

# Índice General

## Capítulo I

Introducción: Conceptos generales, **1**

## Capítulo II

Origen del proceso de licuefacción del suelo, **4**

## Capítulo III

Análisis sobre la condición de un suelo para que sea licuable, **8**

## Capítulo IV

Cálculos planteados en suelos licuables, **11**

## Capítulo V

Estudios desarrollados, **13**

## Capítulo VI

Tipos de procesos licuables, **20**

## Capítulo VII

Efectos de la licuefacción del suelo, **26**

## Capítulo VIII

Bibliografía, **48**

## Introducción

La **licuefacción de suelo** describe el comportamiento de suelos que, estando sujetos a la acción de una fuerza externa (carga), en ciertas circunstancias pasan de un estado sólido a un estado líquido, o adquieren la consistencia de un líquido pesado. Es un tipo de corrimiento, provocado por la inestabilidad de un talud. Es uno de los fenómenos más dramáticos y destructivos y, además, más polémicos y peor explicados que pueden ser inducidos en depósitos por acciones sísmicas.

Es más probable que la licuefacción<sup>1</sup> ocurra en suelos granulados sueltos saturados o moderadamente saturados con un drenaje pobre, tales como arenas sedimentadas o arenas y gravas que contienen vetas de sedimentos impermeables.<sup>2</sup>

Durante el proceso en que actúa la fuerza exterior, por lo general una fuerza cíclica sin drenaje, tal como una carga sísmica, las arenas sueltas tienden a disminuir su volumen, lo cual produce un aumento en la presión de agua en los poros y por lo tanto disminuye la tensión de corte, originando una reducción de la tensión efectiva.

Los suelos más susceptibles a la licuefacción son aquellos formados por depósitos jóvenes (producidos durante el Holoceno, depositados durante los últimos 10,000 años) de arenas y sedimentos de tamaños de partículas similares, en capas de por lo menos más de un metro de espesor, y con un alto contenido de agua (saturadas). Tales depósitos por lo general se presentan en los lechos de ríos, playas, dunas, y áreas donde se han acumulado arenas y sedimentos arrastrados por el viento y/o cursos de agua. Algunos ejemplos de licuefacción son arena movediza, arcillas movedizas, corrientes de turbidez, y licuefacción inducida por terremotos.

Según cuál sea la fracción de vacío inicial, el material del suelo puede responder ante la carga bien en un modo de *ablandamiento inducido por deformación* o alternativamente sufrir *endurecimiento inducido por deformación*. En el caso de suelos del tipo *ablandamiento inducido por deformación*, tales como arenas sueltas, los mismos pueden alcanzar un punto de colapso, tanto en forma monótona o cíclica, si la tensión de corte estática es mayor que tensión de corte estacionaria del suelo. En este caso ocurre *licuefacción de flujo*, en la cual el terreno se deforma con una tensión de corte constante de valor reducido. Si el terreno es del tipo *endurecimiento inducido por deformación*, o sea arenas de densidad moderadas a altas, en general no ocurrirá una licuefacción por flujo. Sin embargo, puede presentarse un *ablandamiento cíclico* a causa de cargas cíclicas sin drenaje, tales como cargas sísmicas. La deformación durante cargas cíclicas dependerá de la densidad del terreno, la magnitud y duración de la carga cíclica, y la magnitud de inversión de la tensión de corte. Si es que ocurre una inversión de la tensión, la tensión de corte efectiva puede ser nula, en cuyo caso puede ocurrir el fenómeno de *licuefacción cíclica*. Si no ocurre inversión de las tensiones, no es posible que la tensión efectiva sea nula, en cuyo caso puede ocurrir el fenómeno de *movilidad cíclica*.<sup>3</sup>

La resistencia de un suelo sin cohesión frente a la licuefacción dependerá de la densidad del terreno, las tensiones de confinamiento, la estructura del terreno (textura, antigüedad y cementación), la magnitud y duración de la carga cíclica, y de si ocurre inversión de la tensión de corte.<sup>4</sup>



Oquedad de 1,5 m de diámetros en Alaska, en donde se expulsó arena unos 15 metros.



a)

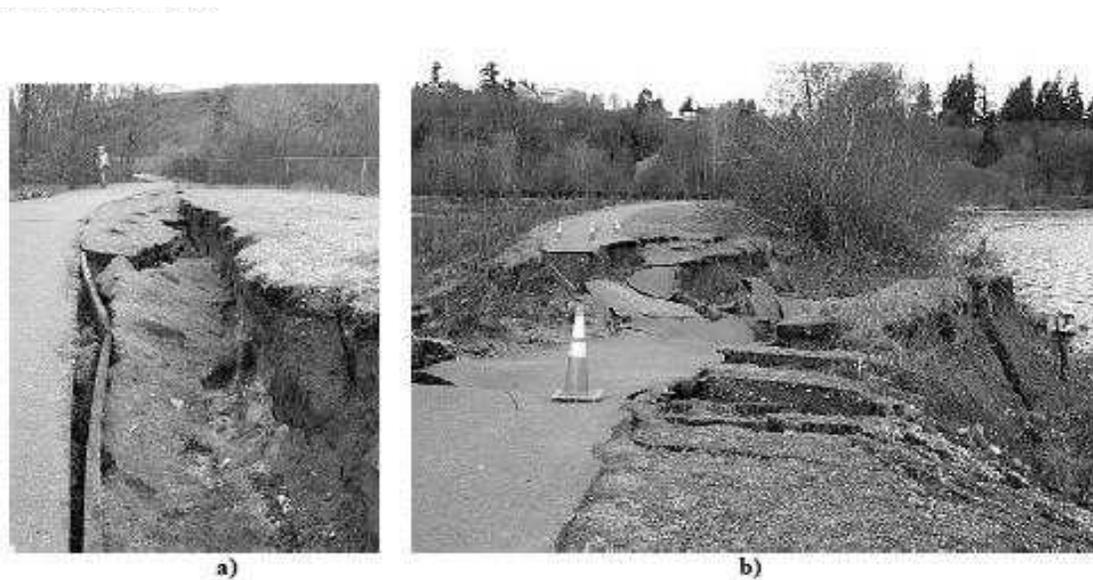


b)

Eyección de arenas licuables en grietas de 2 y 3 cm de abertura. Utah Ave., USA.



