

# LICUACIÓN DE SUELOS EN EL PERÚ

Jorge E. Alva Hurtado <sup>(\*)</sup>

## RESUMEN

Se presenta una breve revisión del fenómeno de licuación de suelos y las máximas intensidades sísmicas que ocurrieron en el Perú desde el siglo XVI. Se describirán dos casos de terremotos recientes que indujeron licuación de suelos: el evento de Chimbote del 31 de mayo de 1970 en la costa peruana y los terremotos del 29 de mayo de 1990 y el del 4 de abril de 1991 en el nororiente peruano.

## INTRODUCCIÓN

El propósito principal de este artículo es presentar la información disponible sobre la ocurrencia de licuación de suelos en el Perú, país Sudamericano localizado en la costa del Pacífico, una de las regiones sísmicas más activas en el mundo. La actividad sísmica en esta región es principalmente causada por la subducción de la Placa de Nazca debajo de la Placa Sudamericana, pero también hay actividad de fallas continentales.

Varios investigadores han recopilado información histórica sobre los eventos sísmicos más importantes que ocurrieron en el Perú desde el siglo XVI hasta el presente (Silgado, 1978). En esta ocasión se presentarán dos casos de terremotos relativamente recientes que indujeron licuación de suelos: el evento de Chimbote del 31 de mayo de 1970 en la costa peruana y los terremotos del 29 de mayo de 1990 y del 4 de abril de 1991 en la región de Alto Mayo en el nororiente peruano.

## INTENSIDADES SÍSMICAS OBSERVADAS Y LICUACIÓN DE SUELOS

Un mapa de máximas intensidades sísmicas observadas (MM) en el Perú fue presentado por Alva Hurtado et al (1984). El mapa se basó en treinta mapas de isosistas de terremotos recientes e intensidades puntuales de terremotos históricos. El mapa representa el nivel de daño independiente de la causa: vibración de suelo, licuación, deslizamientos provocados por terremotos u otros. Este mapa se preparó como parte de un proyecto regional patrocinado por CERESIS. (Centro Regional de Sismología en América del Sur).

El mapa indica una alta actividad sísmica en la costa peruana debido a la subducción de la Placa de Nazca debajo de la Placa Suramericana; una actividad sísmica moderada puede notarse en la Zona Subandina localizada en la selva nororiental, al este de la cordillera de

---

\* CISMID, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú  
HIDROENERGIA Consultores en Ingeniería, Lima, Perú

los Andes. Intensidades hasta X fueron observadas en la costa del Perú en grandes áreas, mientras que en la zona subandina la atenuación es más alta, con intensidades altas en sitios específicos. La Figura N°1 presenta la Distribución de las Máximas Intensidades Sísmicas que Observadas en el Perú.

Una revisión de la información histórica de licuación de suelos en el Perú fue presentada por Alva Hurtado (1983). La evidencia de licuación tal como, el desarrollo de volcancitos de arena y lodo, la expulsión violenta de agua del terreno, presencia de agrietamiento intenso y asentamiento diferencial debido a los eventos sísmicos se ha tomado en consideración. Un mapa del Perú que muestra diferencias entre las áreas de licuación reales y probables encontradas en la literatura fue recopilado y es presentado en la Figura N°2.

Veintisiete casos de licuación de suelos en el Perú fueron determinados. Los fenómenos ocurrieron en la costa, en las regiones montañosas y la selva norte. En la costa la licuación de suelo es generalizada debido a la más alta sismicidad y la existencia de mayor población en esta parte del Perú. Existe una correspondencia entre las intensidades más altas y la ocurrencia de licuación de suelo en el Perú. Se describirán ejemplos de terremotos que produjeron licuación de suelos en la costa y la selva y sus efectos.

### **LICUACIÓN DE SUELOS CAUSADA POR EL TERREMOTO DE 1970**

Uno de los casos mejor documentados de licuación de suelos en el Perú es el pertinente al terremoto del 31 de mayo de 1970 en Chimbote. La ciudad se localiza aproximadamente a 400 Km al norte de Lima, capital de Perú. El 31 de mayo de 1970 un terremoto de magnitud  $M_s=7.8$  y profundidad focal de 45 Km ocurrió 50 km mar afuera al oeste de Chimbote. Un registro acelerográfico del terremoto se obtuvo en Lima, con una máxima aceleración horizontal de 0.11 g. Ningún registro se obtuvo en Chimbote. Una intensidad máxima de IX en la escala de Mercalli Modificada fue observada. Un breve resumen de efectos de licuación en Chimbote durante el terremoto del 31 de mayo de 1970 se presenta a continuación.

