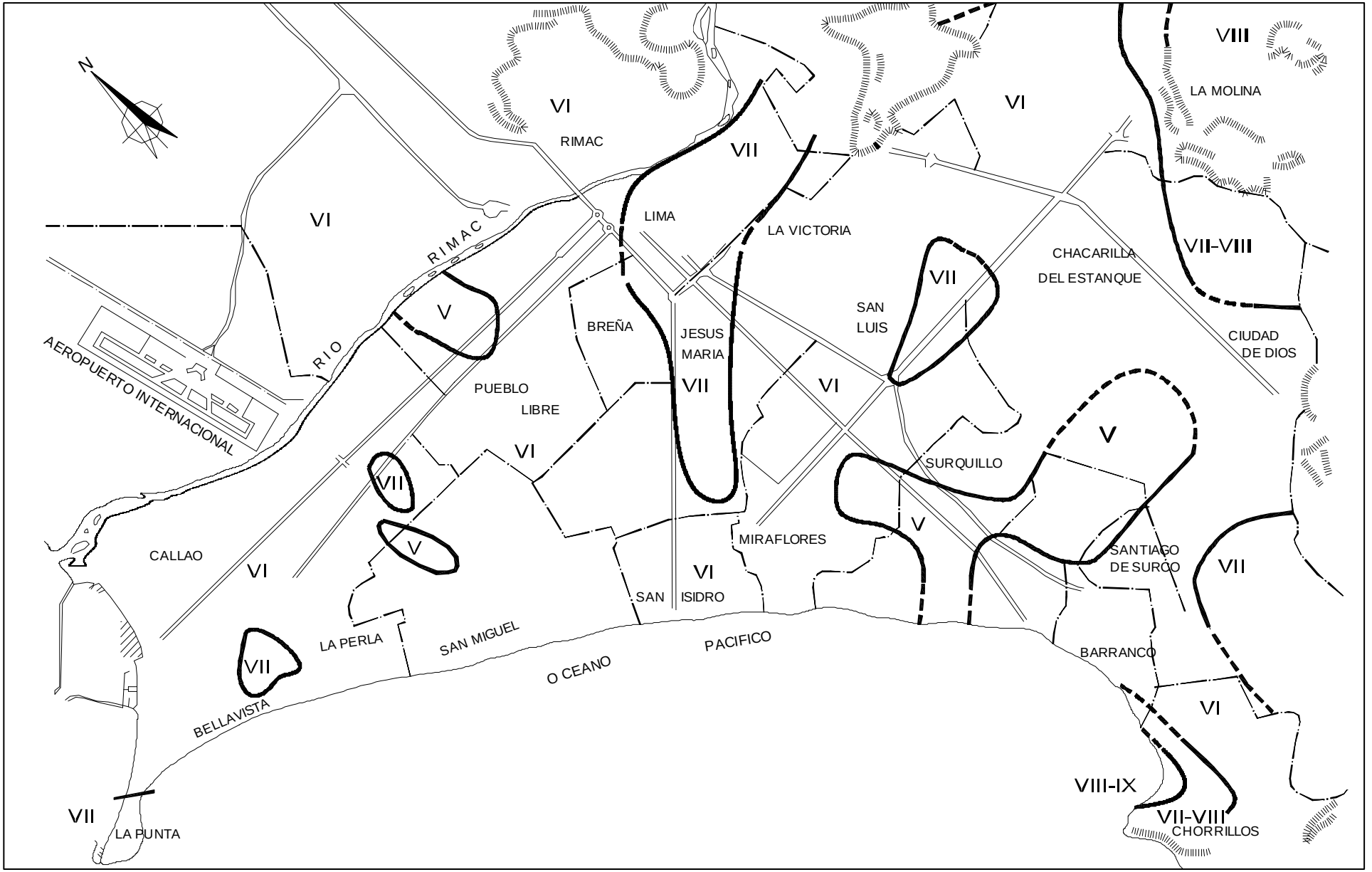

FIGURA 2. DISTRIBUCION DE INTENSIDADES SISMICAS MM DEL TERREMOTO DEL 3 DE OCTUBRE DE 1974 EN LIMA
(Giesecke et al, 1980)

