

TERREMOTO DE NASCA, 12 DE NOVIEMBRE DE 1996, PERÚ

J. E. Alva Hurtado *

D. Vásquez López *

RESUMEN

Se presenta las principales características del terremoto del 12 de Noviembre de 1996, producido en la región de Nasca al sur del Perú. También se presenta un resumen de la evaluación de daños y la microzonificación sísmica realizadas por varias instituciones nacionales e internacionales.

INTRODUCCIÓN

Un terremoto moderado ocurrió el martes 12 de Noviembre de 1996 en la región de Nasca - Acarí, a 450 km al sur de Lima. El terremoto fue producido por la subducción de la placa de Nasca debajo de la placa Sudamericana. El epicentro se localizó a 135 km al suroeste de la ciudad de Nasca.

Nasca y Acarí fueron las ciudades mas afectadas, así como varios pueblos de las regiones andinas donde el daño fue extenso en edificaciones de adobe. Muchas casas de adobe nuevas y antiguas se derrumbaron. Se observó daños en edificaciones de concreto armado construidas recientemente, principalmente las escuelas estatales.

El 75% por ciento de las casas en la región fueron construidas con adobe. Los informes de daños oficiales indicaron que en el área epicentral 14 personas fallecieron, 624 resultaron heridas, 4,000 casas se derrumbaron, 11,000 casas se dañaron parcialmente, 91 escuelas y 100 centros de salud se dañaron.

SISMOLOGIA

El terremoto empezó a las 11:59 de la mañana, hora local, en la frontera entre los departamentos de Ica y Arequipa en el sur del Perú. El Instituto Geofísico de Perú (IGP, 1997) calculó una magnitud de 6.3 basada en la duración del terremoto (1'58"), con coordenadas epicentrales de 15.47° S y 75.94° W y una profundidad focal de 40 km. Las magnitudes del

* *CISMID, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú,*

Ponencia Presentada a la Segunda Conferencia Internacional de Ingeniería Geotécnica Sísmica, Lisboa, 21-25 Junio 1999, Vol 2, pp 749-758.

USGS correspondientes son $m_b = 6.5$, $M_s = 7.3$ y $M_w = 7.7$, con una profundidad focal de 33 km y coordenadas epicentrales de 14.99° S y 75.68° W. La Figura N° 1 presenta el cálculo epicentral realizado por el IGP.

Este terremoto fue originado en el extremo sur del silencio sísmico entre los terremotos del 24 de Agosto de 1942 y del 3 de Octubre de 1974. Las réplicas progresaron hacia el sur, hacia el área del terremoto de 1942. El evento fue complejo con al menos dos eventos mayores que ocurrieron entre 20 y 33 segundos después de la primera sacudida (IGP, 1997).

Según los datos de sismicidad histórica (Silgado, 1978, Alva Hurtado et al, 1984), un terremoto de una intensidad máxima de IX grados en la escala de Mercalli Modificada se produjo en la región el 24 de Agosto de 1942. Este terremoto de subducción tuvo una magnitud $M_s = 8.1$ y una profundidad focal de 60 km con epicentro en el mar.

Se obtuvieron registros de movimientos fuertes en Lima durante el terremoto de 1996 con aceleración máxima de 7 a 10 gals, debido a la gran distancia al epicentro. No se obtuvieron registros cerca al epicentro.

INTENSIDADES REGIONALES Y LOCALES

Un mapa de intensidad regional, en la escala MSK (Figura N° 2) fue presentado para el terremoto del 12 de Noviembre de 1996 por el Instituto Geofísico de Perú (Ocola et al, 1997).

La máxima intensidad de grado 7⁺ (escala MSK) se observó en el estuario del río Yauca. A lo largo de la línea de la costa entre Yauca y San Nicolás se observaron grietas, así como a lo largo de las bermas de la Carretera Panamericana. La licuación de suelos ocurrió en el estuario del río Yauca donde existen depósitos de suelos arenosos y saturados. Se observó agrietamiento en los depósitos sueltos de arena y grava sobre los taludes del terreno.

Se estimaron intensidades en ciudades y pueblos por daños en edificaciones. En Acarí, Bella Unión y Vista Alegre, distrito de Nasca, se observaron valores de intensidad más altos cerca a las montañas circundantes, indicando un efecto de la topografía en la amplificación dinámica del suelo. Los contornos de las líneas de igual intensidad tienen forma elipsoidal con alguna asimetría hacia el sureste, reflejando la dirección de propagación de la ruptura en la zona epicentral.