Ericksen et al (1970) y Plafker et al (1971) indicaron que en Casma, Puerto Casma, Puerto Casma y cerca de la costa de Chimbote, se produjo desplazamiento lateral del terreno causado por licuación de los depósitos deltaicos de playa. Se observaron grietas sobre el terreno que afectaron las estructuras. La zona central de Chimbote (Casco Urbano) era evidentemente un área de licuación de suelos y de densificación diferencial. En Chimbote, Casma y a lo largo de la Carretera Panamericana se notó en la superficie subsidencia del terreno debido a la licuación.

Cluff (1971) reportó fallas de terreno en Chimbote debido a los depósitos de playa saturados y sueltos. Volcanes de arena y eyección de agua se observaron en varias áreas donde el nivel de agua estuvo cerca de la superficie. Berg y Husid (1973) verificaron la ocurrencia de licuación de suelo en la cimentación de la escuela Mundo Mejor en Chimbote.

Carrillo (1970) reportó asentamientos de los accesos de casi todos los puentes en la Carretera Panamericana y asentamiento del Terminal Portuario de Chimbote. También presentó evidencias de licuación de arena saturada en la calle Elías Aguirre en Chimbote.

Morimoto et al (1971) describieron la licuación de suelos en Chimbote y presentaron un mapa de distribución de grietas del terreno y volcanes de arena (Figura N°3). En los pantanos y terrenos bajos en depósito aluvial, se desarrolló licuefacción general con grietas debido a la densificación diferencial de depósitos de suelo. En depósitos aluviales se desarrolló licuación subsuperficial, generando grietas con volcanes de arena y daños a pozos.

Alva-Hurtado y Parra (1997) presentaron una evaluación del potencial de licuación de suelos para la ciudad de Chimbote, basada en un programa extensivo de exploración de suelos y el método de evaluación del TC-4. Se obtuvo una buena comparación de los lugares con potencial de licuación y los efectos de suelo producidos por el terremoto de 1970.

## **EFFECTOS DE SUELO CAUSADOS POR LOS TERREMOTOS DE 1990 Y 1991**

El 29 de mayo de 1990 y el 4 de abril de 1991, dos terremotos moderados ocurrieron en la región nororiental del Perú. A pesar de sus magnitudes relativamente bajas, la severidad del daño fue alta debido al tipo de construcción y condiciones del suelo existentes en las áreas pobladas. La región se localiza en el Noreste del Perú, con temperatura y precipitación altas. Rocas sedimentarias de los Periodos Jurásico a Cretáceo se encuentran en las montañas cercanas y materiales del cuaternario en el valle del río Alto Mayo. Los depósitos cuaternarios están compuestos de suelos aluviales, coluviales, fluviales y residuales. Moyobamba y Rioja son las ciudades más importantes en el área. La región es cruzada por el río Mayo, cuyas riveras están compuestas de depósitos de arena licuable. Se ha reportado efectos del terreno siguientes: licuación de suelo, inestabilidad y corrosión de suelos en los taludes, asentamientos diferenciales, amplificación de suelo y deslizamientos dentro del área epicentral. Se describen los efectos de licuección de suelo en la ciudad de Moyobamba. (Alva-Hurtado et al, 1992).

El tipo de fallamiento en el área corresponde a pliegues y fallas de empuje de alto ángulo que forman sistemas imbricadas. Estas fallas tienen menos inclinación con la profundidad; produciendo una estructura de empuje y plegada. Varias de estas fallas tienen evidencia y rastros visibles de actividad reciente. Pueden verse escarpas al oeste del valle del Alto Mayo, así como también en los valles longitudinales y unidades morfológicas desplazadas, típicas de fallas activas transcurrentes. También, al norte y al sur de Moyobamba, pueden verse escarpas rectilíneas que podrían corresponder a fallas activas normales (Martínez y Machare, 1991).

La ciudad de Moyobamba se construyó originalmente sobre una meseta estable constituida por suelos residuales. Los taludes alrededor de la ciudad tienen problemas de erosión. Las partes bajas en Moyobamba, como Tahuishco, Shango y Azungue tienen suelos

cuaternarios blandos. Se reporta brevemente los tipos de daños geotécnicos, como: grietas del terreno, licuación de suelo, amplificación de suelos y deslizamientos.

