Mapa del Potencial de Licuación de Suelos en Chimbote mediante el Método Grado –3 del TC-4

J.E. Alva-Hurtado
CISMID, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú

RESUMEN: El propósito de este artículo es presentar la evaluación del potencial de licuación de suelos en la ciudad de Chimbote, ubicada en la costa norte del Perú, utilizando el método Grado-3 propuesto por el TC-4 (ISSMGE, 1999). Los resultados de la evaluación se comparan con los daños producidos por licuación durante el sismo del 31 de Mayo de 1970. La ciudad de Chimbote se localiza mayormente sobre depósitos aluviales del río Lacramarca. Se ejecutó un programa de exploración de suelos mediante ensayos de penetración estándar y cono holandés, para complementar la información existente sobre el subsuelo de Chimbote. Se obtuvo una buena correlación entre el mapa de potencial de licuación de suelos y el mapa de daños ocasionados por el sismo de 1970.

INTRODUCCION

Se presenta la aplicación del Manual de Zonificación de Amenazas Geotécnicas Sísmicas, preparado por el Comité Técnico de Ingeniería Geotécnica Sísmica TC-4 de la ISSMGE (1999), a la evaluación del potencial de licuación de suelos en la ciudad de Chimbote, Perú.

Uno de los casos mejor documentados sobre la ocurrencia del fenómeno de licuación de suelos en el Perú es el caso de Chimbote, durante el sismo del 31 de Mayo de 1970. Chimbote está localizado a 400 km al norte de Lima, la capital del Perú (Alva- Hurtado, 1983).

El 31 de Mayo de 1970, un sismo de magnitud Ms=7.8 ocurrió en el mar, a 50 km de la costa y tuvo una profundidad focal de 45 km. En la ciudad de Lima se registró una aceleración horizontal máxima de 0.11g. La máxima intensidad sísmica epicentral fue de IX grados en la escala de Mercalli Modificada. No se obtuvieron registros de acelerógrafos en Chimbote (Alva-Hurtado, 1999).

LICUACION DE SUELOS EN CHIMBOTE

Se presenta un breve resumen de los efectos de licuación de suelos en Chimbote debido al sismo del 31 de Mayo de 1970.

Ericksen et al (1970) y Plafker et al (1971) indicaron que en Casma, Puerto Casma y en zonas cerca del litoral en Chimbote se produjo desplazamiento lateral del terreno causado por la licuación de depósitos deltaicos y de playa, ocasionando grietas en el terreno que derrumbaron las estructuras que las cruzaron. La zona central de Chimbote fue evidentemente un área de licuación de suelos, así como de compactación diferencial de la cimentación. En Chimbote, Casma y a lo largo de la Carretera Panamericana, se notaron subsidencias superficiales producto de la licuación.

Cluff (1971) reportó fallas del terreno en Chimbote debido a la existencia de depósitos de playa saturados y sueltos. En muchas áreas se produjeron volcanes de arena y eyección de aguas subterráneas por existir nivel freático alto. Berg y Husid (1973) indicaron evidencia de licuación de suelos en la cimentacón del Colegio Mundo Mejor, en Chimbote.