El Instituto Geofísico del Perú preparó mapas de intensidades locales para varios lugares: Chincha, Pisco, Ica y Nasca. La Figura N° 3 presenta las intensidades locales para Nasca, incluyendo el distrito de Vista Alegre (Ocola et al, 1997).

EVALUACIÓN DE DAÑOS

Centro de la Ciudad de Nasca

Un gran porcentaje de las casas de adobe colapsaron debido a su baja resistencia a la tracción y a la pobre adherencia entre el adobe y barro. El adobe se hace con arena limo arcillosa con falla frágil. La mayoría de las fallas fueron producidas por la separación de las paredes en su intersección. No había ninguna viga collarín alrededor de la parte superior de las paredes. El techo era ligero sin el anclaje a las paredes. La falla fue por tensión con flexión. Los edificios de albañilería no confinada y confinada tuvieron daño ligero, principalmente en las paredes de tabiquería. Muy pocas tuvieron daño estructural. La mayoría de estas edificaciones fueron construidas sin supervisión del ingeniero y sin confinamiento. Eran notables las mezclas de paredes de adobe y de albañilería, así como paredes de adobe con techos de concreto. El daño en estructuras de concreto armado está principalmente relacionado a las paredes de tabiquería debido a la deformación estructural, sin daño estructural.

Escuelas

Durante este terremoto, como en terremotos anteriores, un porcentaje más alto de daños se produjo en escuelas, comparadas con otros tipos de edificios. La razón principal es su vulnerabilidad arquitectónica a la construcción defectuosa. En las escuelas recientemente construidas, Fermín del Castillo y José Carlos Mariategui en el distrito de Vista Alegre, se produjo bastante daño estructural en las estructuras de concreto armado y de albañilería confinada. Además, se observaron defectos importantes de la construcción. Las condiciones del suelo son buenas. La topografía sugiere amplificación dinámica del suelo. El efecto de columna corta era notorio.

Sistemas de Líneas Vitales

En Nasca un reservorio elevado de agua sufrió daño. Estaba apoyado sobre una estructura de concreto armado apoticada. Las redes de agua y de alcantarillado no fueron afectadas en la ciudad. Se produjeron derrumbes y caídas de rocas en las carreteras secundarias. Ningún daño mayor se produjo en la carretera Panamericana. Se reportó licuación del suelo cerca de la cimentación del puente Yauca. El daño ocurrió en la viga superior del pilar central del puente.

EFFECTOS LOCALES DEL TERRENO

Ocurrió licuación de suelos en el lecho del río Yauca. Uno de los pilares del puente sufrió agrietamiento de la viga superior y columna, así como el desplazamiento del tablero del

puente. Se interrumpió el tráfico por el puente e inmediatamente se ejecutó su reparación y restauración. En el lecho del río se observaron volcanes de arena y agrietamientos. La cimentación del puente consiste de caissons (Piqué, 1997).

El Instituto Geofísico de Perú (IGP, 1997) informó licuación generalizada en el estuario del río Yauca. Se observaron volcanes de arena y eyección de lodo. Se produjeron caídas de rocas y derrumbes a lo largo de las carreteras hacia las regiones montañosas en los Andes.

Un fenómeno muy importante fue el colapso de presas de relave debido a la licuación y flujo. Las presas se localizaron en Acarí, Jaquí y Chala. Las presas colapsadas se construyeron por el método aguas arriba y estaban en funcionamiento durante el terremoto. El río Acarí fue contaminado por una de las presas de relave que colapsó.

La ciudad de Nasca se localiza sobre suelos fluvio- aluviales parcialmente cubiertos en algunos lugares por suelo fino en la superficie. El nivel de agua estaba a 5.0 metros por debajo de la superficie en el momento del terremoto. Vista Alegre es un distrito al sur de Nasca y tiene terreno en pendiente rodeado por montañas. Por esta razón se desarrolló amplificación de suelos.

En Palpa existe material limo-arcilloso en la superficie, medio rígido, con valores diferentes de contenido de humedad. La grava se localiza a 5.0 metros por debajo de la superficie. En Acarí y Bella Unión se presenta material gravoso en el terreno, con la excepción de Acarí Viejo, donde existe material fino sobre la superficie.

En general, ningún efecto de suelo importante fue notado en las principales ciudades afectadas por el terremoto.

