

Antología de los Efectos de la
licuefacción en suelos sujetos a
solicitaciones sísmicas. Ejemplos de
Casos

Por:

Tupak Ernesto Obando Rivera

Ingeniero en Geología. Master y Doctorado
en Geología, y Gestión Ambiental en la
Universidad Internacional de Andalucía
UNÍA (Huelva, España).

2009

Introducción

En este documento se presenta serie de recursos iconográficos sobre el proceso y los efectos de la licuación en Suelos sujetos a cargas dinámicas conocidos en estos los últimos 10 años en países como Alaska, la Unión Americana, Canadá, Centroamérica, Suramérica, España, y países Europeos y Asiáticos.

En las imágenes es notorias las transformaciones que estos procesos geológicos conocidos técnicamente por el nombre de “licuación o licuefacción” ocasionan al ambiente natural y antrópicos existente, principalmente, los daños físicos severos causados a obras de ingeniería construidas o en fase de construcción por el hombre, como puentes, edificios, carreteras, túneles, ciudades enteras, entre otros. La mayoría de las fotos, imágenes aéreas, mapas y otros son aportaciones cortesía de empresas públicas y privadas nacionales, así como, instituciones especializadas regionales y mundiales, como por ejemplo, la Consultora Pacific Eartquake Engineering Research Center (PEERC)

El documento sigue el orden de contenido siguiendo trabajo original del presente autor del estudio, citado en el acápite de Bibliografía Recomendada

Recuento Fotográfico, Cartográfico y otros.



Anexo 1. (Izquierda): Oquedad de 1,5 m de diámetro en Sinkhole al Sur de Alaska, en que se expulsó arena unos 15 metros. (Derecha): Expulsión de arenas a través de grieta, perpendicular a vía férrea en Alaska.



a)



b)

Anexo 2. a) Eyección de arena licuada en grietas de 2 y 3cm de abertura en Utah Ave, próximo al cruce con Holgate St. **b)** Burbujeo de arena en un área próxima al tren Union Pacific.



a)



b)

Anexo 3. a) Grietas y deformaciones del pavimento de estacionamiento vehicular en donde hubieron eyecciones de arenas en lugar conocido como Boing en USA. **b)** Burbujeo de arenas en el borde oriental del lago Sunser, Tumwater



Anexo 4. (Izquierda): Fallos y propagación del terreno donde se asienta la capital al Norte Deschutes Parkway, la cual se mueve en dirección al lago del mismo nombre. **(Derecha):** Inestabilidad del pavimento al Norte Deschutes Parkway



a)

b)

Anexo 5. a) Fallos del terreno en los cimientos de estructura física ubicada al Sur Deschutes Parkway. **b)** Visita de escolares al área de burbujeo de arena en Marathon Park, Capitol Lake.



a)



b)

Anexo 6. a) Fallos del terreno en el Capitol Lake, Central West Deschutes Parkway. **b)** Grietas del suelo paralelo a vía de acceso próxima al Capitol Lake.



a)



b)

Anexo 7. a) Expansión lateral del suelo próximo a terraplén de la línea férrea Parque Maratón. **b)** Expansión lateral del suelo en terraplén de vía de acceso próxima al Capitol Lake, con descenso del terreno de 3 a 4 pies.

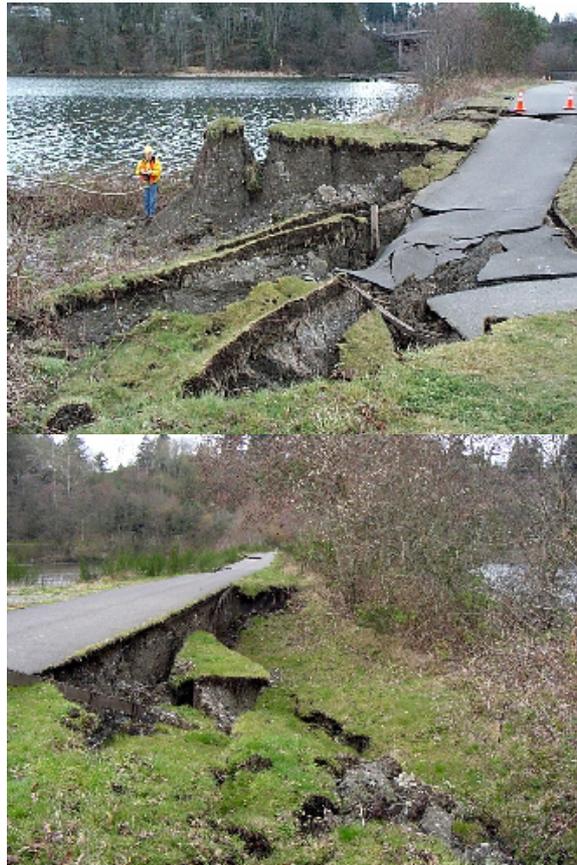


a)



b)

Anexo 8. a) Burbujeo de arena con la separación del suelo en terraplén del Capitol Lake, con escarpe de 150 pies de longitud. **b)** Expansión lateral del suelo en terraplén de vía de acceso próxima al Capitol Lake en vista Este a Oeste.



a)

b)

Anexo 9. a) Fallos del terraplén y rotación de bloques de Oeste a Este del Capitol Lake. **b)** Expansión lateral del suelo en terraplén de vía de acceso próxima al Capitol Lake en vista Este a Oeste.



a)



b)

Anexo 10. a) Burbujeo de arenas a lo largo de grieta de 100m de longitud con desplazamiento vertical de 13 cm, en cuya superficie se asientan estructuras mecánicas de la Terminal 18 de la Isla Harbord en Seattle, Puerto de Seattle. Entre estas grúas. **b)** Abertura circular del pavimento con asentamiento vertical de 6 cm y 20 m de longitud en las proximidades del Crowley Maritime Corporation



a)



b)

Anexo 11. a) Licuefacción del suelo en los cimientos de casas móviles ubicadas al Noreste de Lago Subset. **b)** Zona de desplome principal del terreno a causa de la licuación de los suelos, en el que se presentan burbujeo de las arenas, y desplazamiento vertical del escarpe de 3 pies aproximadamente.