Expansión lateral del suelo en el Capitol Lake de los Estados Unidos.



Fotos mostrando el burbujeo de arena con separación del suelo en terraplén del Capitol Lake de los Estados Unidos.

## **Capítulo II.**

### **Origen del Proceso del proceso de licuefacción del suelo**

La licuefacción de los suelos es un proceso observado en situaciones en que la presión de poros es tan elevada que el agregado de partículas pierde toda la resistencia al corte y el terreno su capacidad soportante. Se producen en suelos granulares:

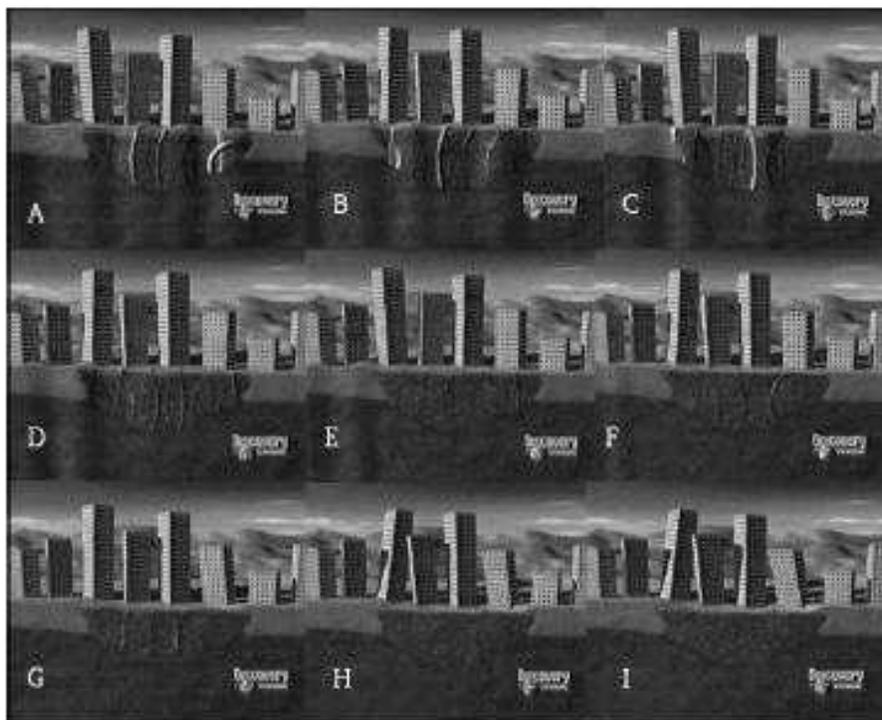
- Arenas limosas saturadas
- Arenas muy finas redondeadas (*loess*)
- Arenas limpias
- Rellenos mineros

Debido a la gran cantidad de agua intersticial que presentan, las presiones intersticiales son tan elevadas que un seísmo, o una carga dinámica, o la elevación del nivel freático, pueden aumentarlas, llegando a anular las tensiones efectivas. Esto motiva que las tensiones tangenciales se anulen, comportándose el terreno como un «pseudolíquido».

Si bien los efectos de la licuefacción han sido comprendidos desde hace mucho tiempo, los ingenieros y sismólogos han tenido un recordatorio sobre su relevancia a partir de los terremotos de 1964 ocurridos en Niigata, Japón y Alaska. El fenómeno también jugó un papel muy importante en la destrucción del Distrito de la Marina en San Francisco durante el terremoto de Loma Prieta ocurrido en 1989.



Rotura producto de la licuación del suelo en Turquía luego de terremoto de 7,4 grados Richter ocurrido el 17 de agosto de 1999.



Etapas secuenciales del proceso de licuefacción, desde la letra A hasta la I. Cortesía de **Discovery Channel**.



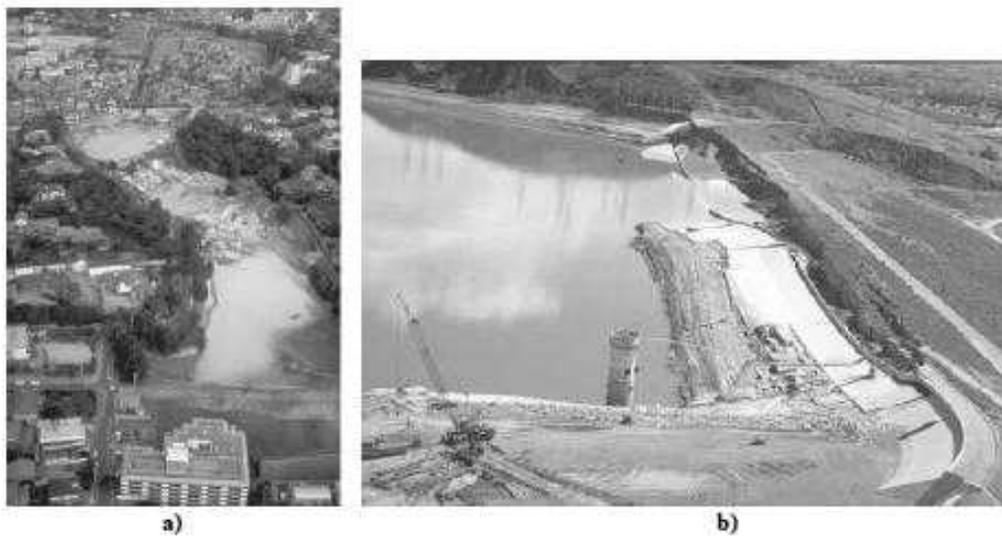
Licuación, burbujeo y desplazamiento vertical del suelo en terrenos arenosos sujetos a descargas sísmicas.