MICROZONIFICACION SÍSMICA DE NASCA

Para contribuir con la reconstrucción de Nasca, la microzonificación sísmica de la ciudad fue emprendida. La información disponible fue recopilada (Pariona y Rosas, 1993, Huiman, 1996) y un programa de exploración de suelo y de mediciones de microtrepidaciones fue ejecutado (Vásquez y Alva-Hurtado, 1997). También se revisó un estudio que involucra mediciones de microtrepidaciones y réplicas (Bondoux, et al, 1997).

La Figura N° 4 presenta la ubicación de las calicatas recopiladas y ejecutadas en Nasca y Vista Alegre. Debido a la naturaleza del suelo, las calicatas se excavaron a mano hasta los 5.0 metros de profundidad. La Figura N° 5 presenta las ubicaciones de las mediciones de microtrepidaciones y sus periodos naturales de vibración ambiental.

La ciudad fue dividida en cinco zonas como se presenta en la Figura N° 6.

Zona I. Esta zona tiene las mejores condiciones geotécnicas. El suelo está conformado por grava arenosa compacta con cantos rodados de hasta 10" de diámetro. La capacidad portante es mayor de 2 kg/cm² y el periodo predominante del suelo está comprendido entre 0.1 y 0.2 segundos. Esta zona se subdivide en 3 subzonas.

Zona II. Esta zona es similar a la zona I, con grava arenosa por debajo, a 1.5 metros de profundidad. En la superficie existe material fino. Las capacidades portantes varían de 1.5 a 2.0 kg/cm² y los periodos predominantes del suelo son de 0.20 a 0.25 segundos.

Zona III. Existe en la superficie una capa gruesa de suelos finos. Debajo de la capa superficial, la grava arenosa aparece. Se espera asentamientos para las cimentaciones poco profundas. Para las cimentaciones de edificios importantes, es recomendable alcanzar la capa de grava arenosa. La capacidad portante varía de 1.0 a 1.5 kg/cm² y el periodo predominante del suelo tiene un rango de 0.25 a 0.40 segundos.

Zona IV. La capa superficial consiste de suelos limosos y arcillosos con espesores mayores de 5.0 metros. La capa de grava se localiza bajo esta capa. Se espera capacidades portantes de 1.0 kg/cm² para las cimentaciones poco profundas. El periodo predominante es mayor que 0.4 segundos. Esta zona no está desarrollada. La amplificación del suelo se espera que ocurra debido a la presencia de montañas cercanas.

Zona V. Esta es una zona crítica porque allí existe relleno suelto de gran espesor en la superficie. Esta área está cercana al centro de la ciudad de Nasca, donde el colapso de las casas de adobe fue total durante el terremoto. Se recomienda usar esta área para la recreación pública y construcción de parques.

CONCLUSIONES

- 1) Aunque este terremoto tuvo una intensidad moderada, el 75% de las casas de adobe sufrieron daños severos o colapsaron. El daño principal en las casas de adobe se relaciona a las malas uniones entre las paredes y los diafragmas de techo débiles, fisuramiento extendido a lo largo de las juntas de adobe en las paredes y volcamiento de cercos y paredes principales.
- 2) Los edificios de albañilería tuvieron daño ligero, principalmente en las paredes de tabiquería.
- 3) Las estructuras de concreto armado presentaron daño no-estructural. Un caso especial fueron las escuelas estatales recientemente construidas donde se