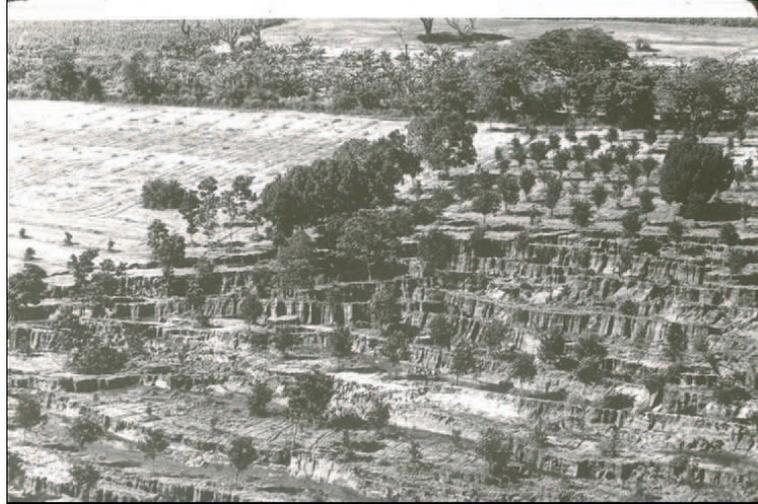


a)

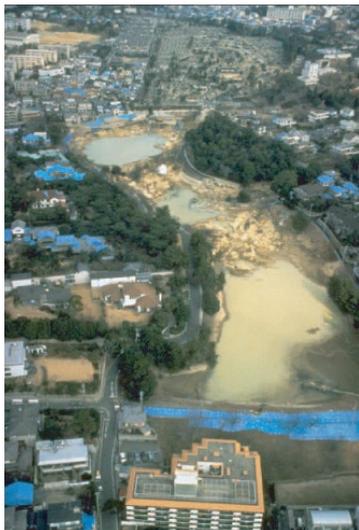


b)

Anexo 12. a) Burbujeo de arenas luego del Terremoto en Assam en 1897 (Fuente: **Susana, 2008**). **b)** Burbujeo de las arenas después del Terremoto de San Francisco en el año 1906 (Fuente: **Susana, 2008**)



Anexo 13. (Izquierda): Burbujeo de arenas luego del Terremoto en Niigata (Japón) en 1964 (Fuente: **Susana, 2008**). (Derecha): Expansión lateral de capas de arenas después del Terremoto de Caracas en el año 1967 (**Fuente: Susana, 2008**)



a)



b)

Anexo 14. a) Complejo de Presa Niteko Earth después del Terremoto de Kobe en el año 1995 (Fuente: **Susana, 2008**). **b)** Presa de San Fernando luego del Terremoto de San Fernando en el año 1971 (**Fuente: Susana, 2008**)



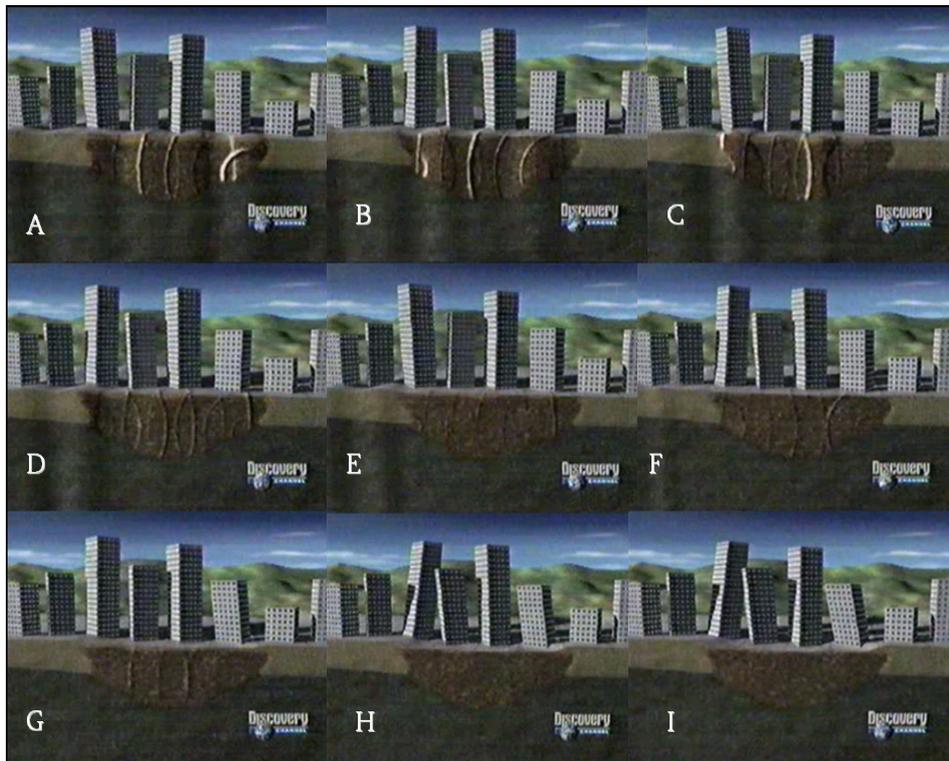
Anexo 15. (Izquierda): Efectos de la licuefacción en el suelo luego del Terremoto de Machaze (Mozambique) en el año 2006 (Fuente: **Susana, 2007**). (Derecha): Vista de la licuefacción en subsuelo de carretera después del Terremoto de Loma Prieta (California) en el año 1989 (**Fuente: Susana, 2008**)



Anexo 16. Mina Mufulira en Zambia luego de terremoto ocurrido en el año 1970



Anexo 17. Roturas producidas por licuefacción en un parque cerca del mar, Golcuk en la ciudad de Kocaeli al Noroeste de Turquía luego de terremoto de 7,4 grados Richter ocurrido el 17 de Agosto de 1999



Anexo 18. Secuencia temporal del proceso de licuefacción del suelo con 0.1 un segundo de desfase para cada ilustración que va desde la letra A hasta la I. Tomado de documental transmisible presentado por Cadena de televisión Discovery Channel.



Anexo 19. Asiento de cimiento de vivienda en un área del Barrio Fátima al Oeste de la Ciudad de Matagalpa (Nicaragua) debido al aumento de presión intersticial indicativo de proceso de licuación del suelo.



Anexo 20. Rotura y asiento de los materiales areno-limoso en los cimientos de Centro de Salud de Murra el 28 de Septiembre de 2008 ejemplo de presencia de suelos licuefactables. Madriz, Nicaragua.