**Grietas del Terreno.-** Se observaron grietas de tensión en: 1) la cresta de los taludes de la meseta de Moyobamba, asociadas con la licuación de suelo y desplazamiento lateral, 2) las carreteras, como zonas de tensión que pueden desarrollar futuros deslizamientos y derrumbes, 3) los suelos blandos en las riveras del río Mayo.

**Licuación de Suelos.-** La licuación de suelos ocurrió en el Puerto de Tahuishco en Moyobamba. Se desarrollaron desplazamientos laterales en la escuela de Tahuishco en 1991 con grietas de 10 cm de ancho y 50 cm de profundidad. El piso de un aula fue destruido. En 1990 el fenómeno no alcanzó al edificio de la escuela, pero ocurrió en el patio de la escuela; también aparecieron volcanes de arena en el patio de la escuela. Durante ambos terremotos, se dañaron segmentos de la carretera entre Moyobamba y Tahuishco.

En Azunge, ubicado en las partes bajas de Moyobamba, se desarrollaron grietas en el terreno y desplazamientos laterales. Se reportó grietas de 100 m de longitud y 40 cm de ancho con 1 m de profundidad. La mayoría de las casas sobre los taludes se derrumbaron. La estación de bombeo y cañerías del alcantarillado fallaron. Todas las casas de tapial y algunas casas de albañilería en terreno blando se derrumbaron. En Shango, las casas de tapial colapsaron. Se observaron grietas de 80 m de longitud y 20 cm de escarpa. En la calle Miraflores, las grietas eran de 30 m de longitud y 30 cm de profundidad. Durante el terremoto de 1990 se reportó licuación de suelos en El Chorro y Molino Valencia en Rioja, también en Segunda Jerusalen-Azunguillo, río Negro y La Conquista.

La Figura N°4 presenta los efectos del terremoto en la ciudad de Moyobamba. El subsuelo en las partes más bajas de la ciudad, como Tahuishco, Azungue y Shango consiste de arenas finas y arenas limosas con densidades relativas bajas y el nivel de agua alto. El suelo en los taludes se constituye principalmente por arenas arcillosas y limosas con densidad media y el nivel de agua relativamente bajo, considerando que el terreno en la parte elevada de la ciudad (meseta) consiste en arcillas y arenas arcillosas de media a baja capacidad portante y nivel de agua profundo. Las Intensidades sísmicas en las partes más baja fueron dos grados más altas que en la parte elevada de la ciudad de Moyobamba.

## CONCLUSIONES

Existe alta actividad sísmica en la costa peruana debido a la subducción de la placa de Nazca debajo de la placa Sudamericana y actividad sísmica moderada en la zona subandina al este de los Andes.

La licuación de suelos ha ocurrido en la costa, en la sierra en la zona subandina del Perú. La mayoría de los casos ocurrieron en la costa, debido a la mayor sismicidad y población.

Existe una correspondencia entre las áreas de intensidades altas y la ocurrencia de licuación de suelos en el Perú. Se presentaron dos casos uno en la costa y el otro en el nor-este del Perú.