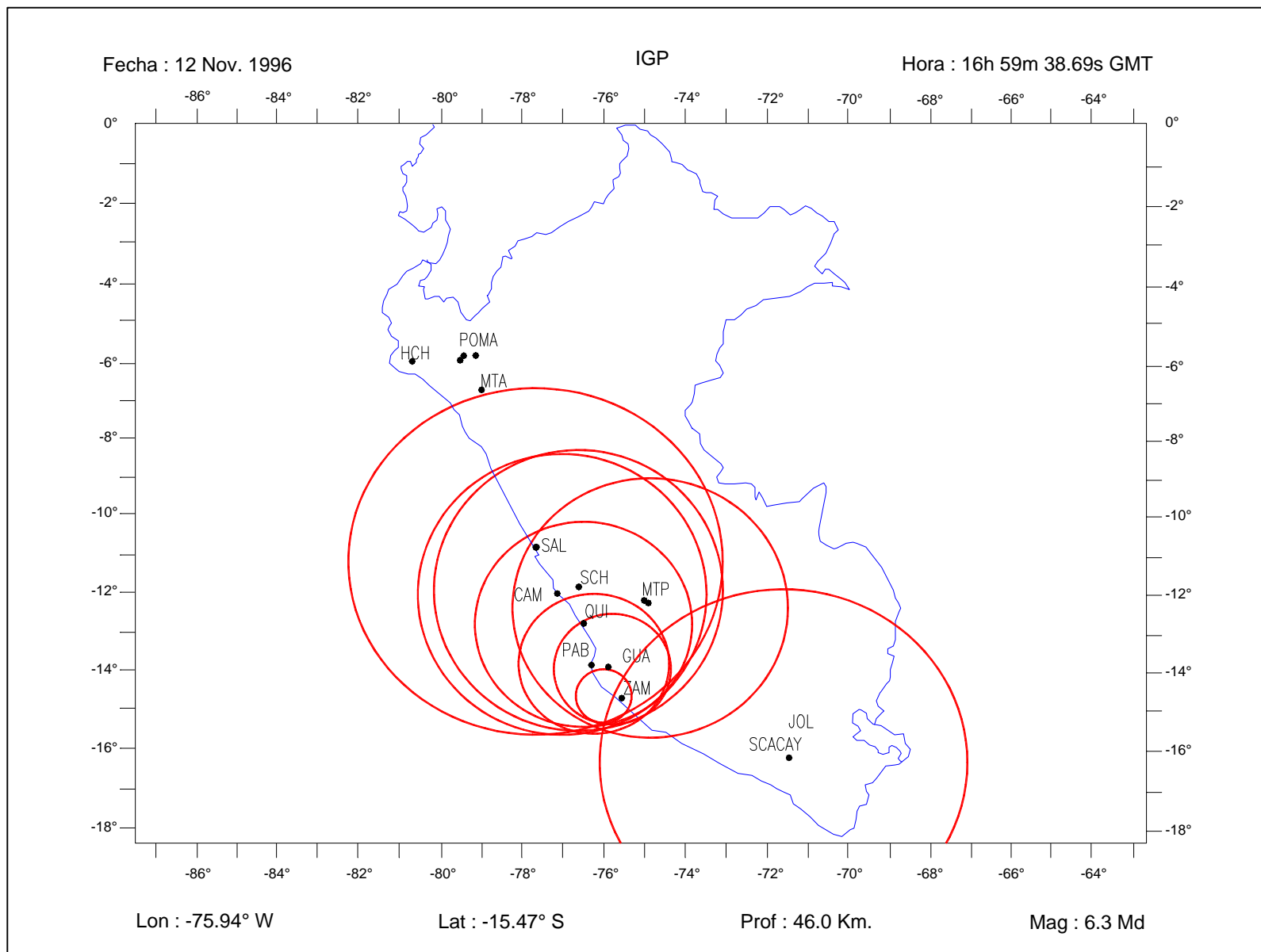
desarrollaron columnas cortas debido a las grandes deformaciones de la estructura y la construcción defectuosa

- 4) Se recomienda el desarrollo futuro de Nasca hacia las zonas I y II, donde el terreno está compuesto por grava arenosa compacta. Deben construirse estructuras de protección de inundaciones a lo largo de las riberas del río. La zona III tiene segunda prioridad porque la capa de grava es más profunda.
- 5) Las zonas IV y V son críticas porque la grava está por debajo de los 5.0 metros. La zona IV está cerca de las montañas y podría desarrollar amplificación dinámica de suelos. La zona V tiene relleno suelto en la superficie que proporciona cimentaciones débiles.
- 6) En base a los daños producidos por el terremoto se propuso algunas modificaciones al código sísmico peruano.

REFERENCIAS

- Alva Hurtado J.E, Meneses J.F. and Guzmán V. (1984), "Distribution of Maximum Seismic Intensities Observed in Perú", V National Conference on Civil Engineering, Tacna, Peru (Spanish).
- Bariola J. (1997), "Retrofitting of Schools Damaged by the 1996 Nasca Earthquake", XI National Conference on Civil Engineering, Trujillo, Peru pp- 168-171 (Spanish).
- Bondoux F., Chatelain J.L., Guerguen P. and Guillier B. (1997), "Report of the ORSTM Mission to Nasca", Quito, Ecuador (Spanish).
- Huiman P. (1996), "Microzonation for Disaster Mitigation in Nasca" Professional Degree Thesis, National University of Engineering, Lima, Peru (Spanish).
- IGP (1997), "Nasca Earthquake of 12.11.96. Preliminary Report", Lima, Peru (Spanish).
- Muñoz A., Montalbetti A. and Tinman M. (1997), "Damage in Reinforced Concrete Structures due to the November 1996 Nasca Earthquake", XI National Conference on Civil Engineering, Trujillo, Peru, pp. 58-63 (Spanish).
- Ocola L., Monge F., Huaco P. and Agüero C. (1997), "Shaking Severity of the 1996 Nasca Earthquake", Geophysical Institute of Peru (Spanish).