Anexo 21. Masa viscosa de material areno-limoso y arcilla con contenido excesivo de humedad en su interior al pie de rotura curva del terreno en Cerro Los Anices. San José de Cusmapa, Madriz (Nicaragua)



Anexo 22. Asentamiento vertical y desplazamiento horizontal del suelo que conlleva a destrucción total de la edificación de mampostería en un área de Barrio de Fátima al Oeste de Ciudad de Matagalpa. Foto T. Obando 06-08/11/2008



Anexo 23. (Izquierda): Rotura lineal y asentamiento diferencial del terreno, de cuyo interior surge agua combinada con material arenoso fino en un área próxima a restaurante conocida por el nombre de El Boquete (Coordenadas UTM N1314970 – E603722) en Municipio de Diriá (Masaya, Nicaragua). (Derecha): Evidencias física superficiales sugieren la licuación del subsuelo por exceso de humedad en su interior. Cortesía C. Gutiérrez. 14/10/2008



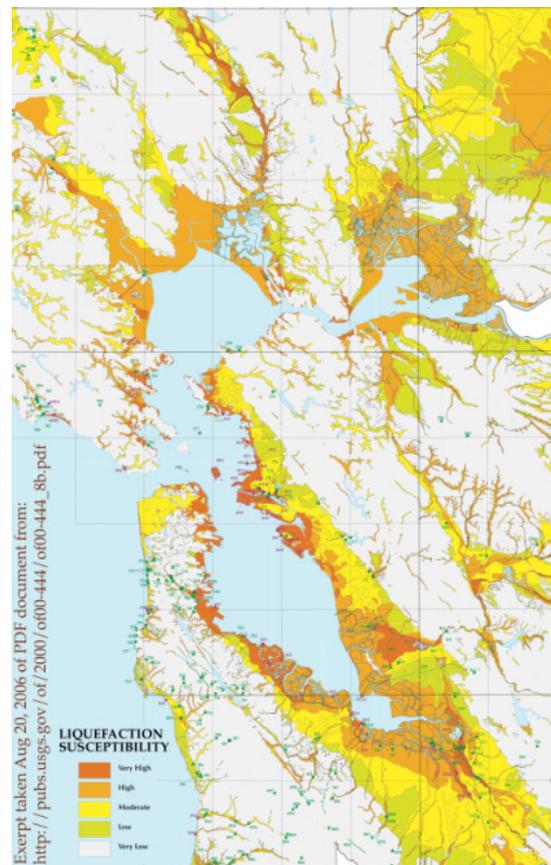
Anexo 24. Salto vertical del terreno menores a 50 cm en suelo donde se asienta restaurantes locales. Se observa pared de terreno exponiendo materiales arenosos de medio a fino. Cortesía C. Gutiérrez. 14/10/2008



a)

b)

Anexo 25. a) Efectos de la licuefacción en el suelo luego del Terremoto de Chuetsu el 03 de Julio del año 2005 b) Volcán de arena en County Clare, Ireland.. (Fuente: <http://es.wikipedia.org>)



Anexo 26. (Izquierda): Domo de lodo espumoso resultante de licuación del suelo. (Derecha): Ejemplar de cartografía de la susceptibilidad por licuefacción del terreno en un área de los USA. Cortesía de Wikipedia



Anexo 27. (Izquierda): Vista superficial de dos volcancitos de lodo circulares en la Península de Taman próximo Taman Stanitsa en Rusia, en cuyo interior brota agua color grisácea semejante pasta viscosa de cemento de construcción. (Derecha): Ejemplar de volcán de lodo de Yagrumito en Monagas a 6 km de Maturín en Venezuela. Cortesía de Wikipedia



Anexo 28. Destrucción del puerto de Niigata, Japón (16/061964) por tsunami después del Terremoto de magnitud de 7.5 en escala Richter, en que resultó 2000 casas destruidas y 28 muertos.



Anexo 28. (Izquierda): Volcanes de arena fueron observados en varios lugares como evidencia de la ocurrencia de licuación como el aeropuerto de Oakland, en las zonas que se encuentran a lo largo del río Salinas y la estación de aterrizaje marítima Moss. (Derecha): a raíz del terremoto de Loma Prieta en E. U. (17/10/1989) con magnitud de 7 grados Richter se generaron volcanes de arena tras la ocurrencia de licuación del suelo.



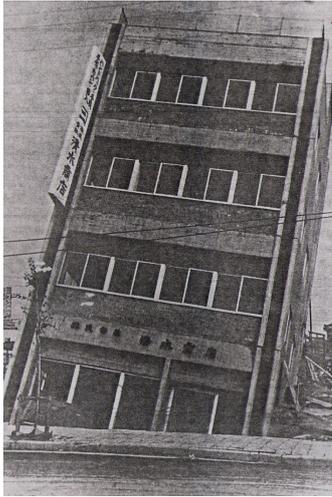
Anexo 29. (Izquierda): Volcanes de arena fueron observados en varios lugares como evidencia de la ocurrencia de licuación como el aeropuerto de Oakland, en las zonas que se encuentran a lo largo del río Salinas y la estación de aterrizaje marítima Moss. (Derecha): a raíz del terremoto de Loma Prieta en E. U. (17/10/1989) con magnitud de 7 grados Richter se generaron volcanes de arena tras la ocurrencia de licuación del suelo.



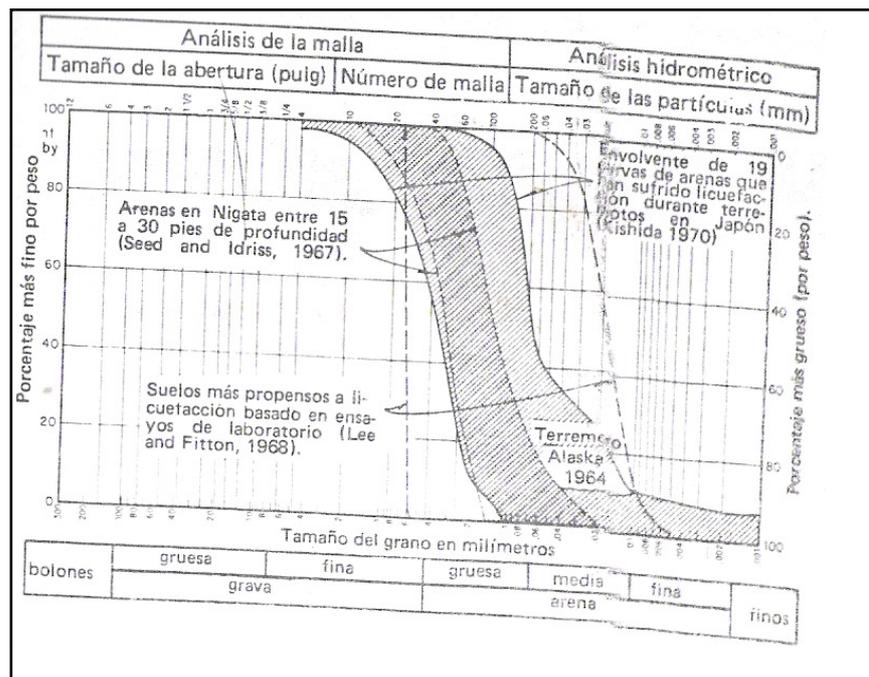
Anexo 30. (Izquierda): Volcanes de arena con grietas abiertas en la llanura aluvial del Río Lacramarca. (Derecha): Resquebrajamiento del terreno en llanura aluvial del Río Lacramarca.