Burbujeo de arenas por terremoto en Assam en 1897, y Terremoto en San Francisco en el año 1906



Efectos del Terremoto de Niiagata (Japón, 1964), y Terremoto de Caracas en el año 1967



Efectos licuables del Terremoto de Kobe, 1995, y Terremoto en San Fernando en el año 1971

## Capítulo III.

### Análisis sobre la Condición de un suelo para que sea licuable

Seed and Idriss (1982) consideran que un suelo puede licuar si:

- El porcentaje en peso de partículas  $<0,005$  mm es menor del 15%
- $LL < 35$
- $w/LL > 0,9$

A este criterio se le conoció como criterio chino.



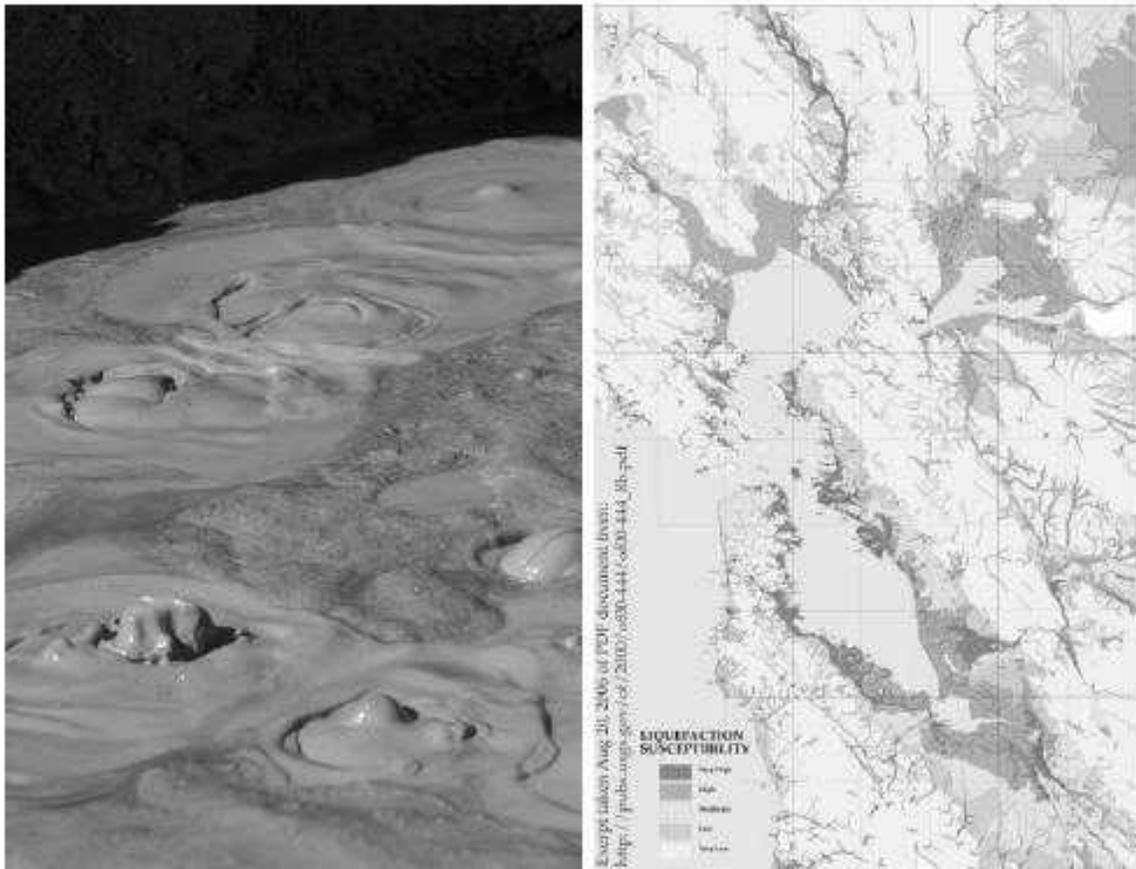
Efectos del terremoto de Mozambique, 2006. Y terremoto de Loma Prieta (California, 1989).



Licuación del suelo en Zambia, 1970.



Efectos de la licuefacción sísmica, volcanes de arenas y otros.  
Cortesía de **Wikipedia**.



Domo de lodo producto de la licuación del suelo en los USA, y su cartografía.



**Barrio Fátima en Matagalpa (Nicaragua).** Licuefacción de suelo debido a la alta presión intersticial.

## Capítulo IV.

### Cálculos planteados en suelos licuables

Los estudios de la licuefacción sísmica de Seed (1966) llevaron a postular las siguientes condiciones:

- Si la presión de poros inducida por la acción dinámica o cíclica del terremoto alcanza el valor de la presión de confinamiento, el suelo alcanzará el estado de *licuefacción inicial*
- Si la arena sometida a acción cíclica alcanza el 20% de deformación se alcanzará la *licuefacción total*.



Evidencia superficial de procesos licuables en Terremoto de Loma Prieta de E.U., 1989.