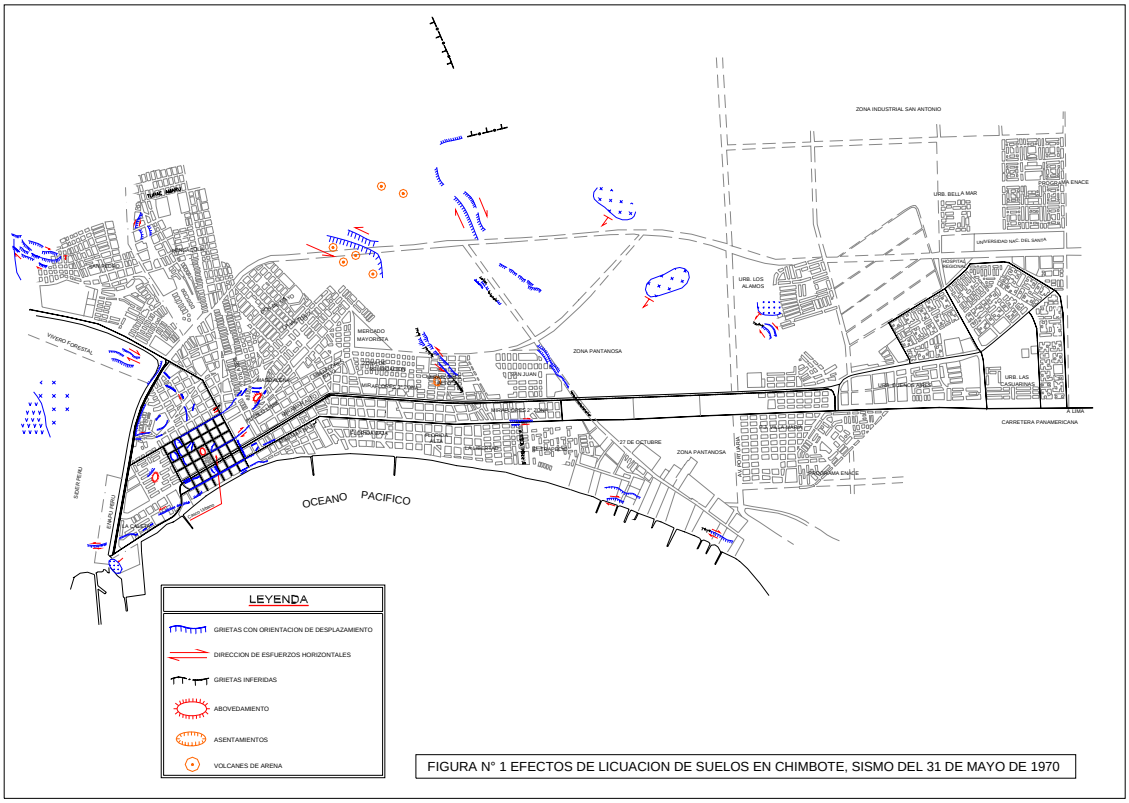

FIGURA N° 1 EFECTOS DE LICUACION DE SUELOS EN CHIMBOTE, SISMO DEL 31 DE MAYO DE 1970

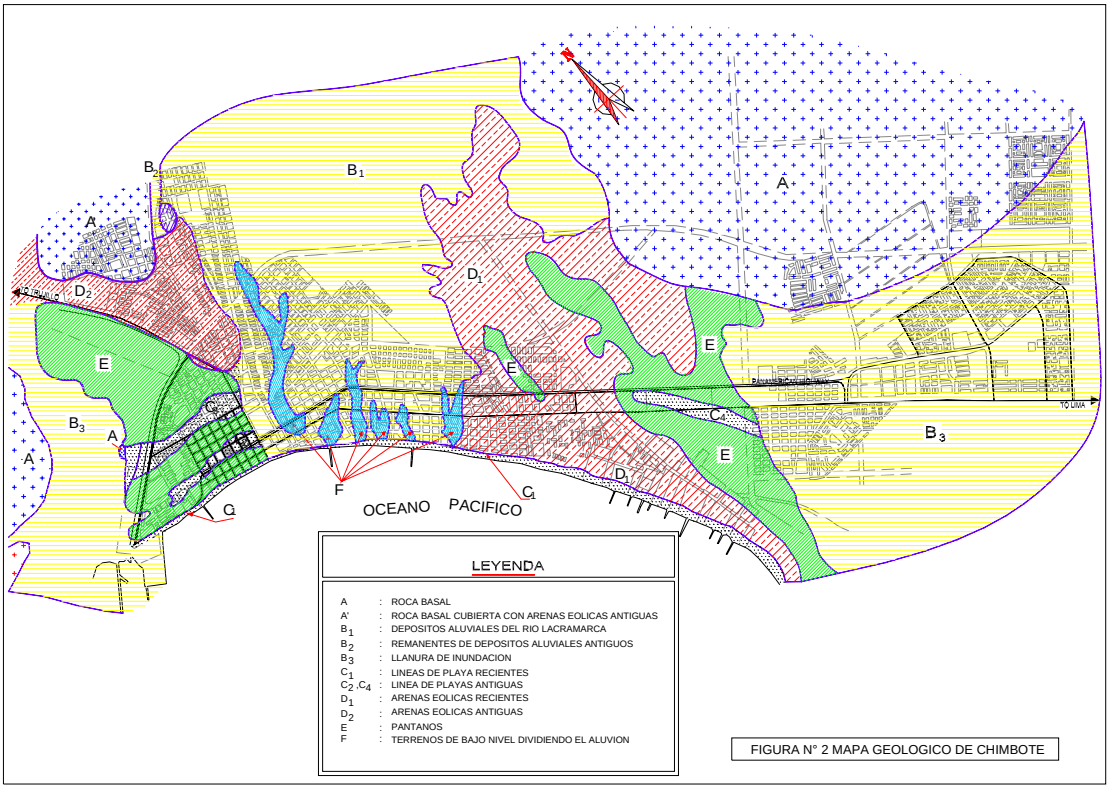

FIGURA N° 2 MAPA GEOLOGICO DE CHIMBOTE

Carrillo (1970) indicó descensos en los terraplenes de acceso de casi todos los puentes de la Carretera Panamericana y subsidencia en las plataformas del Terminal Marítimo de Chimbote. También presentó evidencias del fenómeno de licuación en los depósitos de arenas saturadas de la calle Elías Aguirre, en Chimbote.

Morimoto et al (1971) describieron la ocurrencia del fenómeno de licuación de suelos y prepararon un mapa de distribución de grietas en el terreno y volcanes de arena en Chimbote (Fig. No. 1) En la zona pantanosa y tierras bajas en depósito aluvial se produjo licuación generalizada, con grietas debido a compactación diferencial; y en la zona aluvial, licuación subsuperficial con grietas, volcanes de arena y daño a pozos.

CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE CHIMBOTE

La geología del área está compuesta por roca basal y depósitos cuaternarios. La roca está formada por derrames andesíticos y riolíticos con lutitas y areniscas, así como roca granítica intrusiva. Los depósitos cuaternarios son aluviales, líneas de playa, arenas eólicas y pantanos. Al norte y sureste de la ciudad existen cerros cubiertos parcialmente por arena eólica. Por el sur limita con el abanico aluvional, descendiendo gradualmente a pantanos y lagunas. La ciudad de Chimbote se ubica en la llanura aluvional del río Lacramarca (Fig. No. 2).

El subsuelo de Chimbote consiste de un depósito potente de arena con niveles superficiales de agua, que es susceptible de sufrir licuación y densificación bajo acción sísmica. En la mayor parte de la ciudad la arena tiene una compacidad media a densa, con valores de N de 10 a 30, suprayaciendo arena más densa o grava hasta la roca basal; sin embargo, en algunas zonas el valor de N es inferior a 10, con nivel freático superficial.