Anexo 31. (Izquierda): Agrietamiento del terreno en la llanura aluvial del Río Lacramarca. (Derecha): Daño en el Puerto de Chimbote. Derrumbe del camino pavimentado. Una y otra imagen fue tomada luego del terremoto en Chimbote, Perú (1970)

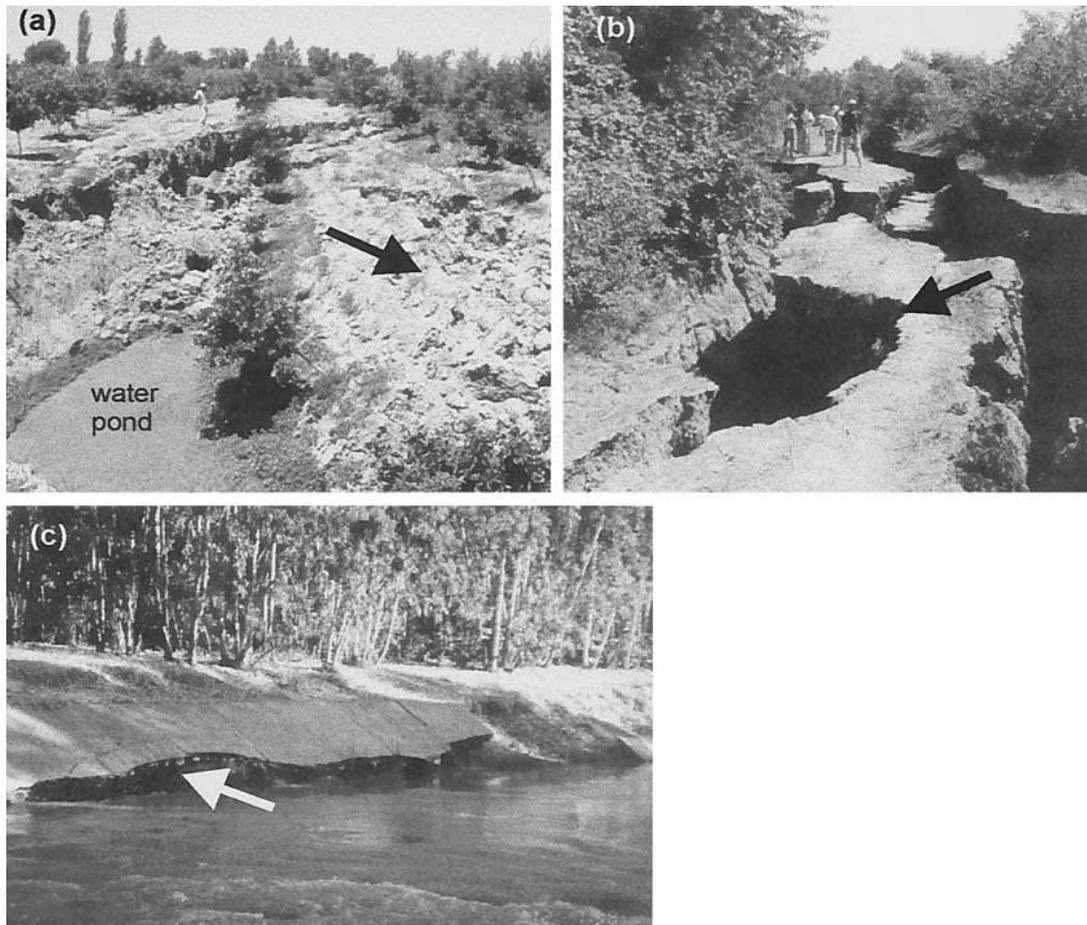


Anexo 32. (Izquierda): Falla de fundación debido a la licuefacción del suelo granular saturado. La consecuencia fue el volcamiento del edificio durante el terremoto de Niigata, Japón, en 1964. (Derecha): Deslizamiento, fractura y asentamiento del terremoto debido al efecto de licuefacción en Turgain Heigh, Anchorage, a consecuencia del terremoto de Alaska en 1964.

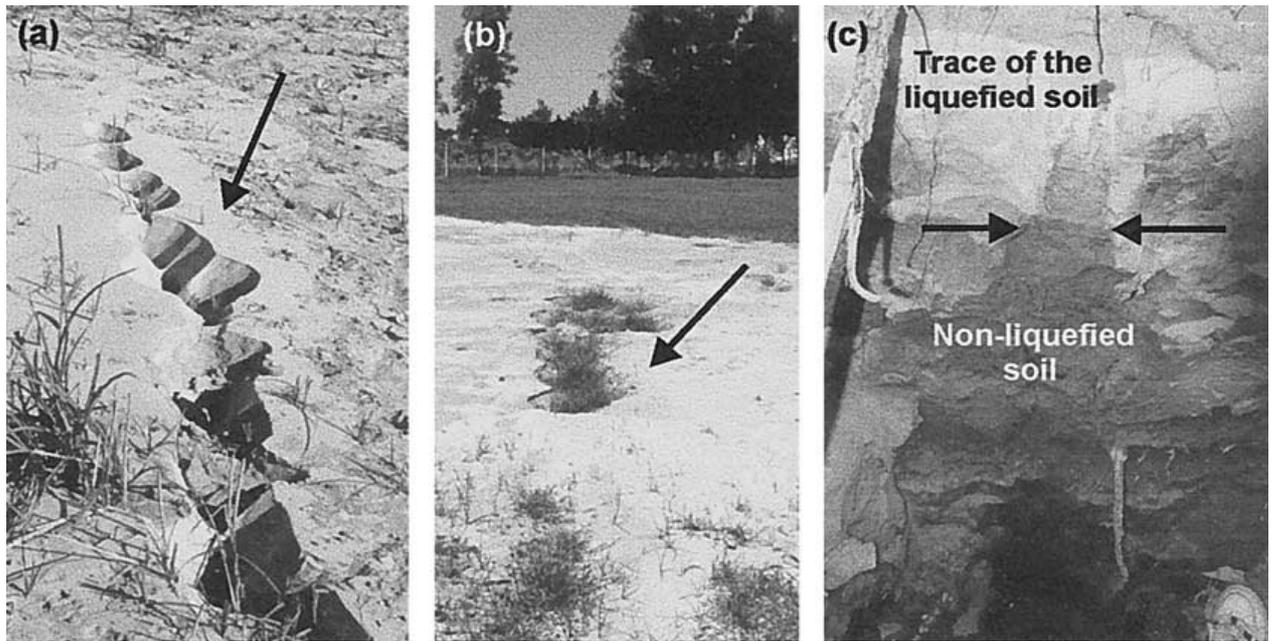




Anexo 34. Efecto de licuación como consecuencia del terremoto Kobe en Japón (1995) Escala 7.2 Ritcher. Tomada de: <http://www.pcivil.gov.ve/terremoto.html>