## REFERENCIAS

- Alva-Hurtado J.E. (1983), "Breve Historia de la Licuación de Suelos en el Perú", IV Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, Lima, Perú.
- Alva-Hurtado J.E., Meneses J.F. y Guzman V. (1984). "Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú", V Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Tacna, Perú.
- Alva-Hurtado J.E., Meneses J.F., Chang L., Lara J.L. y Nishimura T. (1992), "Ground Effects Caused by the Alto Mayo Earthquakes in Peru", Tenth World Conference in Earthquake Engineering, Madrid, Balkema, pp. 141-145.
- Alva-Hurtado J.E. and Parra D. (1997), "Liquefaction Potential Map for Chimbote, Peru", Seismic Behavior of Ground and Geotechnical Structures, Sêco e Pinto (ed), Balkema, pp 25-31.
- Berg G.V. and Husid R. (1973), "Structural Behavior in the 1970 – Peru Earthquake", 5th World Conference in Earthquake Engineering, Rome, Italy.
- Carrillo Gil A. (1970), "Algunas Estimaciones del Comportamiento del Suelo durante el Terremoto de Ancash", II Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, Lima-Perú.
- Cluff L.S. (1971), "Perú Earthquake of May 31, 1970; Engineering Geology Observations", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol 61, Nº 3, pp. 511-534.
- Ericksen G.E., Plafker G. and Fernández-Concha J. (1970), "Preliminary Report on the Geological Events Associated with the May 31, 1970 Peru Earthquake", U.S. Geological Survey Circular 639.
- Martínez J.M. y Machare J. (1991). "El Terremoto del 5 de abril de 1991, Alto Mayo, Perú. "Informe Técnico a CERESIS-UNESCO, Lima, Perú.
- Morimoto R., Koizumi Y., Matsuda T., Hakuno M. and Yamaguchi I. (1971), "Seismic Microzoning of Chimbote Area, Peru", Overseas Technical Cooperation Agency, Government of Japan, March.
- Plafker G., Ericksen G.E. and Fernández-Concha J. (1971), "Geological Aspects of the May 31, 1970, Peru Earthquake", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol 61, Nº 33, pp. 543-578.
- Silgado E. (1978), "Historia de los Terremotos más Importantes que Ocurrieron en el Perú (1513-1974)", Instituto de Geología y Minería, Boletín Nº3, Serie C, Lima, Perú.