La zona norte de Chimbote comprende San Pedro, Pensacola, Casco Urbano, La Caleta y La Siderúrgica. En San Pedro existe arena suelta a medio densa, con nivel freático a 5.0 metros. En La Siderúrgica existen depósitos de arena fina a media con lentes de limo y gravilla, cubiertos por material orgánico de relleno, con nivel freático de 0.5 a 1 metros. Los valores de N son de 5 a 10 en la superficie, aumentando con la profundidad. El Casco Urbano está constituído por estratos de arena fina a media con lentes de caliche y grava, con nivel freático a 1.50 metros. En la superficie los valores de N son menores de 10 golpes/pie, aumentando con la profundidad hasta llegar a 50 a los 5 metros. La Caleta y El Puerto están formados por suelos limo-arenosos sueltos con materia orgánica, de espesor 1.5 a 4 metros, suprayaciendo arenas medianamente compactas y gravas.

La zona central está comprendida entre la Urbanización 21 de Abril y Pueblo Libre, hasta Villa María Baja, incluyendo Miraflores, Miramar Alto y Bajo, Florida Alta y Baja, La Libertad y Trapecio. En Miramar Bajo existe material orgánico en la superficie; por debajo arena fina a media hasta los 10 metros, luego arena limosa hasta los 20 metros y después grava. El nivel freático oscila entre 0.70 y 1.40 metros. En Miraflores los valores de N son de 8 a 12 a los 2 metros, superando los 40 golpes/pie a los 4 metros. En Trapecio existen arenas finas y limosas con conchuelas, de 4 a 6 metros de espesor, suprayaciendo un estrato de arena densa con lentes de arcilla y gravilla. En 27 de Octubre existe arena fina con nivel freático a 1 metro. En Villa María Baja existe en la superficie un material fino de relleno, suprayaciendo arenas sueltas a medias, con nivel freático superficial.