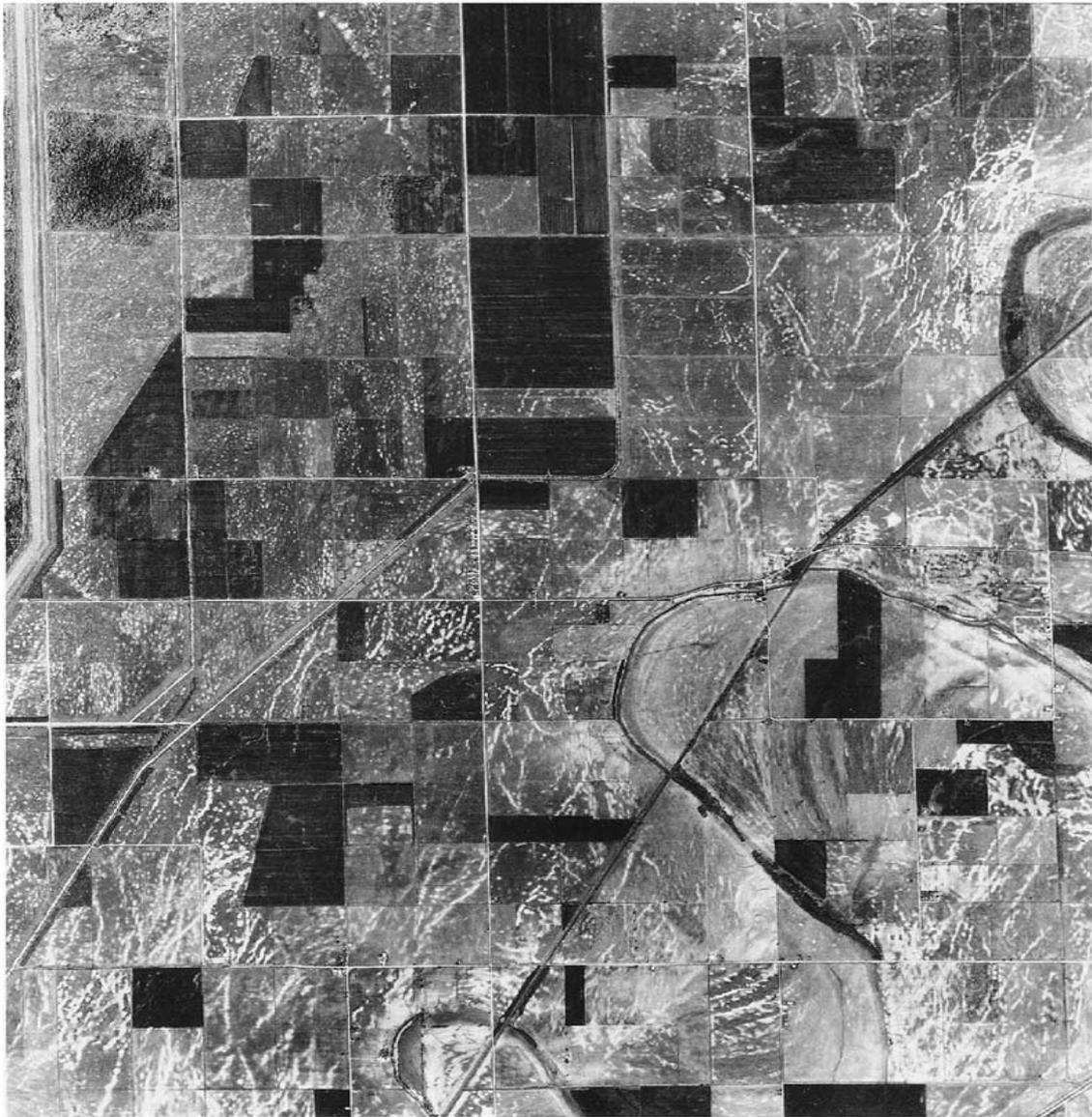


Anexo 35. Vista de rasgos de pendiente de suelos típicos: a) flujo lateral en plantaciones de árboles de limones de Ceyhan River bank, SW of Ceyhan; b) flujo lateral en Ceyhan River cerca de Mercimekli village (north of Ceyhan); c) rasgos de licuefacción al southern bank of a stream near Sirkeli village (SE of Ceyhan). Imágenes tomadas del Bull Eng Geol Env (2000) 59 : 99–118



Anexo 36. a) Fractura y volcanes de arenas próxima a Asmalı bridge. b) Liquefaction in a school yard in Abdiog˘lu village (south of Ceyhan). C) Perfil de subsuelo licuado en River near Mercimekkoy. Imágenes tomadas del Bull Eng Geol Env (2000) 59 : 99–118