- Ocola L., Agüero C., Monge F., Huaco P. and Fernandez E. (1997) "Vulnerability of Housing, Mining and Highways to the 1996 Nasca Earthquake", Geophysical Institute of Peru (Spanish).
- Pariona H. and Rosas M. (1993), "Bearing Capacity of Nasca Soils," Professional Degree Thesis, San Luis Gonzaga National University, Ica, Peru (Spanish).
- Pique J. (1997), "The Nasca Earthquake of November 12, 1996", Editor of the CISMID-UNI Report on the Nasca Earthquake, El Ingeniero Civil, Año 16, N° 107-108, March and June, Lima, Peru (Spanish).
- Quiun D., San Bartolomé A., Torrealva D. and Zegarra L. (1997), "Damage in Buildings produced by the November 12, 1996, Nasca Earthquake", XI National Conference on Civil Engineering, Trujillo, Peru, pp. 64-69 (Spanish).
- Silgado E. (1978), "History of the Most Important Earthquakes that Occurred in Peru (1513-1974)", Institute of Geology and Mining, Journal N° 3, Series C., Lima, Peru (Spanish).
- UNSA (1996), "Damage Evaluation of the November 12, 1996, Nasca Earthquake", Geophysical Institute, San Agustín National University, Arequipa, Peru (Spanish).
- Vasquez D. and Alva Hurtado J.E. (1997), "Seismic Microzonation of Nasca ", XI National Conference on Civil Engineering, Trujillo, Peru, pp. 87-93 (Spanish).