Efectos destructivos de la licuefacción a las obras construidas por el ser humano. Loma Prieta, E.U., 1989



Desplazamiento lateral de las arenas por sismos en Perú, 1970.

## **Capítulo V.**

### **Estudios desarrollados**

El limitado conocimiento relativo a este fenómeno se debe en gran parte a dos factores:

- Dificultad en observar sus características en condiciones reales.
- Complejidad del fenómeno, pues para además de ser el resultado de una acción sísmica de carácter altamente variable, induce en el suelo un comportamiento fuertemente no lineal e histerético, con fuerte degradación de las características mecánicas del suelo de cada ciclo determinada por la generación de presiones neutras en la muestra bajo acción sísmica.

Uno de los problemas fundamentales es el conocimiento rudimentario sobre los mecanismos de rotura y deformación asociados al fenómeno de la licuefacción, lo que limita el uso de ensayos elementales para estudiarlo.

- No existe una definición única para el fenómeno de la licuefacción.
- Una definición general y cualitativa para este fenómeno, capaz de producir grandes deformaciones en el terreno y de las estructuras en él existentes, asociado a gran degradación de las características mecánicas de los suelos granulares debido a la generación o migración del exceso de presión neutra resultante de la acción cíclica producida por sismos en condiciones por lo menos parcialmente no drenadas



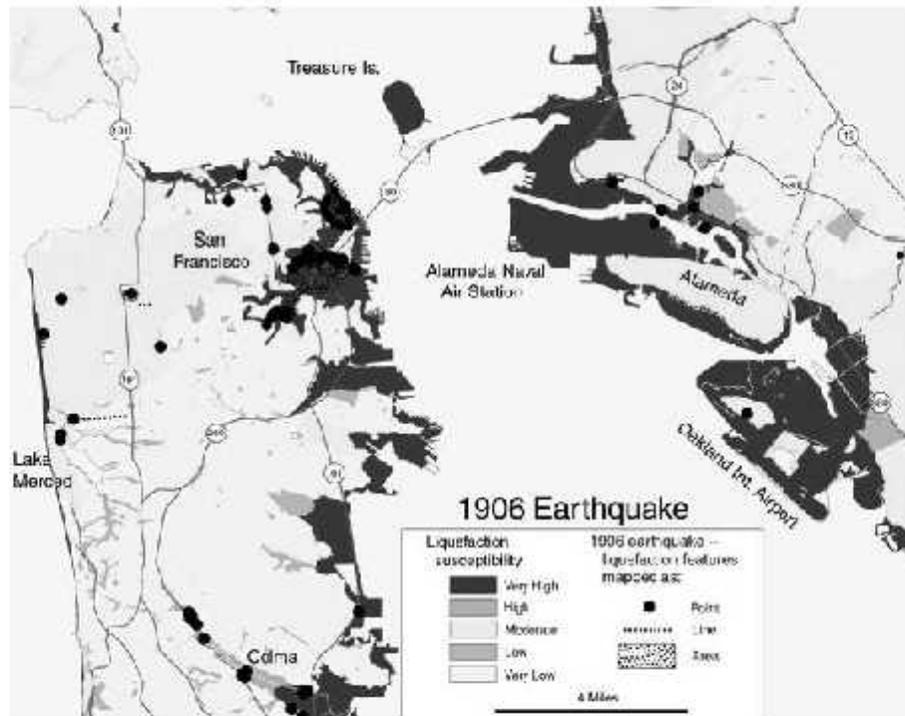
Rotura y asiento de suelos arenos limoso en Murra, 2008. Madriz, Nicaragua



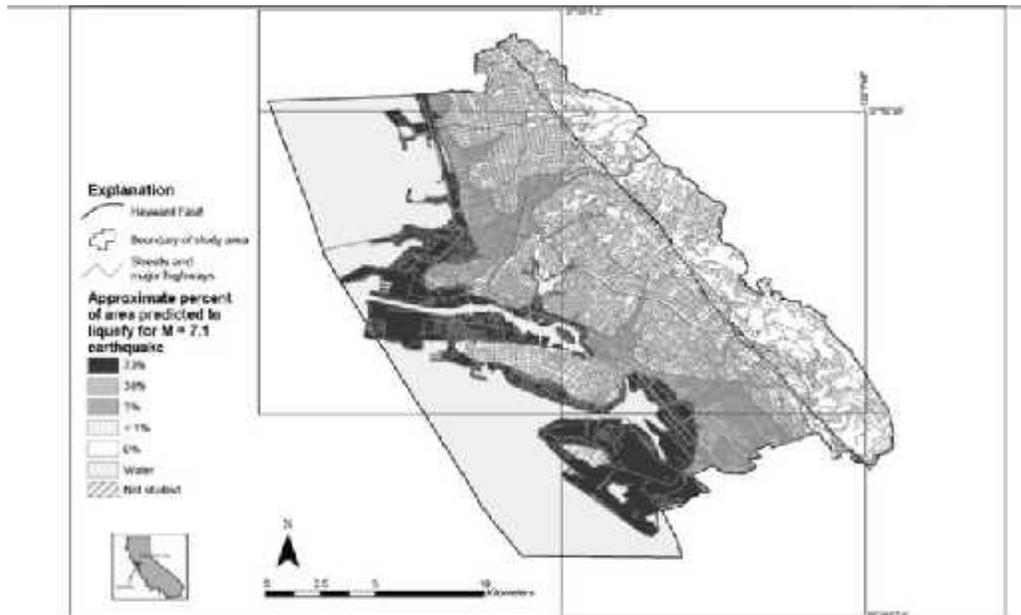
Rotura curva del terreno en Cerro Los Anices, San José de Cusmapa, Madriz, Nicaragua.