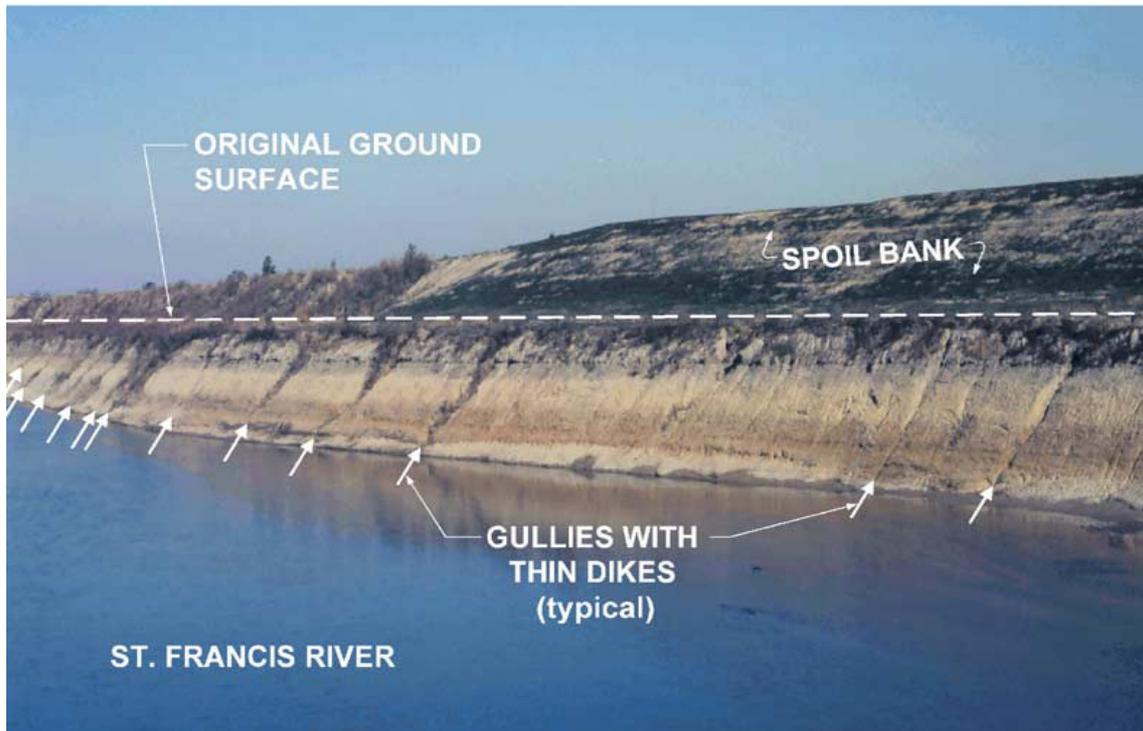
A



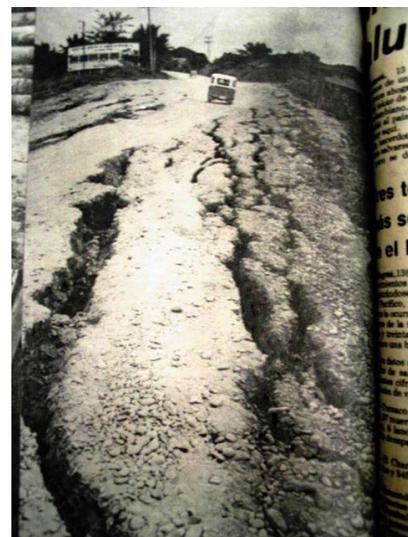
0 1 MILE
0 1 KILOMETER



Anexo 37. Vista aérea de los severos efectos de la licuefacción en New Madrid (Missouri). Se muestran en color blanco rasgos lineales de arenas causados por la expansión lateral del suelo. Se presentan localización fotográfica en el Estado de Arkansas.



Anexo 38. Manifestación de licuefacción inducida en diques debido a oscilación de su superficie a lo largo del Río de San Francisco, Missouri.



(A la izquierda): Licuación del suelo en calle del comercio - Tumaco en Colombia (Diario de Occidente, jueves 13 de Diciembre de 1979). **(A la derecha):** Falla de terraplén de acceso a la isla de Tumaco (Diario de Occidente, jueves 13 de Diciembre de 1979)



Arriba: Casa de bloques de concreto afectada por desplazamiento lateral de las arenas de playas licuadas en el Chimbote (Perú) luego de sismo del 31 de mayo de 1,970. Fuente: A. Hurtado

Abajo: Pequeño graven en arena de playa cerca del hotel Chimú formado por la licuación y desplazamiento lateral de depósito de playa. Fuente: A. Hurtado



Arriba: Volcanes de arenas y agrietamiento del terreno en depósitos aluviales debido a sismo del 31 de mayo de 1,970 en Perú. Fuente: A. Hurtado

Abajo: Daños a buzones de desagüe debido a la licuación. Fuente: A. Hurtado



Anexo 39. Asentamiento y fisuramiento de carretera asfaltada debido a compactación y desplazamiento lateral de depósitos lagunares y de playa. Fuente: A. Hurtado



Cráteres-Llanquihue 1960



Puerto Montt-1960



Pisco-2007



Pisco-2007

Anexo 40. Licuación de suelos al Sur de Chile y sus alrededores luego de terremoto de 9.5 grados Richter. Fuente: Astroza, M. (2,008)



Anexo 41. La Licuación: El Suelo se comporta como líquido. Fuente: Universidad de Colombia (2,007)



Anexo 42. Grieta de licuación del suelo por sismo 7,1 ° Richter del 28 de mayo de 2,009 en la localidad denominada El Progreso en Honduras. Cortesía de YouTube



Anexo 43. Licuación de suelos en Tahuishco, Moyobamba. Sismo de 1,990.

Fuente: <http://www.scribd.com/doc/3082987/dllaboratoriogeotecnico>



Anexo 44. Licuación de Suelos en Asungue, Moyobamba. Sismo de 1990.

Fuente: <http://www.scribd.com/doc/3082987/dllaboratoriogeotecnico>



Anexo 45. Licuación de suelos en Bellapampa, Arequipa (Perú).

Fuente: <http://www.scribd.com/doc/3082987/dllaboratoriogeotecnico>



Anexo 46. Licuación de suelos en Niigata (Japón). Sismo de 1964.

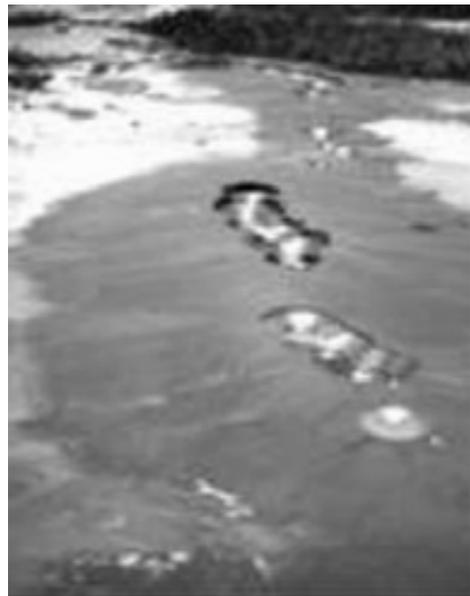
Fuente: <http://www.scribd.com/doc/3082987/dllaboratoriogeotecnico>



Anexo 47. a) Licuación-pérdida de la capacidad de carga. **b)** Licuación del suelo por terremoto de Turquía del 17 de agosto de 1999 con 17 km de profundidad y magnitud de 7,4 grados Richter. Cortesía de C. G. Von Hillebrandt-Andrade de la Red Sísmica de Puerto Rico, UPR-Mayagüez.



a)



b)

Anexo 48. a) Grieta en márgenes del río Tocuyo, estado Lara (Venezuela) tras sismo del 05 de abril del 1975. **b)** Volcanes de arena en Boca del Tocuyo, estado Falcón (Venezuela) tras sismo de 1989, abril y mayo del 30 al 04. **Fuente:** Rodríguez, L.M., Audemard, F. A., y Rodríguez, A. y J. A. (2,006)



a)

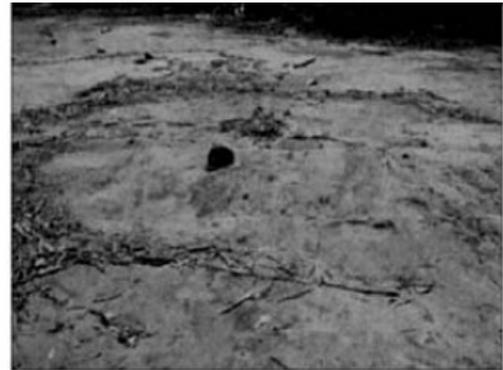


b)

Anexo 49. a) Zona de Güigüe, sur del Lago de Valencia, estado Carabobo (Venezuela), proceso de «lateral spread» por sismo del 29 de julio de 1967. **b)** Playa de Caraballeda, licuación del suelo por sismo del 29 de Julio de 1967. **Fuente:** Rodríguez, L.M., Audemard, F. A., y Rodríguez, A. y J. A. (2,006)



(a)



(b)



(c)



(d)

Anexo 50. Volcanes de arena producto de sismo del 09 de julio de 1,997 en Punta Delgada (Venezuela). (a) y Playa Punta Baja (b); manifestación de «lateral spread» en Camaronera Aquacam en Chiguana (c) y en las piscinas de la Piragua al SE de Laguna Buena Vista (d). **Fuente:** Rodríguez, L.M., Audemard, F. A., y Rodríguez, A. y J. A. (2,006)



Anexo 51:

Arriba: Agrietamiento del terreno cerca del colegio de Tahuishco debido a la licuación del suelo. Fuente: Alva Hurtado, J. E.