**Figura N° 1: Epicentro del Sismo de Nasca del 12 de Noviembre de 1996
(IGP, 1997)**

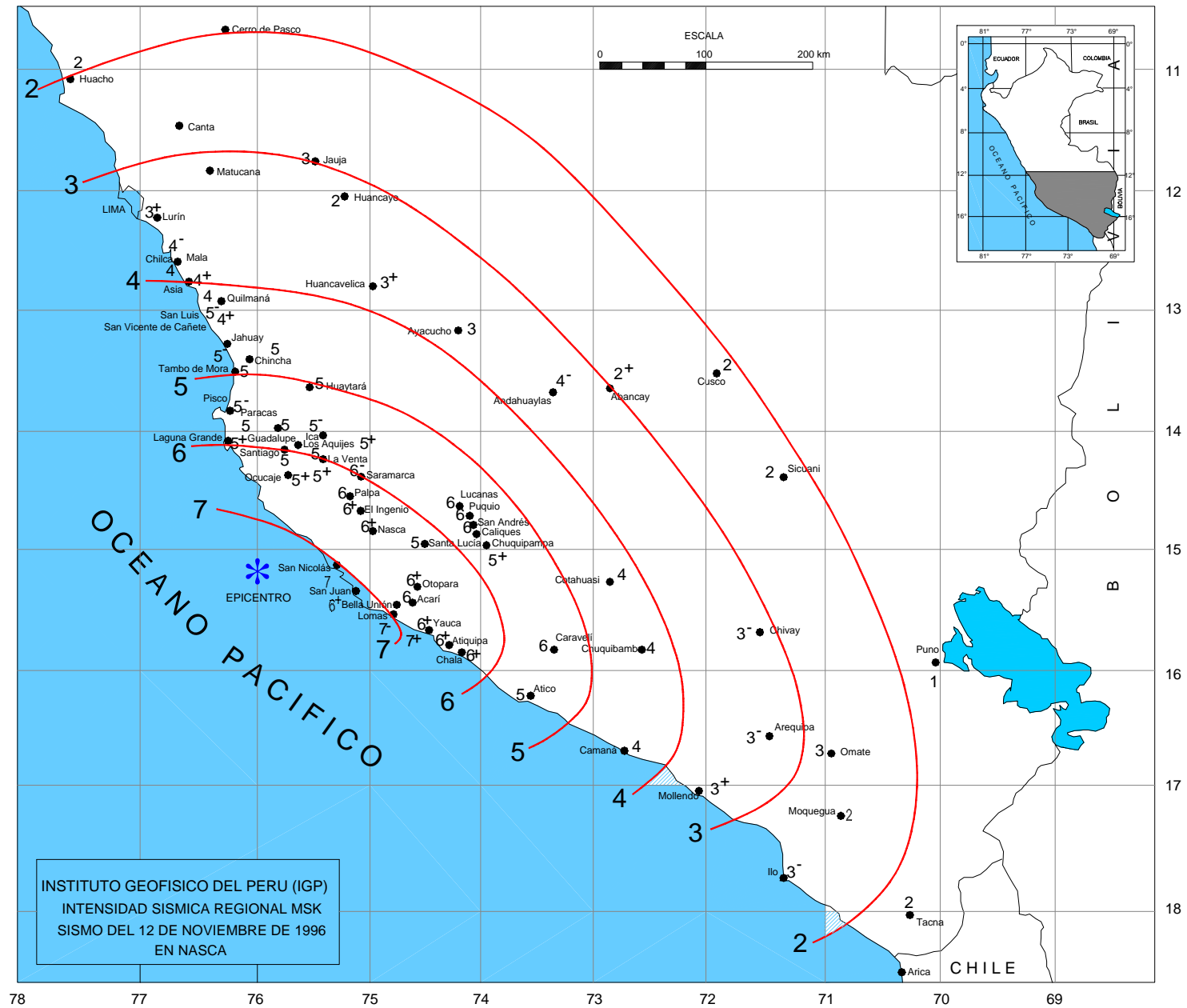


Figura N° 2: Mapa de Isosistas del Sismo de Nasca del 12 de Noviembre de 1996 (IGP, 1997)