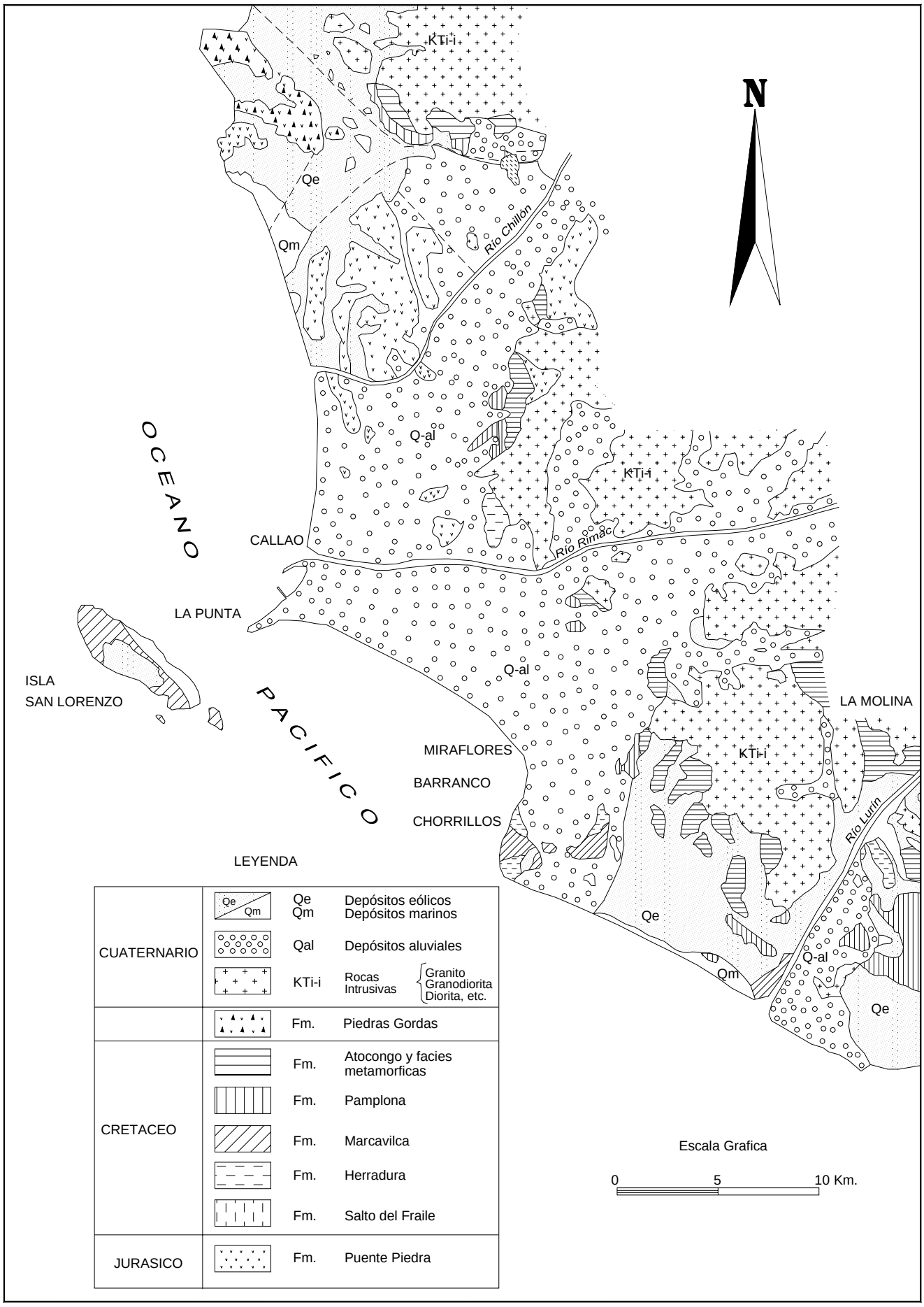

FIGURA 3. MAPA DE LAS CONDICIONES GEOLOGICAS DE LA CIUDAD DE LIMA
(Martínez Vargas, 1986)