Abajo: Daños a la Escuela de Tahuishco debido al asentamiento diferencial y agrietamiento del terreno debido a la licuación. Fuente: Alva Hurtado, J. E.



Anexo 52:

Arriba: Agrietamiento del terreno y eyección del agua en el colegio de Tahuishco durante el sismo de 1,991. Fuente: Alva Hurtado, J. E

Abajo: Agrietamiento del terreno que pasa a través de muro de albañilería en Shango debido a licuación. Fuente: Alva Hurtado, J. E



a)



b)

Anexo 53. a) erupción de volcán de arena a lo largo de fisura de 20 pies de longitud en depósito reciente de Río Pajaro. Obsérvese huellas de cráteres alineados localizados en la fisura, se muestra capa de arena con depósitos cónicos formado por sucesivos emulsiones en arena como por ejemplo, los eventos del terremoto de Loma Prieta en el año 1989. Fuente: USGS, U. S. A. **b)** Cráteres de arenas a lo largo de fisura próxima al Río El Pájaro después del terremoto de Loma Prieta (1989). Fuente: USGS, U. S. A.



Anexo 54:

Arriba: Cráteres de arena en el área de Milpitas luego del terremoto de San Francisco en 1906. Fuente: USGS, U. S. A.

Abajo: Colapso, agrietamiento y hundimiento de edificios y pavimentos por efecto de la licuefacción después del terremoto de San Francisco en la Calle Dore, y Distrito Misión en 1906 (Estados Unidos). Fuente: USGS, U. S. A.



Anexo 55:

Arriba: Daños en cimientos arcillosos de autovía saturado por aguas superficiales en los Estados Unidos.
Fuente: USGS, U. S. A.

Abajo: Agrietamiento y colapso de la sub -base arenosa de carretera en el sector del Río Pájaro por terremoto en Loma Prieta, 1989. Fuente: USGS, U. S. A.



Anexo 56. Volcanes de arenas impresos a lo largo de una fisura superficial

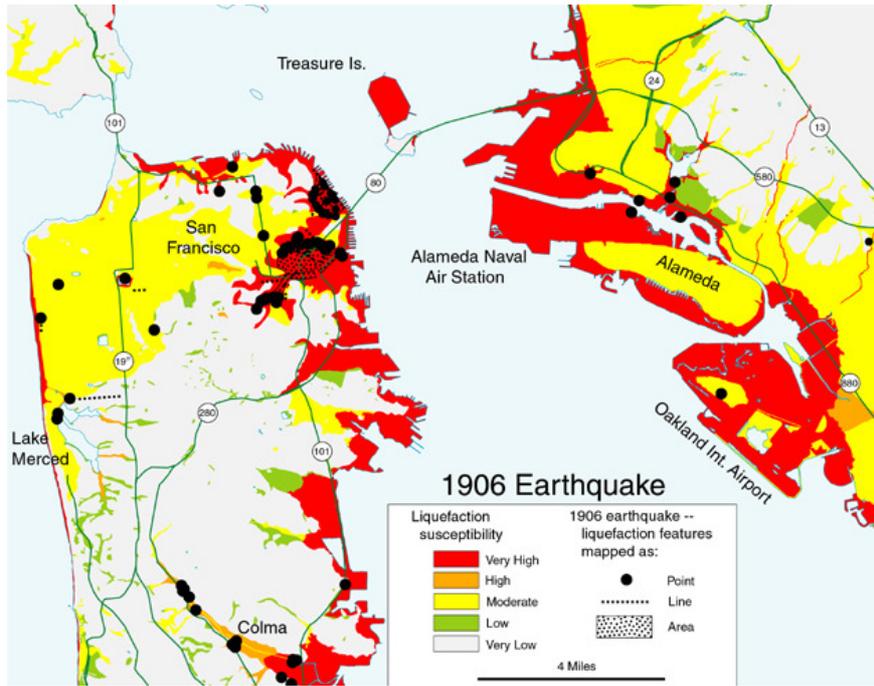
Fuente: USGS, U. S. A.



Anexo 57:

Arriba: Incendio por escape de gas debido a la ruptura de tubería a causa de movimiento lateral del suelo, en Balboa Blvd en Granada Hill después del terremoto de Northridge en el año 1994. Fuente: USGS, U. S. A.

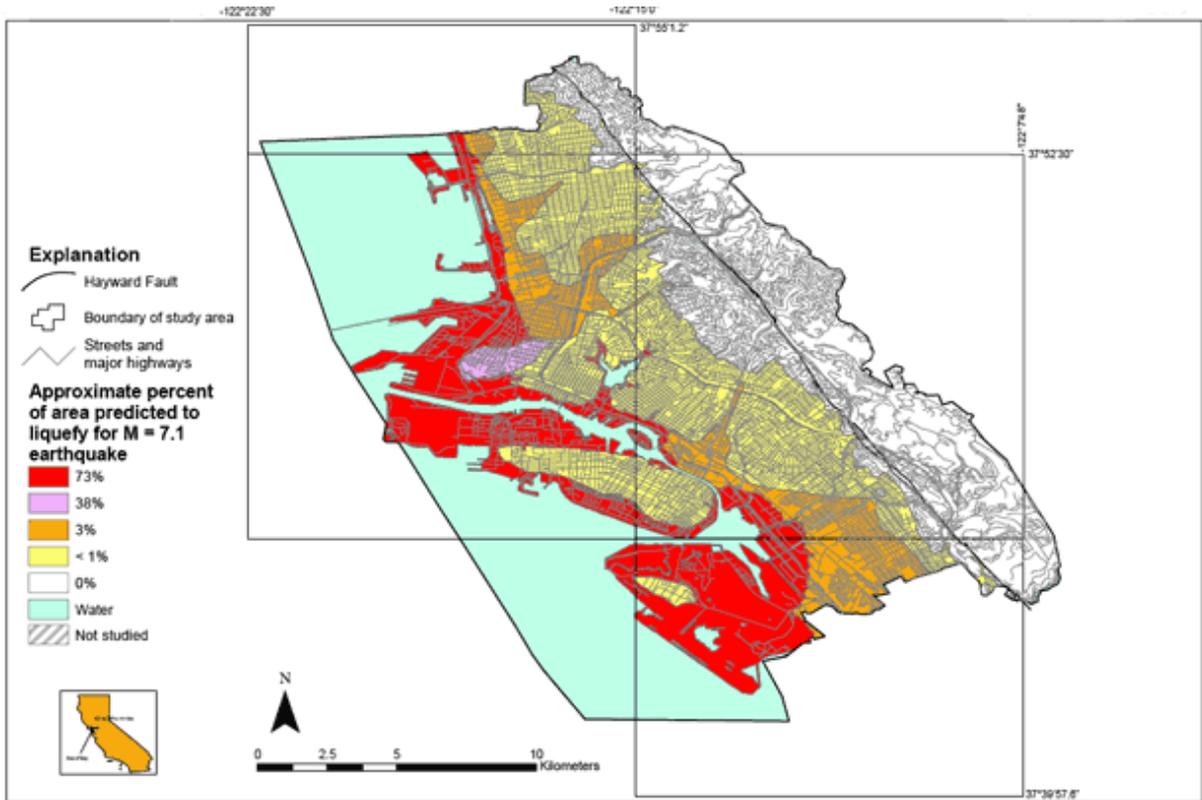
Abajo: Licuación del subsuelo que soporta edificio de mampostería en el Distrito de la Marina luego del terremoto de Loma Prieta en el año 1989. Fuente: USGS, U. S. A.