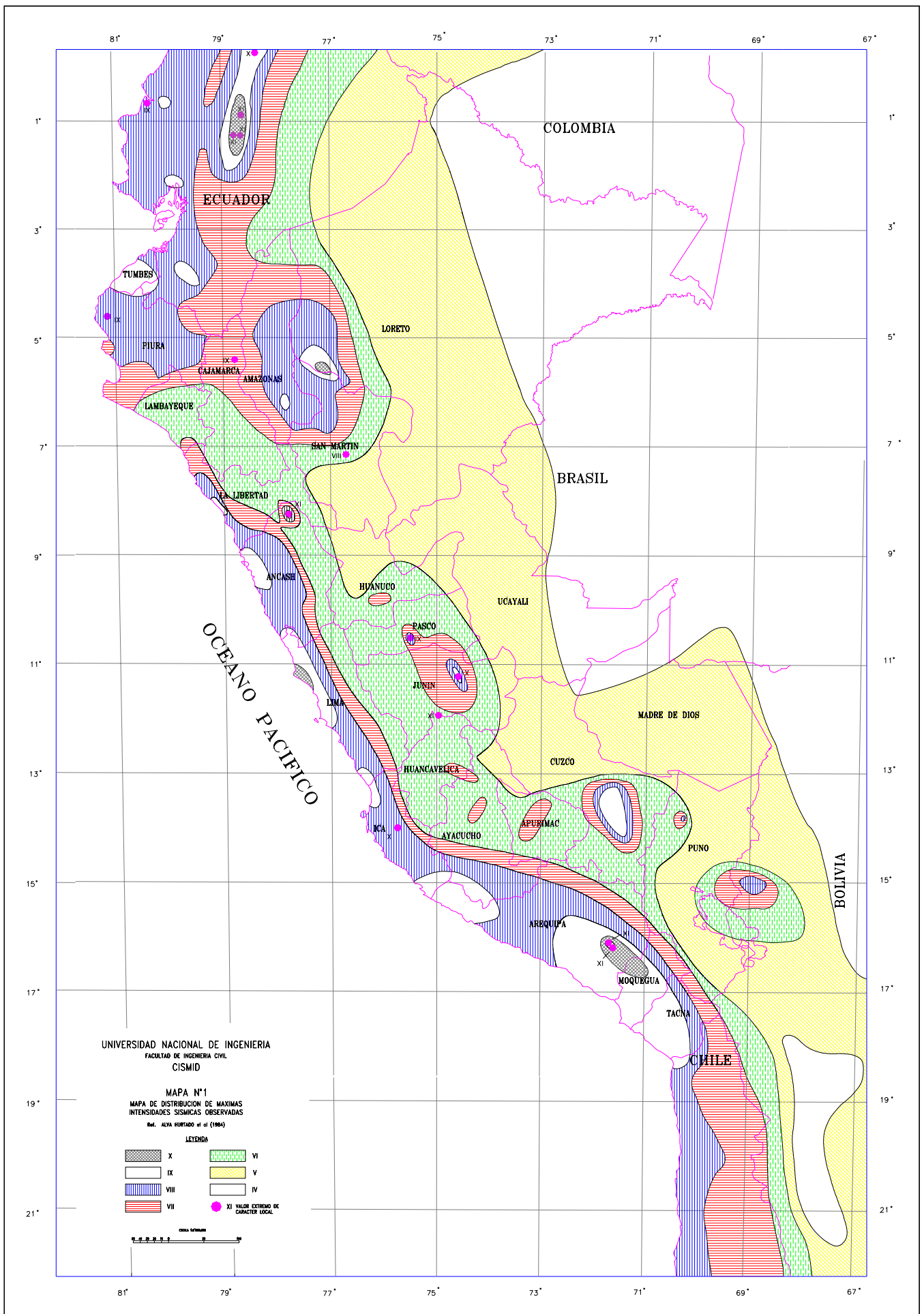


Figura N° 1 Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú

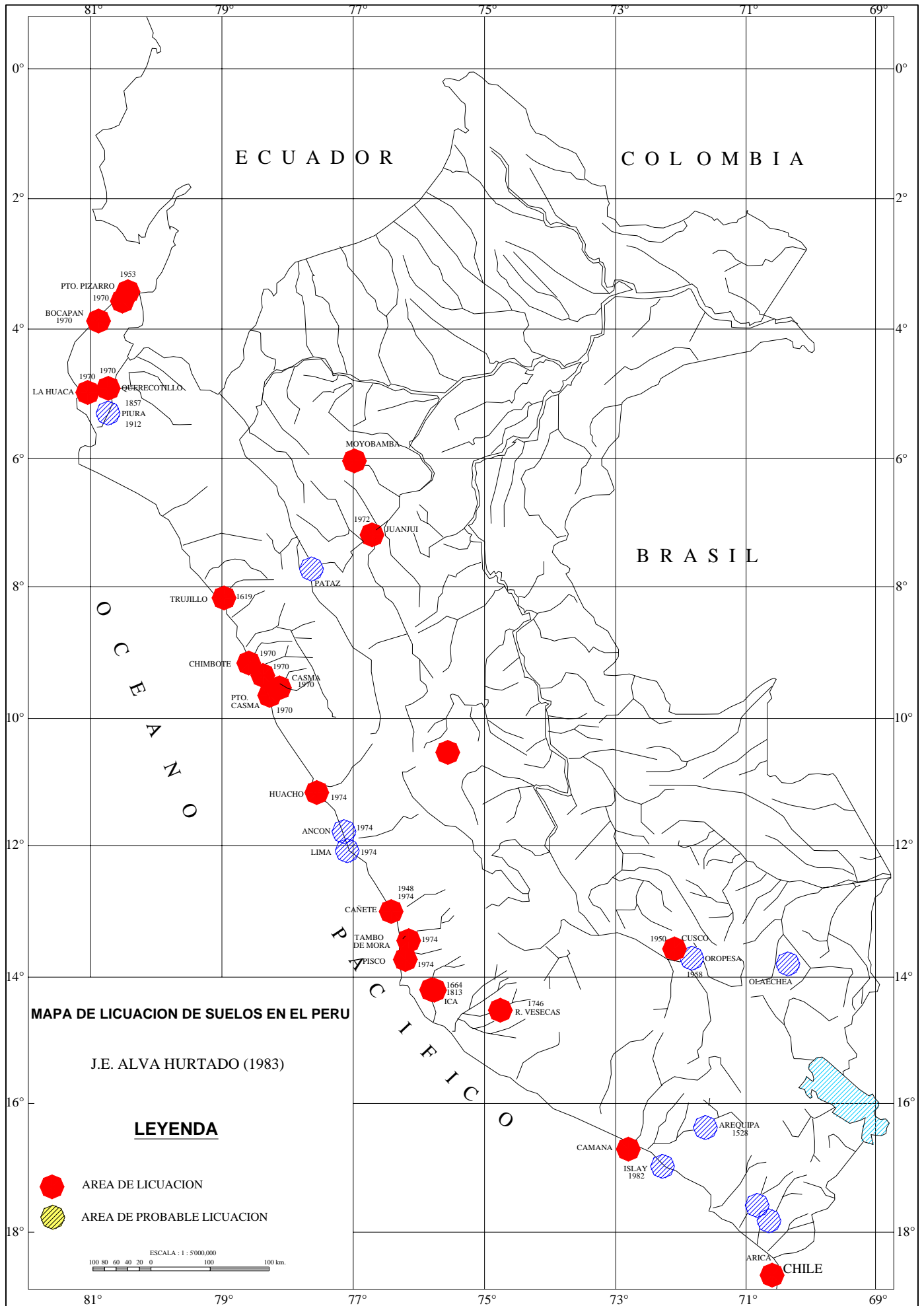