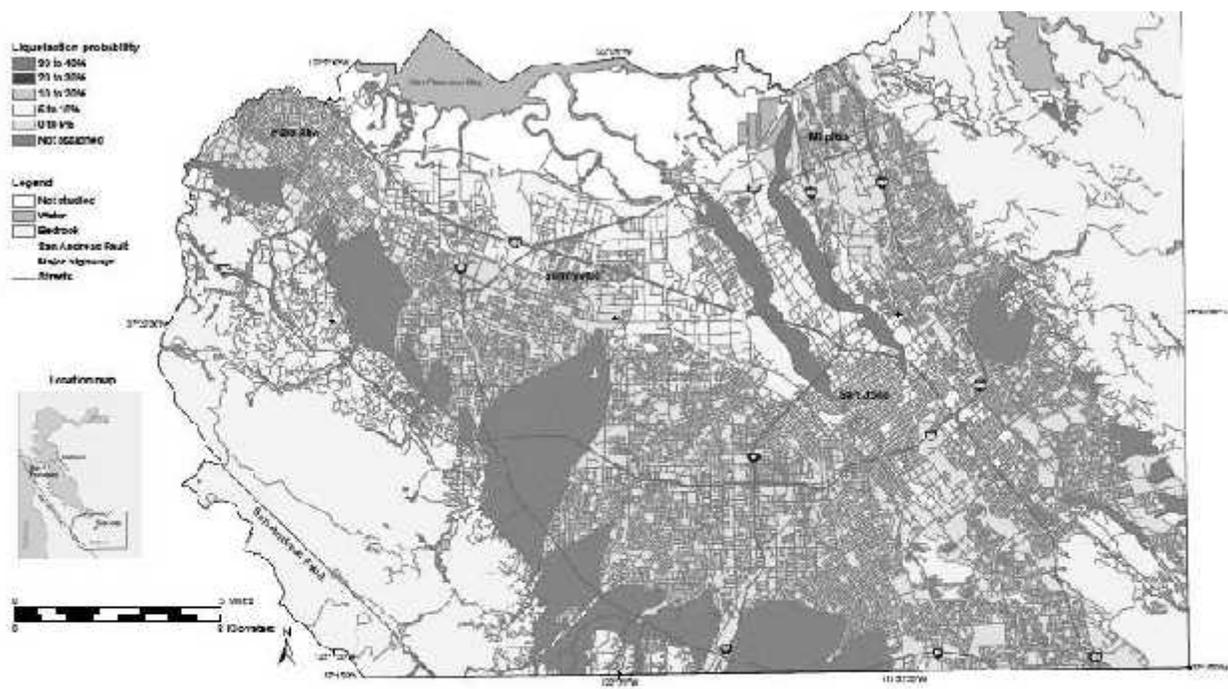


Asentamiento diferencial del suelo y desplazamiento horizontal del terreno.  
Barrio Fátima, Matagalpa, Nicaragua. Foto. T. Obando, 2008

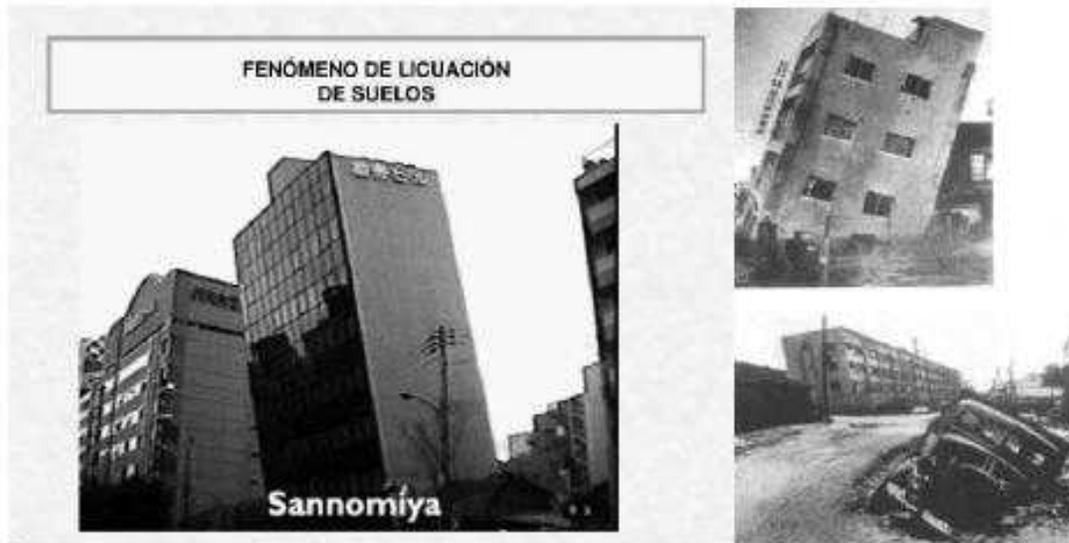


Rasgos superficiales de licuación del suelo. San Francisco, USA, 1906.