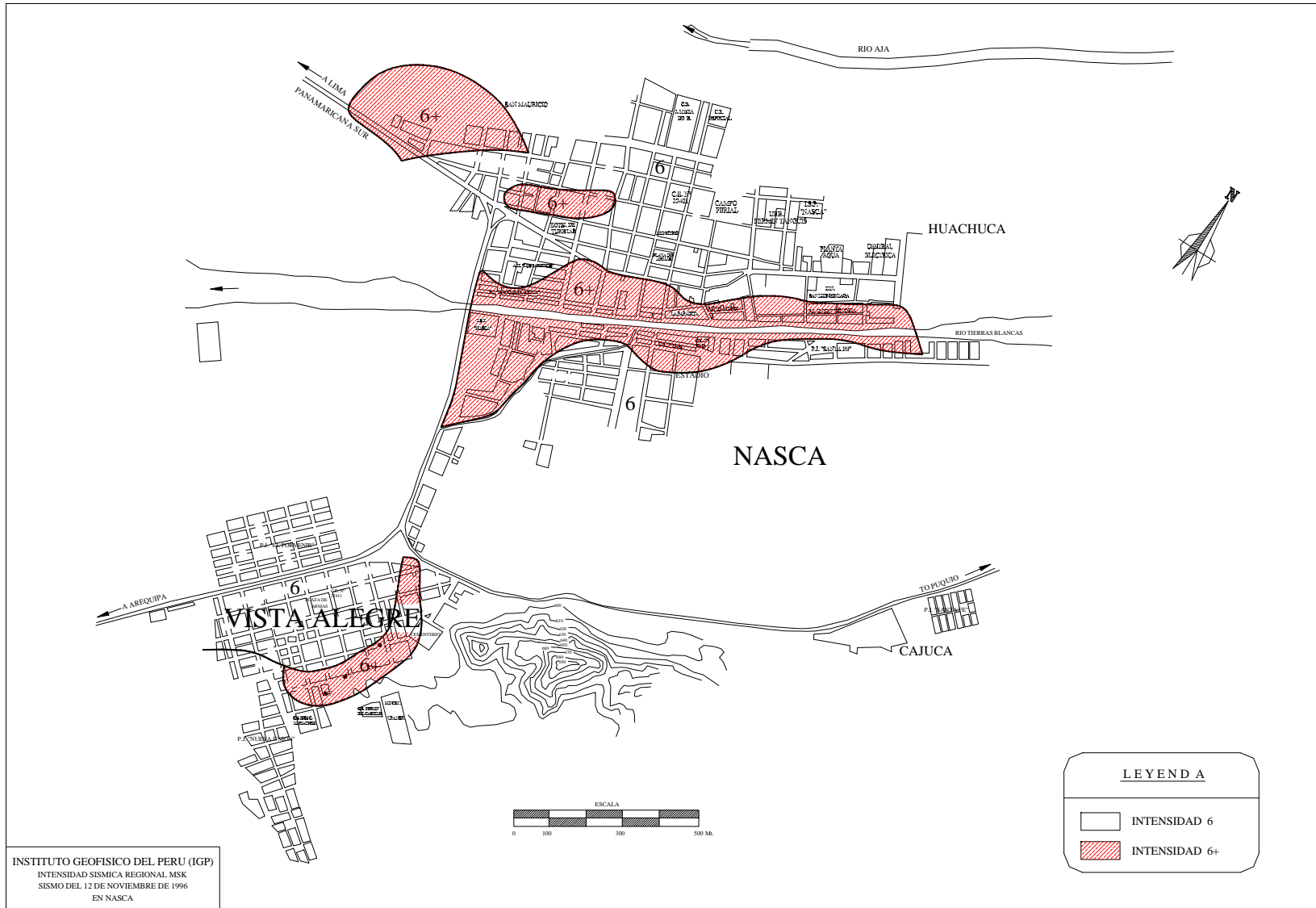


Figura Nº 3: Intensidades Locales en Nazca por el Sismo del 12 Noviembre 1996 (IGP, 1997)

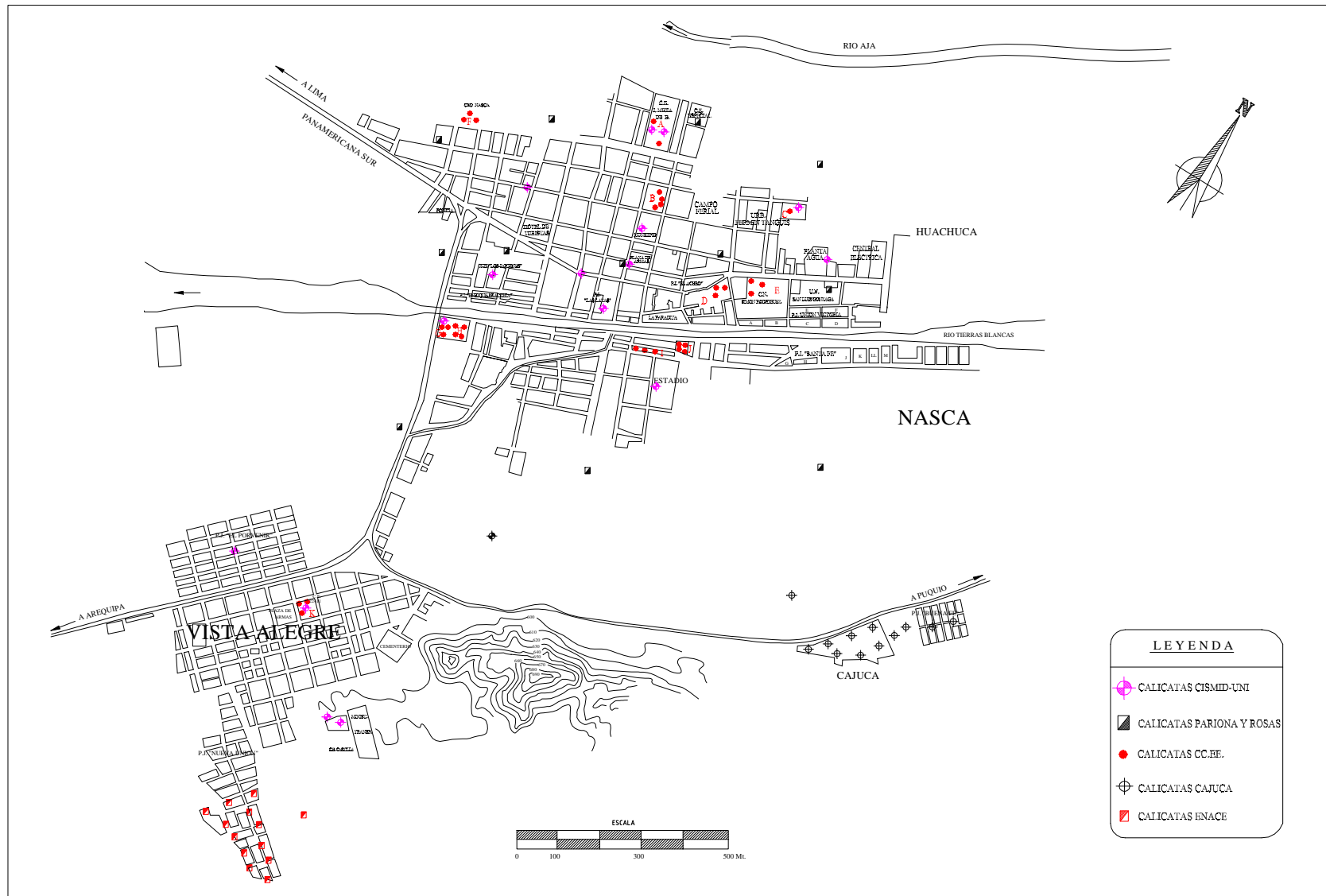


Figura Nº 4: Programa de Exploración de Suelos para la Microzonificación Sísmica de Nazca