Figura N° 2 Areas de Licuación de Suelos en el Perú

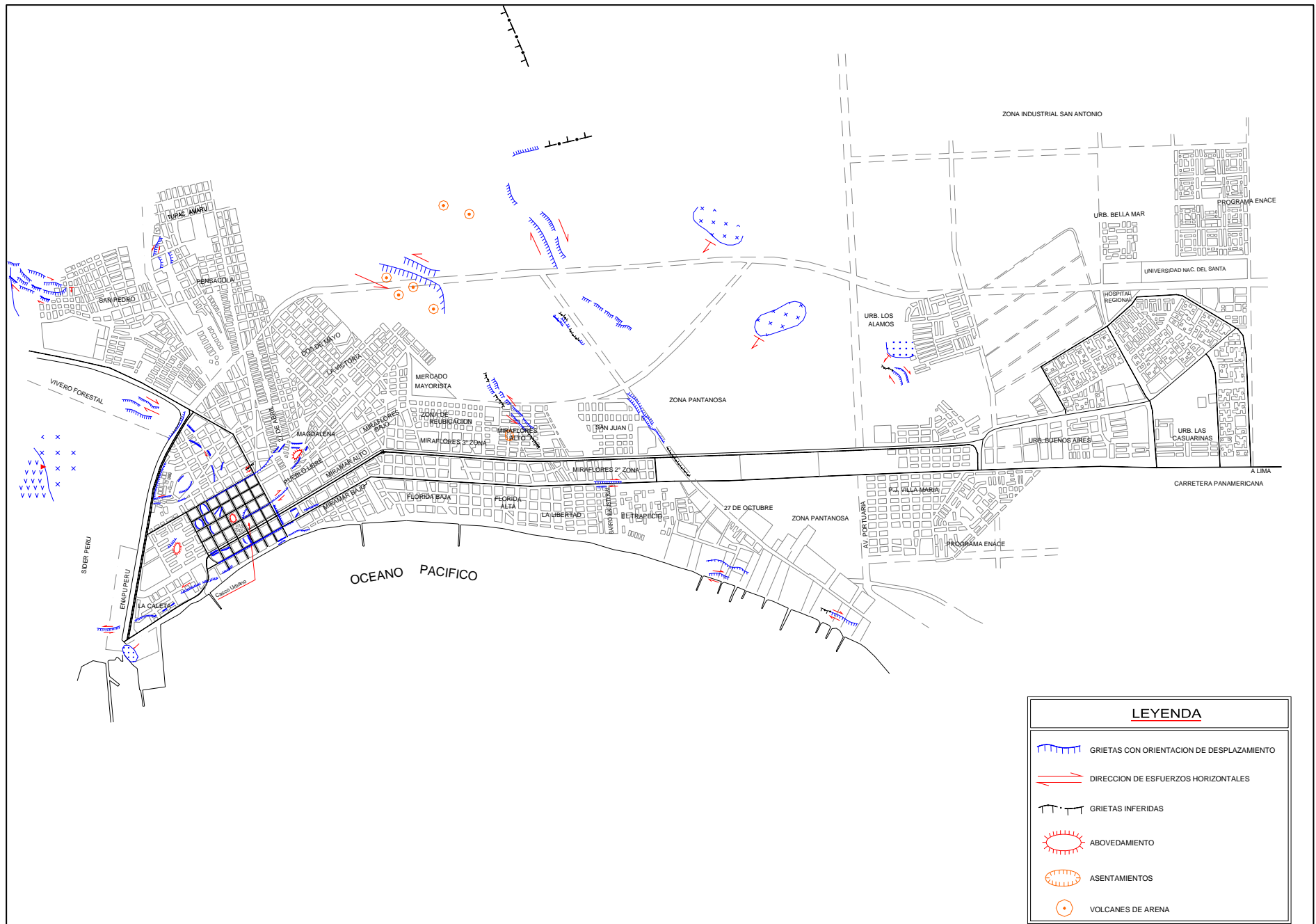
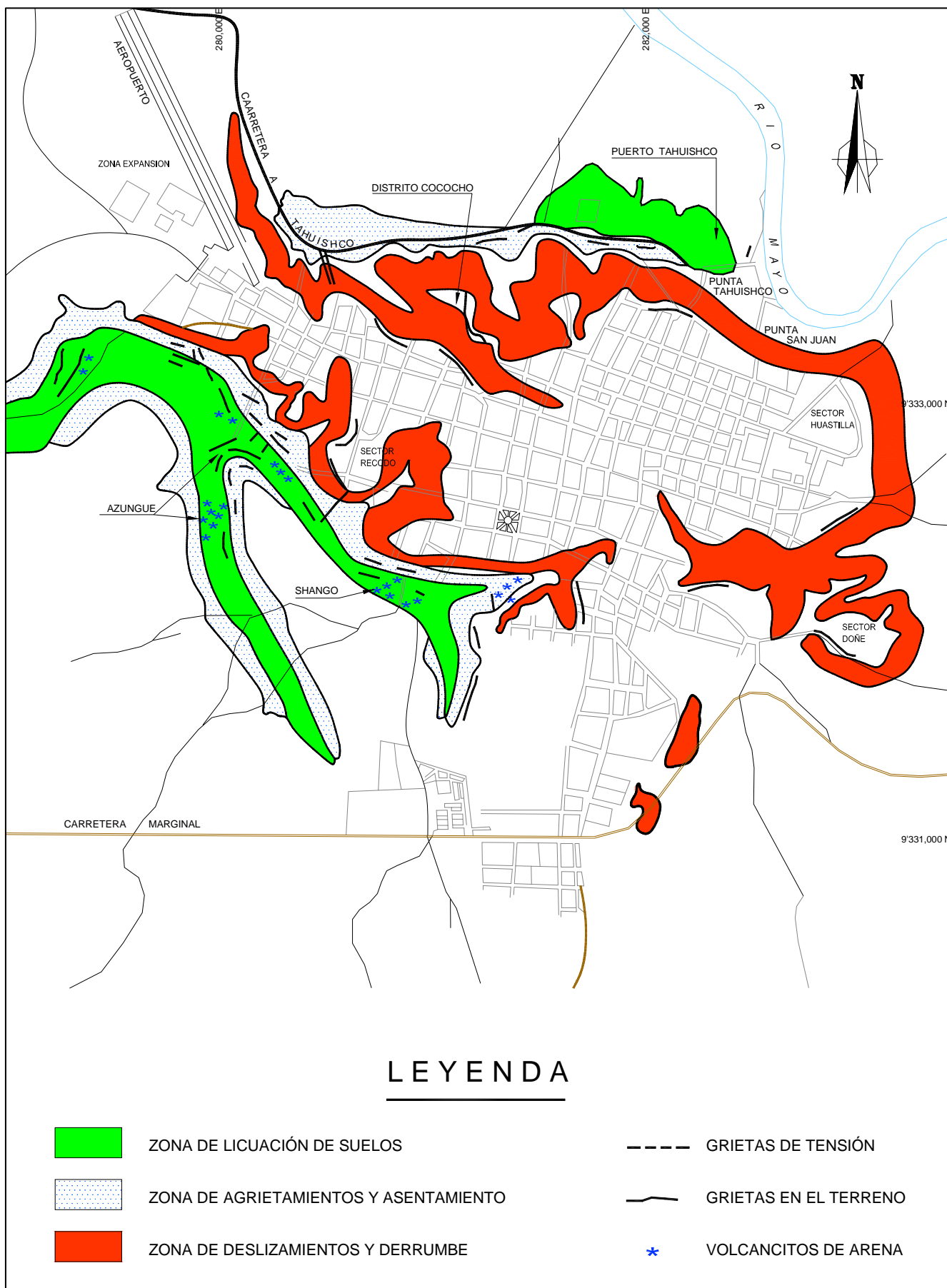


Figura Nº 3 Efectos de Licuación de de Suelos en Chimbote por el Terremoto del 31 de Mayo de 1970





**Figura N° 4 Efectos del Terremoto en la Ciudad de Moyabamba por los Sismos el 29 de Mayo de 1990 del 4 de Abril de 1991**