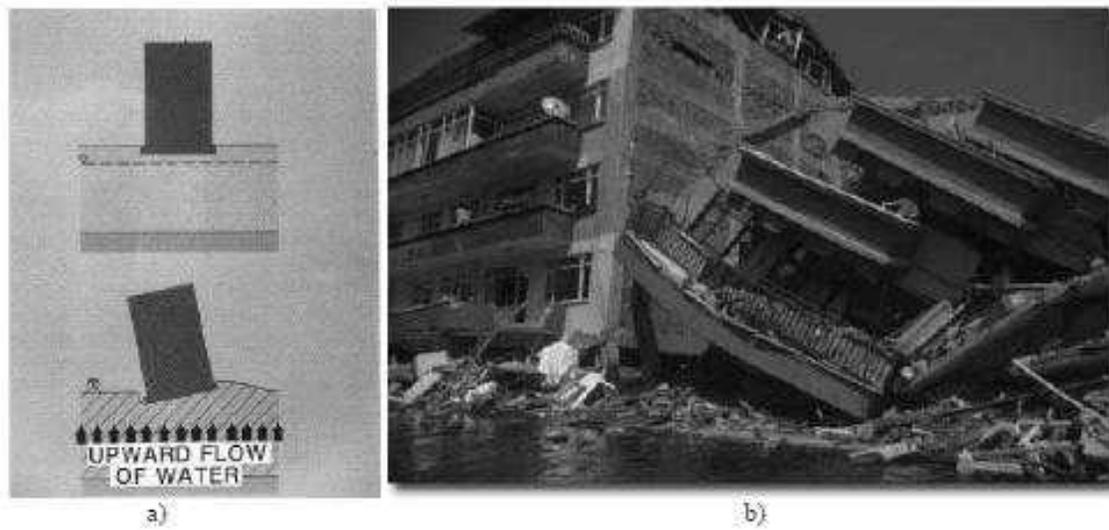




Cartografía de la licuación del suelo en San Francisco, EE.UU., 1906



Licuación del suelo. Niiagata (Japón, 1964).



Licuación del suelo en Turquía, 1999.



Asentamiento diferencial del suelo en carreteras próximas a zonas lacustres



Cráteres-Llanquihue 1960



Puerto Montt-1960



Pisco-2007



Pisco-2007

Licueción del suelo en Chile. 2008

## Capítulo VI

### Tipos de procesos licuables

#### Arenas movedizas

Las arenas movedizas se producen cuando una zona de arenas sueltas que está saturada con agua es agitada. Cuando el agua que se encuentra atrapada en el bloque de arena no puede escapar, se licúa el suelo y pierde la capacidad de soportar pesos. La arena movediza se puede formar por un flujo en ascenso de aguas subterráneas (como el que proviene de un manantial natural), o a causa de terremotos. En el caso de un flujo de agua subterráneo, la fuerza producida por el flujo de agua se contrapone a la fuerza de gravedad, produciendo la flotación de los granos de la arena. En el caso de terremotos, la fuerza de la sacudida puede aumentar la presión de aguas subterráneas próximas a la superficie, y en el proceso licuar los depósitos de arena y sedimentos de la superficie. En ambos casos, la superficie que se licúa pierde resistencia, lo que desestabiliza a los edificios u otras estructuras que se encuentran en la superficie produciendo se inclinen o derrumben. Los sedimentos saturados pueden parecer sumamente sólidos hasta el instante en que un cambio en la presión del suelo o una sacudida disparan el proceso de licuefacción. dicho proceso hace que la arena forme una suspensión en la cual cada grano pasa a estar rodeado por una delgada película de agua. Esta configuración le otorga a las arenas movedizas, y otros sedimentos licuados una textura esponjosa similar a la consistencia de un fluido. Los objetos que se encuentran envueltos en arenas movedizas se hundirán hasta el nivel en el cual el peso del objeto se iguale con el peso desplazado de la mezcla de arena y agua y el objeto "flote" de acuerdo al principio de Arquímedes.

#### Arcillas rápidas

Las llamadas arcillas rápidas o arcillas marinas, también conocidas en Canadá como *arcillas de Leda* o *quick clays*, es un tipo particular de arcilla sumamente sensible, que al ser perturbada posee la tendencia a cambiar su estado desde uno relativamente rígido a un estado líquido. En reposo, las arcillas rápidas parecen un gel hidrosaturado. Sin embargo, si se toma un bloque de arcilla y se le golpea, instantáneamente toma la constitución de un fluido, mediante un proceso conocido como **licuefacción espontánea**. Las arcillas rápidas se comportan así porque, aunque son sólidas, tienen un altísimo contenido de agua, que puede ser de hasta un 80%. La arcilla retiene una estructura sólida a pesar de su alto contenido acuoso, porque la tensión superficial del agua mantiene "escamas" de arcilla unidas en una delicada estructura. Cuando la estructura se quiebra por un golpe, la arcilla cambia su estado y se transforma en un fluido.

- Las arcillas rápidas se encuentran por lo general en regiones ubicadas en el norte del hemisferio norte en países tales como Rusia, Canadá, Alaska en Estados Unidos,

Noruega, Suecia, y Finlandia, todas estas zonas fueron cubiertas por glaciares durante el Pleistoceno.