Anexo 58. Mostrando rasgos de licuefacción producido por terremoto de San Francisco en el año 1906.
Fuente: USGS, U. S. A.



Anexo 59. Mostrando suelos licuables en el Distrito La Marina por terremoto de Loma Prieta en 1989.
Fuente: USGS, U. S. A.



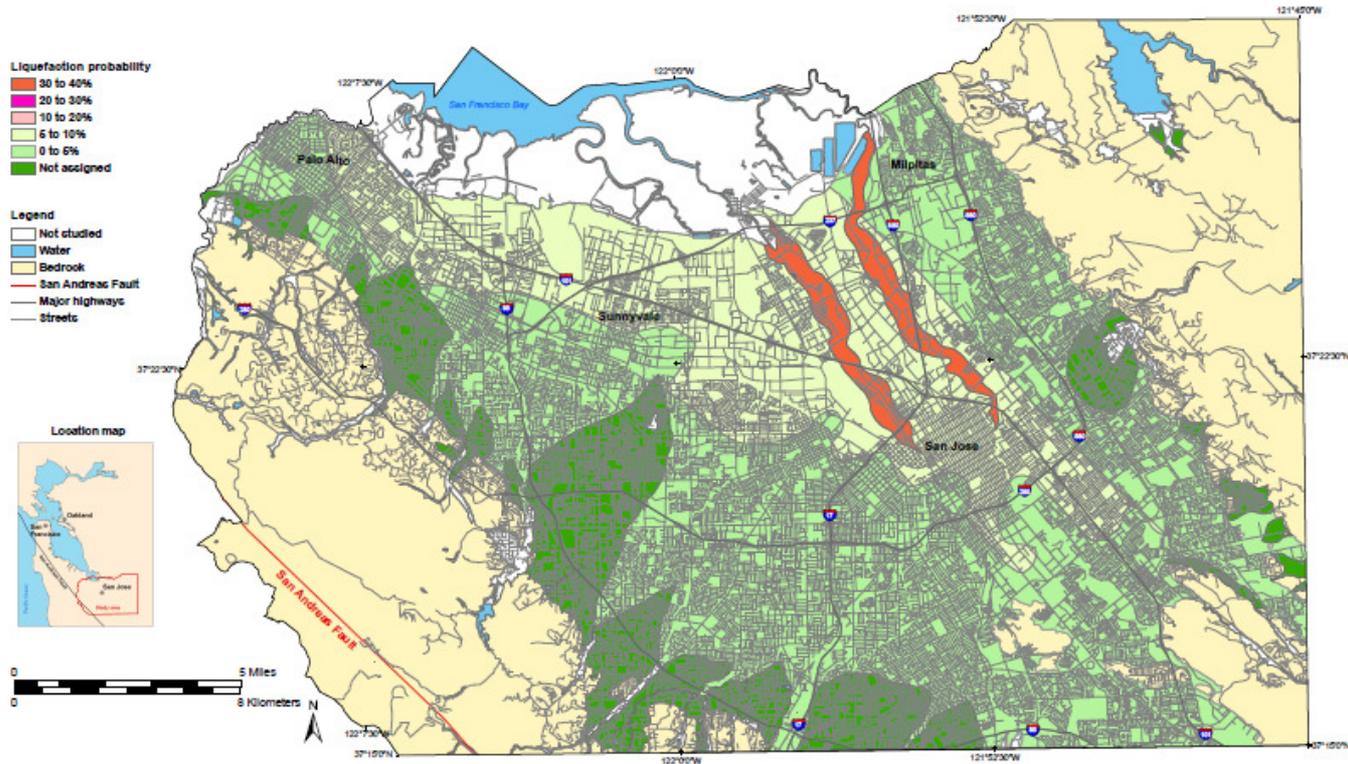
Anexo 60. Mostrando la amenaza por licuefacción en las comunidades de Alameda, Berkeley, Emeryville, Oakland y Piedmont debido a terremoto de magnitud 7,1 en la Falla de Hayward. Obsérvese en el mapa, el porcentaje aproximado de cada zona que se licuan, y las manifestaciones de licuefacción en superficie tales como volcanes de arena y agrietamiento. Licuefacción es un fenómeno causado por el terremoto.



Anexo 61. Daños en casa Unidos por expansión lateral del suelo en las Costas de California de los Estados Cortesía de Thomas L. Holzer.

Liquefaction probability for M7.8 San Andreas Fault earthquake scenario, Santa Clara County, CA

by Thomas L. Holzer, Thomas E. Noce, and Michael J. Bennett



Anexo 62. Mostrando la probabilidad de licuefacción en el norte del Condado de Santa Clara (San Francisco, EE.UU) durante un terremoto de magnitud 7,8 en el norte de los sectores de la Falla de San Andrea. Este terremoto es similar a la del 1906 terremoto de San Francisco. Obsérvese que el mapa indica el porcentaje aproximado de cada zona que se licuan, y las manifestaciones de licuefacción en superficie tales como volcanes de arena y agrietamiento. El mapa incluye las comunidades de San José, Campbell, Cupertino, Los Altos, Los Gatos, Milpitas, Mountain View, Palo Alto, Santa Clara, Saratoga y Sunnyvale.

Bibliografía Recomendada

Obando, T. (2,009). Modelación geomecánica y temporal de la licuefacción en suelos de minas no metálicas. Estudio Caso: Ciudad de Managua (Nicaragua). Tesis Doctoral. Editorial Universidad Internacional de Andalucía UNÍA (Huelva, España). Huelva. 900pág.