La zona sur incluye a Villa María Alta, Buenos Aires, Nuevo Chimbote, Casuarinas y Canalones. El nivel freático en esta zona se encuentra por debajo de los 16 metros. La mayor parte del subsuelo está constituído por arena fina a gruesa con presencia de grava. En Buenos Aires el estrato de arena fina a gruesa tiene 20 metros de espesor, mientras que en Nuevo Chimbote tiene un espesor de 4 metros, suprayaciendo arenas finas a medias con arcilla hasta los 16 metros. Los ensayos de penetración estándar indican valores de N mayores que 12 al metro de profundidad, creciendo rápidamente a mayores profundidades (Parra, 1990).

MICROZONIFICACION SISMICA DE CHIMBOTE

La microzonificación sísmica de Chimbote fue realizada por Morimoto et al (1971), en base a la geología,

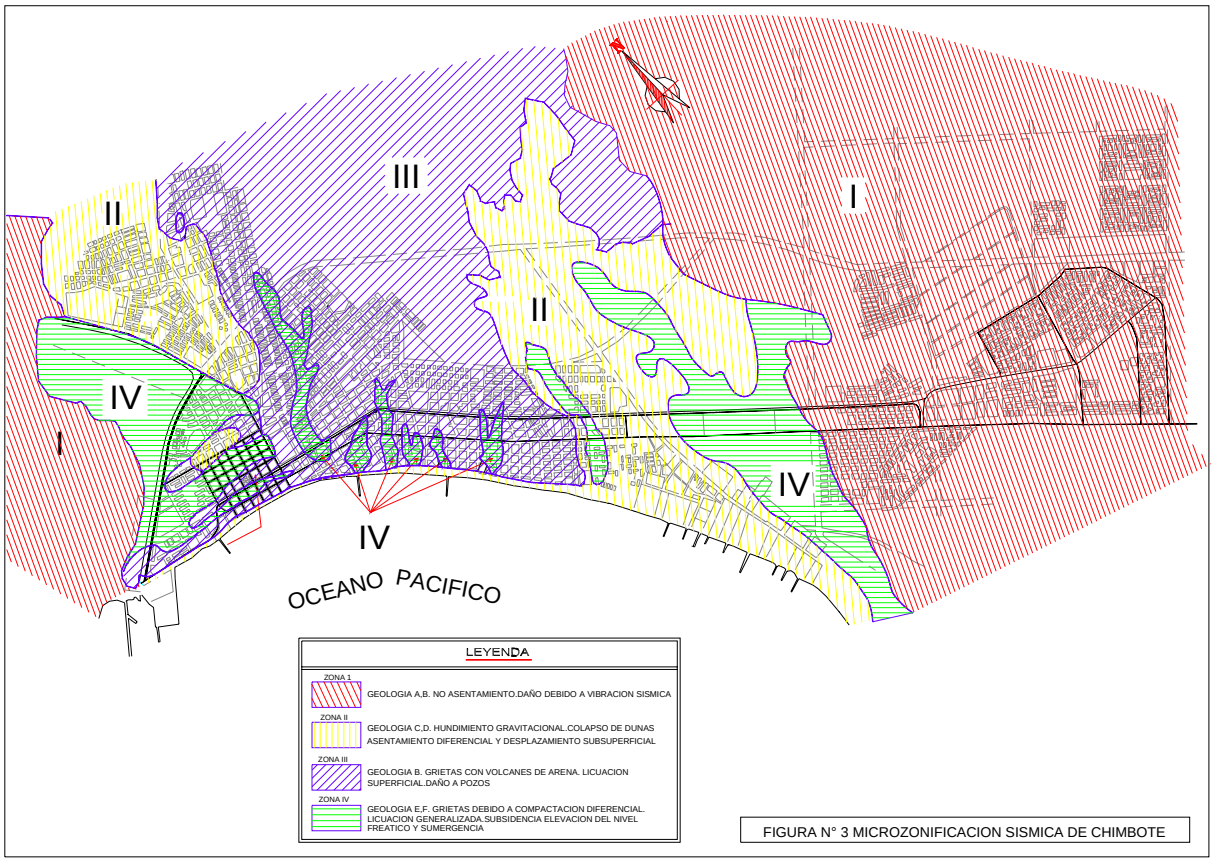

FIGURA N° 3 MICROZONIFICACION SISMICA DE CHIMBOTE

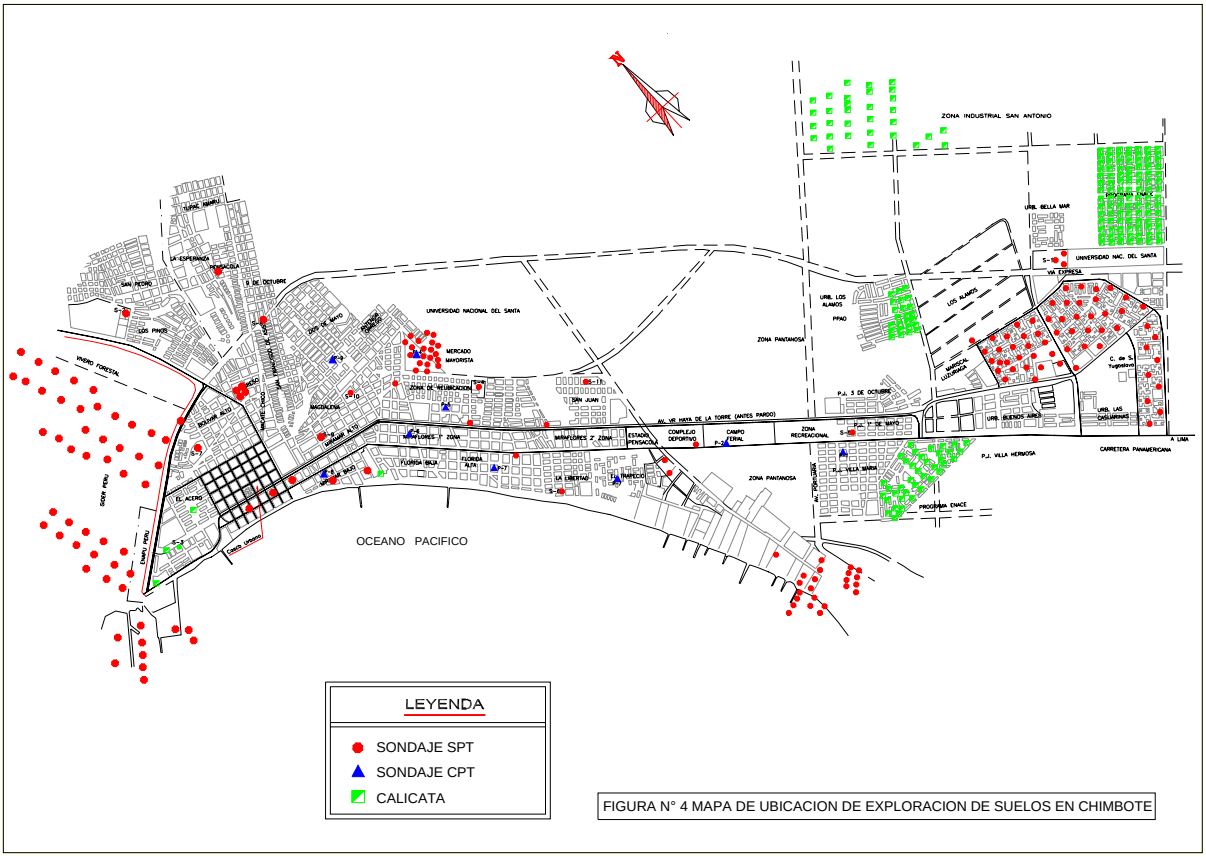

FIGURA N° 4 MAPA DE UBICACION DE EXPLORACION DE SUELOS EN CHIMBOTE

ensayos de penetración estándar, evaluación de daños durante el sismo de 1970, medición de microtrepidaciones y réplicas, ensayos de refracción sísmica y análisis de amplificación de ondas sísmicas. En la microzonificación sísmica de Chimbote se distinguen cuatro zonas (Fig. No. 3).

Zona I El subsuelo consiste de gravas densas o roca; el nivel freático está a más de 10 metros. Las elevaciones topográficas son mayores de 10 m.s.n.m. Existen pocas posibilidades de asentamiento en edificios o subsidencia del terreno. Se esperan mayores fuerzas sísmicas, debido a la iteracción suelo-estructura.