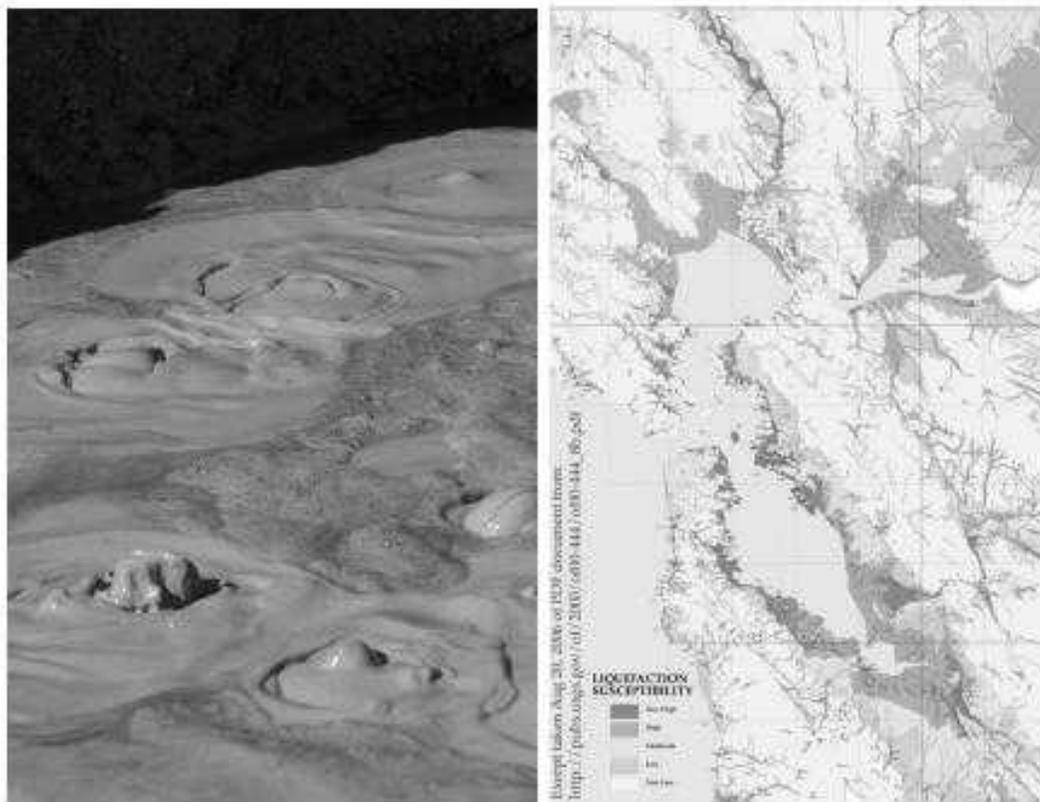
- Las arcillas rápidas han sido la causa subyacente de muchos corrimientos de tierra mortales. Sólo en Canadá, se le ha asociado con más de 250 movimientos de tierra identificados. Algunos de ellos son antiguos, y pudieron haber sido confundidos con sismos. [2]

### **Corrientes de turbidez**

Los corrimientos de tierra submarinos son corrientes de turbidez y consisten del desplazamiento de sedimentos saturados por el agua que fluyen hacia las profundidades marinas. Un ejemplo de este fenómeno tuvo lugar durante el Terremoto de Grand Banks de 1929 que ocurrió en la plataforma continental cerca de la costa de Terranova. A los pocos minutos de ocurrido, varios cables submarinos empezaron a romperse en secuencia, en puntos cada vez más alejados a lo largo del talúd, y alejándose del epicentro. En total se partieron doce cables en un total de 28 lugares. Los tiempos exactos y sitios en que se produjo cada rotura fueron determinados con precisión. Los investigadores sugirieron que un deslizamiento submarino o corriente de turbidez de sedimentos saturados por el agua que se desplazó a una velocidad de 100 km/h y se propagó hacia abajo por la plataforma continental a lo largo de un recorrido de 600 km, partiendo los cables a su paso.<sup>6</sup>



Efectos de la licuación del suelo. Cortesía de Wikipedia.



Domo de lodo, y cartografía de suelos licuables. Cortesía de Wikipedia.



Asentamiento diferencial del suelo en el Boquete, Diría, Masaya, Nicaragua. 2008



Asentamiento del terreno en Diría, Masaya. 2008.



a)



b)

Volcanes de arenas en Loma Prieta (San Francisco, 1989)



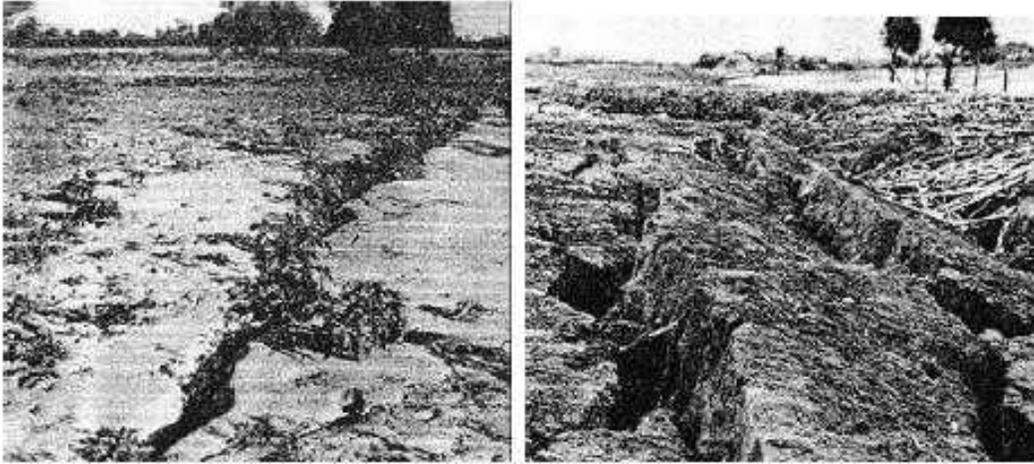
Cráteres de arena, y efectos en construcciones creadas por el ser humano. San Francisco, Estados Unidos. 1906.