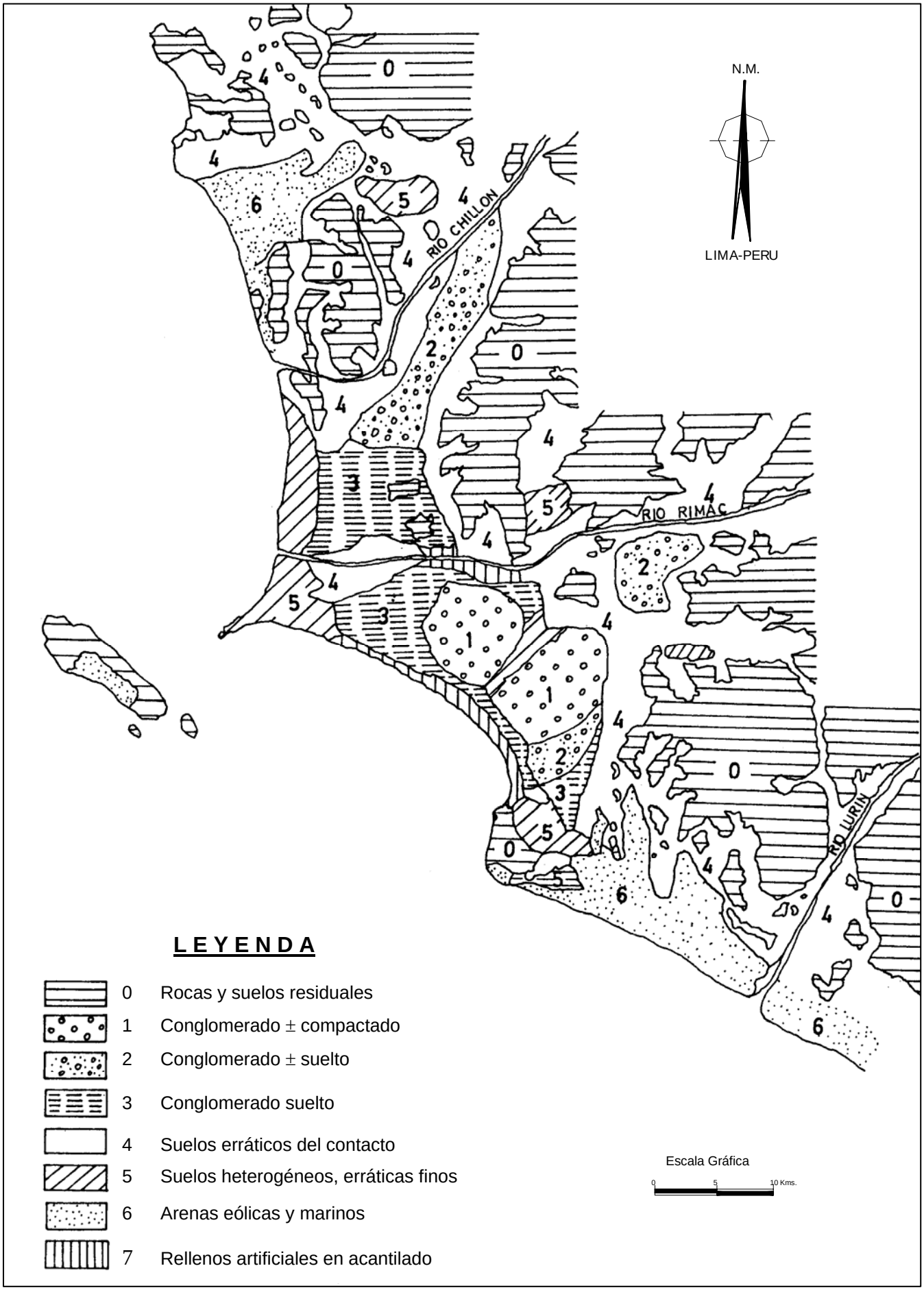

FIGURA 4. MAPA DE LAS CONDICIONES DE MECANICA DE SUELO DE LA CIUDAD DE LIMA (Martínez Vargas, 1986)