Zona II Esta zona está cubierta por arena suelta a medianamente densa con varios metros de potencia. Por debajo existen arenas densas o cementadas. En la mayor parte el nivel freático se encuentra a 5 metros de profundidad. No se esperan asentamientos en edificios de hasta dos pisos, excepto en los bordes exteriores de las dunas. Se recomienda cimentar los edificios mayores de dos pisos por pilotes en la arena densa. La construcción en las dunas requerirá vibroflotación.

Zona III El subsuelo consiste de arena cubierta con una capa delgada de suelo agrícola. Las gravas se encuentran por debajo de los 10 metros. El nivel freático se encuentra a poca profundidad. La arena fina suelta que se encuentra a distintas profundidades se licuará durante un sismo. Sin embargo, debido a su profundidad, no ocurrirán asentamientos apreciables en los edificios, excepto casos especiales.

Zona IV Esta zona tiene un nivel freático muy alto, la mayor parte está cubierta por agua o pantanos. La elevación promedio de la zona es menor de 5 m.s.n.m. El subsuelo consiste de arenas saturadas cubiertas de capas delgadas de limo orgánico. El daño a las edificaciones será principalmente por asentamiento y parcialmente por amplificación. En algunos lugares la arena se licuará hasta la superficie ante la ocurrencia de un sismo severo. Se recomienda cimentar por pilotes hasta la arena densa, o mejorar el terreno con vibroflotación.

INVESTIGACION GEOTECNICA

Barrón (1984) recopiló sondajes con ensayos de penetración estándar y calicatas realizados en Chimbote por instituciones públicas y privadas después del sismo del 31 de Mayo de 1970. Adicionalmente, se ejecutó un programa de investigación geotécnica en Chimbote (Alva-Hurtado y Parra, 1991).

El programa de investigación de campo comprendió la realización de 11 sondajes con ensayos de penetración estándar y 9 ensayos de cono holandés distribuídos en Chimbote, para complementar la información existente del subsuelo. Los ensayos de SPT utilizaron el método de lavado con entubado. Los ensayos de penetración se ejecutaron a cada metro hasta profundidades variables de 4 a 11 metros. En los sondajes se extrajeron muestras alteradas para ejecutar ensayos de clasificación de suelos. Los ensayos de CPT se realizaron con un equipo portátil de 2 toneladas de capacidad. La penetración cónica se registró cada 0.20 m hasta profundidades de 6 metros. Al costado de los ensayos de cono holandés se ejecutaron exploraciones con posteadora manual, para recuperar muestras para ejecutar ensayos de clasificación de suelos en el laboratorio.

En la Fig. No. 4 se presenta la ubicación y el tipo de los sondajes recopilados y ejecutados en la ciudad de Chimbote, que fueron utilizados en este estudio.

EVALUACION DEL POTENCIAL DE LICUACION

La evaluación del potencial de licuación de suelos de Chimbote se realizó mediante la aplicación del método Grado-3 de la Zonificación de Licuación del TC4 (ISSMGE, 1999).

Un sismo de diseño con una magnitud de Ms=7.5 y una aceleración máxima superficial de 0.3 g fue utilizada en la evaluación. Los resultados de los ensayos de cono holandés fueron convertidos a valores de N, de acuerdo a Robertson y Campanella (1983, 1985). La correción por sobrecarga utilizada fue la Propuesta por Liao y Whitman (1986).

Fue empleado el método simplificado de evaluación del potencial de licuación de suelos, con la información de los perfiles de suelos y el sismo de diseño. Los métodos propuestos por Seed et al (1983) y Seed y De Alba (1986) fueron utilizados con los sondajes SPT y CPT. El criterio de Ishihara (1985) para el daño superficial con la presencia de una capa superficial no licuable

también fue incluído en la evaluación. La Fig. No. 5 presenta el potencial de daño en la superficie por licuación para un sismo con una aceleración máxima igual a 0.30 g.

La licuación de suelos ocurrirá en la parte central de Chimbote: Dos de Mayo, La Victoria, Alto Perú, Zona de Reubicación, Miraflores Alto, Miraflores Primera y Tercera Zona y parte de Florida Baja. Estas áreas se ubican en el depósito aluvial del río Lacramarca. El perfil de suelo presenta una capa superficial delgada (limo y arcilla) sobre arena suelta que aumenta de compacidad en profundidad y tiene lentes delgados de arcilla. El nivel freático es superficial.