Figura N° 5: Localización de Microtrepidaciones y Períodos Naturales

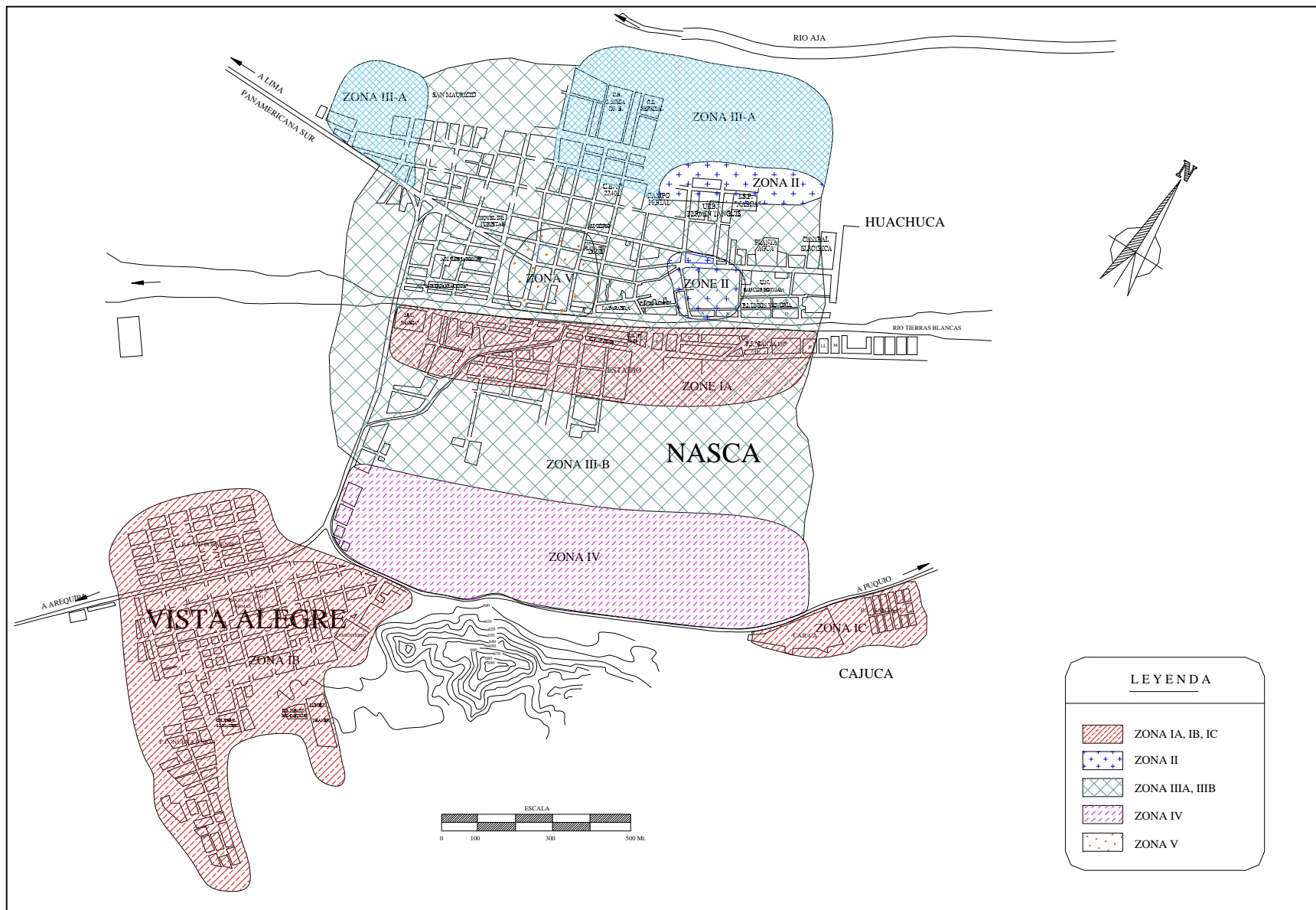


Figura Nº 6: Microzonificación Sísmica de Nazca
 (Vásquez y Alva Hurtado, 1997)