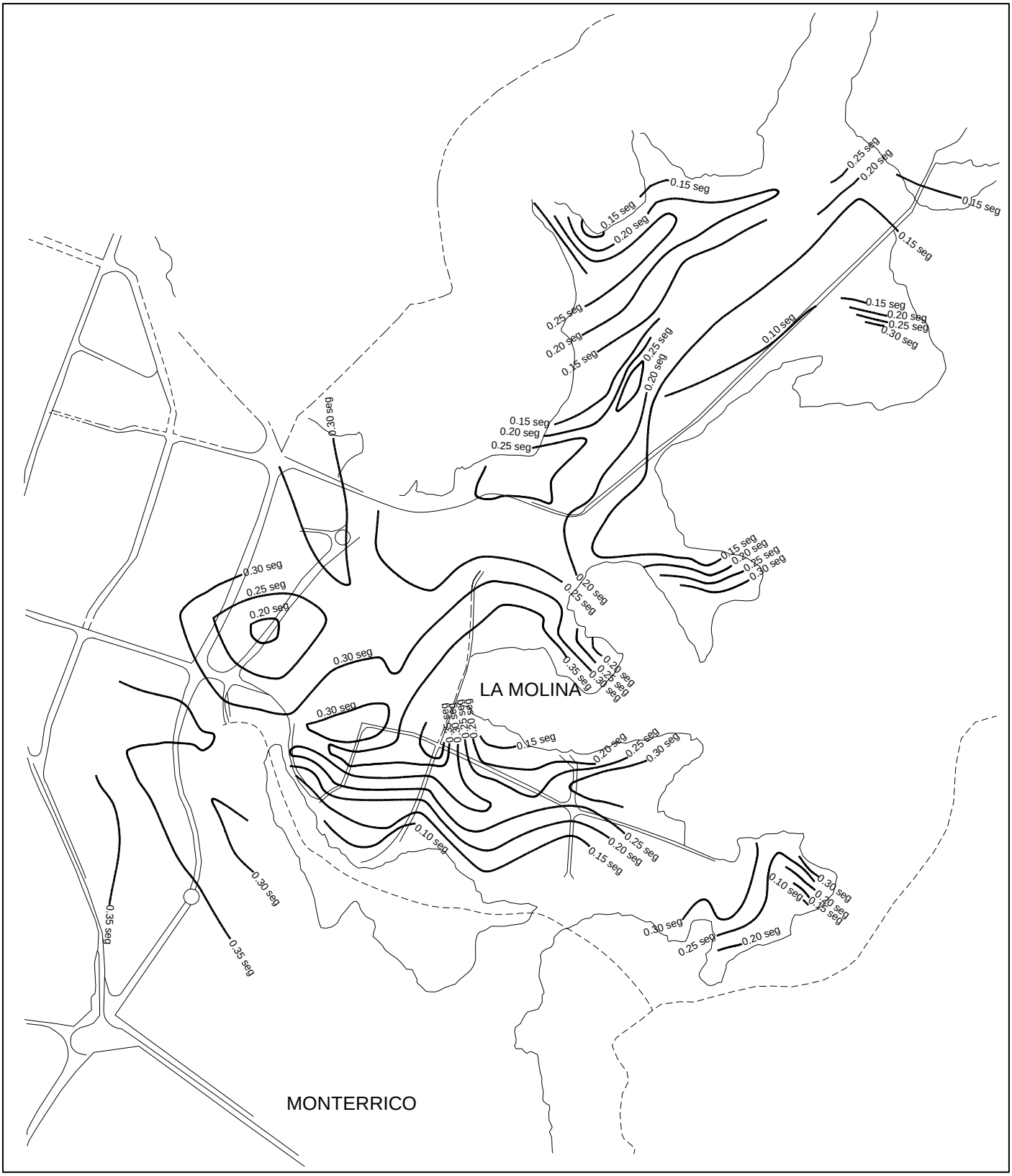

FIGURA 5. MAPA DE CURVAS ISOPERIODOS DEL DISTRITO DE LA MOLINA
(Martínez, 1991)