También ocurrirá licuación en las áreas de San Juan, Urbanización Trapecio, en el sur de Barrio Magisterial y en parte de Miraflores Segunda Zona. En estos lugares existen arenas eólicas sueltas en la superficie, aumentando en densidad con la profundidad. El nivel freático se encuentra de 1.5 a 2 metros. En la parte norte, en Miramar Bajo y La Caleta, ocurrirá licuación. El perfil del suelo presenta arenas finas y limosas con alto nivel freático. La zona pantanosa que existe al norte y al sur de Chimbote también licuará (Alva-Hurtado y Parra, 1997).

La Fig. No. 5 presenta el mapa de Chimbote que muestra los resultados de la evaluación del potencial de licuación de suelos para el perfil de suelos y el sismo de diseño, siguiendo el método Grado-3 del TC-4. La comparación de los lugares con potencial de licuación y los daños causados por el sismo del 31 de Mayo de 1970 (Fig. No. 1) presentan una buena correlación.

CONCLUSIONES

Se ha documentado el fenómeno de licuación de suelos que ocurrió en la ciudad de Chimbote durante el sismo de 31 de Mayo de 1970.

Los sondajes de exploración de suelos realizados por instituciones públicas y privadas después del sismo fueron recopilados. También se ejecutó un programa adicional de exploración de suelos para complementar la información recopilada. Se ejecutaron ensayos de penetración estándar y de cono holandés en Chimbote. Se ha establecido un importante banco de datos de sondajes de exploración en Chimbote.

Se utilizó la ciudad de Chimbote como un caso de estudio del Manual de Zonificación de Amenazas Geotécnicas Sísmicas propuesto por el Comité Técnico TC-4 de la ISSMGE. Se obtuvo una buena correlación entre las áreas con potencial de licuación en Chimbote y los daños reales producidos por el sismo del 31 de Mayo de 1970.

REFERENCIAS

Alva-Hurtado J.E. (1983), "Breve Historia del Fenómeno de Licuación de Suelos en el Peru", IV Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones, Lima, Peru.

Alva-Hurtado J.E. (1999) "Soil Liquefaction in Peru", Earthquake Geotechnical Engineering Sêco e Pinto (ed), Balkema, Vol. 3, pp. 1035-1042

Alva-Hurtado J.E. y Parra D. (1991), "Evaluación del Potencial de Licuación de Suelos en Chimbote, Perú", IX Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones, Viña del Mar, Chile.

Alva-Hurtado J.E. y Parra D. (1997), "Liquefaction Potential Map for Chimbote, Peru", Seismic Behavior of Ground and Geotechnical Structures, Sêco e Pinto (ed), Balkema, pp 25-31.

Barrón H. (1984), "Vulnerabilidad Sísmica de Chimbote", Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú

Berg G.V. y Husid R. (1973), "Structural Behavior in the 1970 – Peru Earthquake", 5th World Conference in Earthquake Engineering, Rome, Italy.

Carrillo Gil A. (1970), "Algunas Apreciaciones del Comportamiento del Suelo en la Zona del Sismo de Ancash", II Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones, 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.

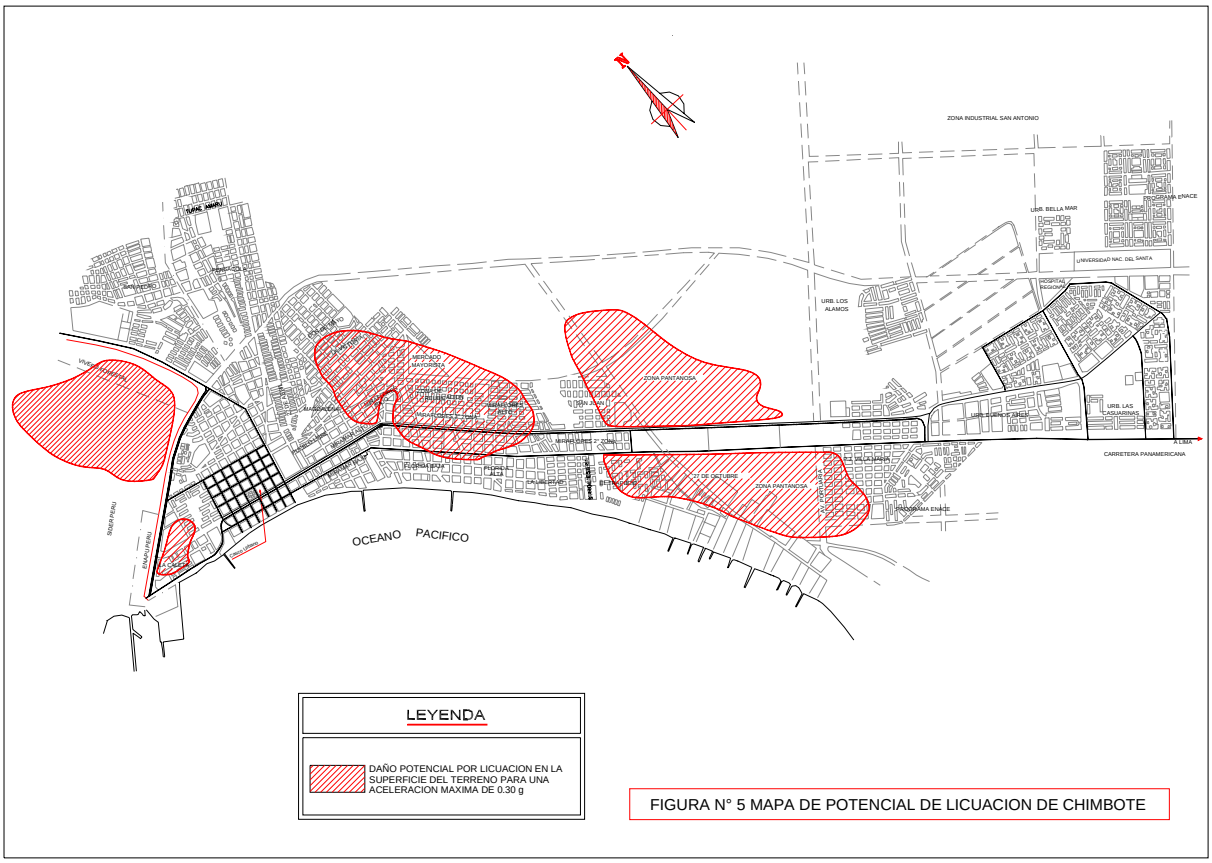

FIGURA N° 5 MAPA DE POTENCIAL DE LICUACION DE CHIMBOTE

Ericksen G.E., Plafker G. y Fernández-Concha J. (1970), "Preliminary Report on the Geological Events Associated with the May 31, 1970 Peru Earthquake", U.S. Geological Survey Circular 639.

Ishihara K. (1985), "Stability of Natural Deposits During Earthquakes", Proc. 11th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, Vol I, pp. 321-376.

ISSMGE (1999), "Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards (Revised Edition)", Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering, TC4, The Japanese Geotechnical Society.

Liao S. y Whitman R.V. (1986), "Overburden Correction Factors for SPT in Sand", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, March, pp. 373-377.

Morimoto R., Koizumi Y., Matsuda T., Hakuno M. y Yamaguchi I. (1971), "Seismic Microzoning of Chimbote Area, Peru", Overseas Technical Cooperation Agency, Government of Japan, March.

Parra D. (1990), "Evaluación del Potencial de Licuación de Suelos de la Ciudad de Chimbote", Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Plafker G., Ericksen G.E. y 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.

Robertson P.K. y Campanella R.G. (1983), "Interpretation of Cone Penetración Test Part I: Sand", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 20, pp. 718-733.

Robertson P.K y Campanella R.G (1985), "Liquefaction Potential of Sands Using the CPT", Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol 111, No. 3, pp. 384-403.

Seed H.B., Idriss I.M. y Arango I. (1983), "Evaluation of Liquefaction Potential Using Field Performance Resistance of Sands", Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE,Vol 109, N° 3, pp. 458-481.

Seed H.B. y De Alba P. (1986), "Use of SPT and CPT Tests for Evaluating the Liquefaction Resistance of Sands", Use of Insitu Test in Geotechnical Engineering, ASCE, pp. 281-302.