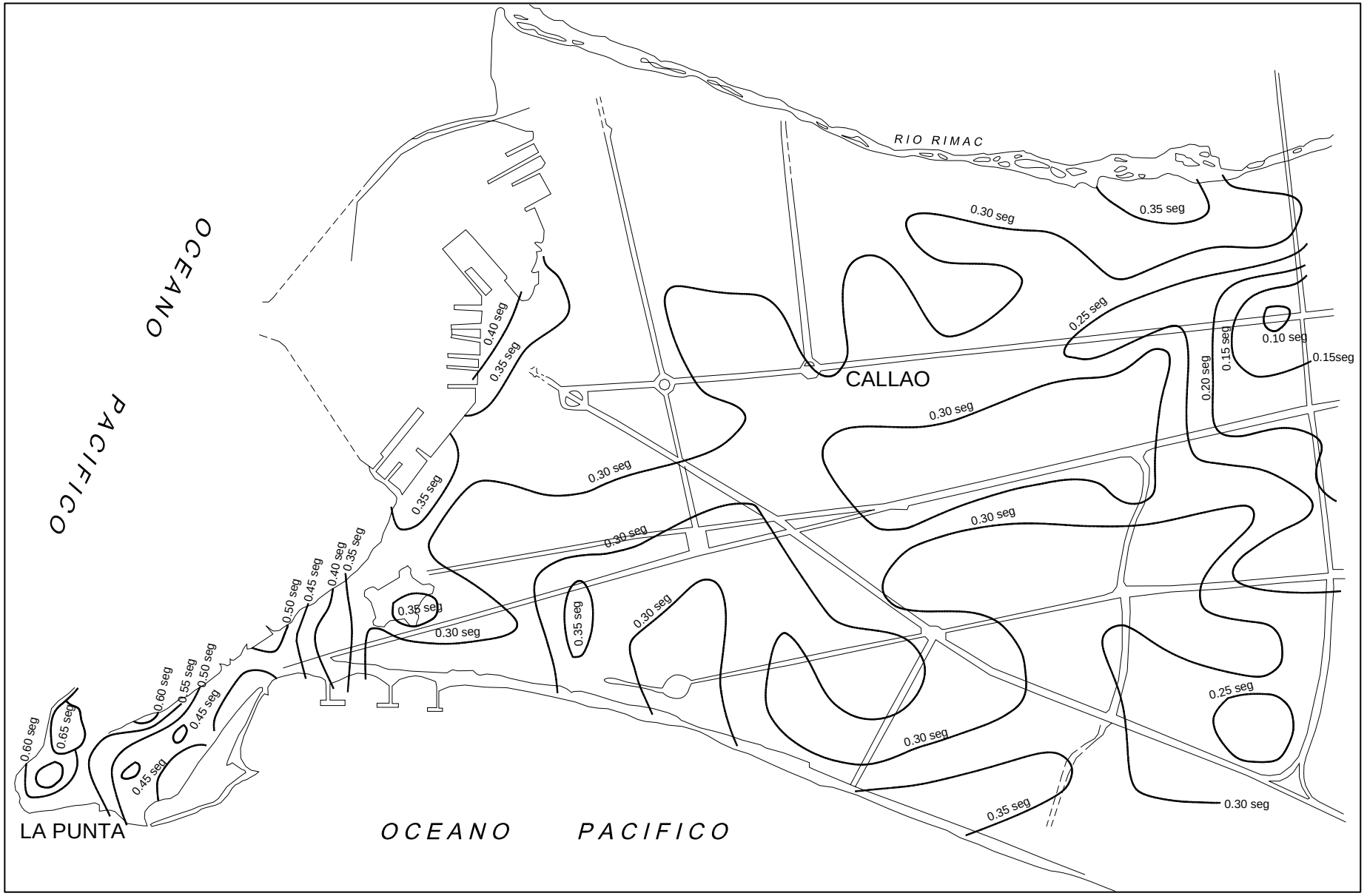

FIGURA 6. MAPA DE CURVAS ISOPERIODOS DE LA PUNTA CALLAO
(Huamán, 1991)