## **Capítulo VII**

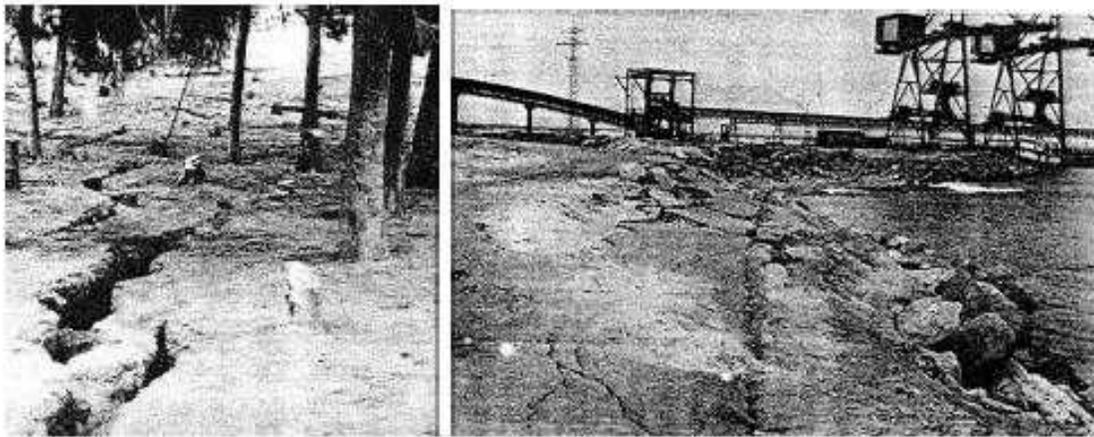
### **Efectos de la licuefacción del suelo.**

La licuefacción puede causar daño a estructuras en varias maneras.<sup>7</sup> Los edificios cuyos cimientos están directamente en la arena que se licúa experimentan una pérdida de apoyo repentina, que resulta en el asentamiento drástico (asentamiento absoluto) e irregular (asentamiento diferencial) del edificio. La licuefacción causa asentamientos irregulares en el área licuada, y esto puede dañar los edificios y romper los cables de servicio público subterráneos donde los asentamientos diferenciales son grandes. Las tuberías de distribución de agua y gas y otros ductos pueden flotar y desplazarse hacia la superficie. Forúnculos de arena pueden entrar en erupción en los edificios a través de bocas de conexión de servicios, con lo que el agua puede ingresar y dañar la estructura o sus sistemas eléctricos. La licuefacción del suelo también puede causar colapsos de plataformas. Las áreas de recuperación ambiental de suelo (rellenos sanitarios) son propensas a la licuefacción porque muchas son recuperadas con relleno hidráulico, y a menudo se asientan sobre suelos blandos que pueden amplificar la sacudida de los terremotos. La licuefacción del suelo fue un factor importante en la destrucción del Distrito Marina de San Francisco durante el terremoto de Loma Prieta en 1989.

La mitigación del daño potencial debido a la licuefacción forma parte del campo de la ingeniería geotécnica.



Volcanes de arena en Perú, 1970



Fisuras, y grietas en Perú, 1970.



Volcanes de lodo circulares en Rusia. Cortesía Wikipedia.



Efectos del terremoto de Niigata, Japón. 1964



Daños en cimientos arcillosos de los Estados Unidos. .



Volcanes de arenas a lo largo de fisura superficial. Cortesía USGS, USA

## **7.1. Algunos elementos relacionados**

### **Tixotropía: Definición.**

Tixotropía es la propiedad de algunos fluidos no newtonianos y pseudoplásticos que muestran un cambio de su viscosidad en el tiempo; cuanto más se someta el fluido a esfuerzos de cizalla, más disminuye su viscosidad.

Un fluido tixotrópico es un fluido que tarda un tiempo finito en alcanzar una viscosidad de equilibrio cuando hay un cambio instantáneo en el ritmo de cizalla.

Sin embargo no existe una definición universal; el término a veces se aplica a los fluidos pseudoplásticos que no muestran una relación viscosidad/tiempo.

Es importante tener en cuenta la diferencia entre un fluido tixotrópico y otro pseudoplástico.

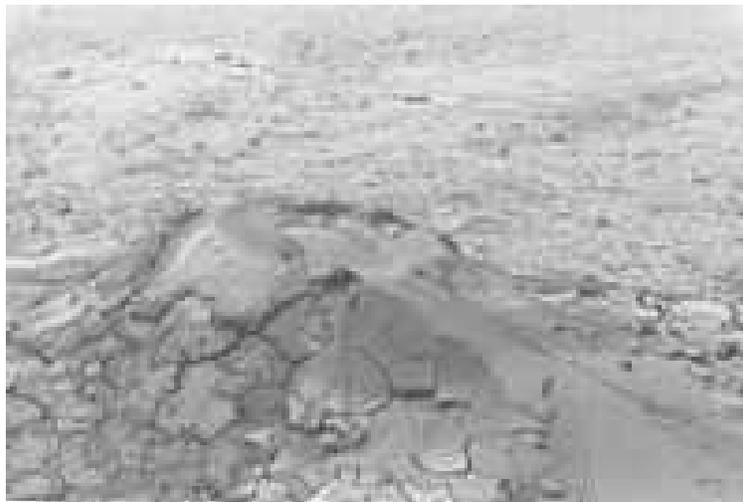
El primero muestra una disminución de la viscosidad a lo largo del tiempo a una velocidad de corte constante, mientras que la última muestra esta disminución al aumentar la velocidad de corte. A los fluidos que exhiben la propiedad opuesta, en la que la agitación a lo largo del tiempo provoca la solidificación, se les llama reopéticos, a veces anti-tixotrópicos, y son mucho menos comunes.

### **Ejemplos y aplicaciones**

Algunos geles y coloides se consideran materiales tixotrópicos, pues muestran una forma estable en reposo y se tornan fluidos al ser agitados. Variedades modernas de recubrimientos alcalinos, de látex y pinturas son materiales por lo general tixotrópicos que no caen de la brocha del pintor pero se pueden aplicar fácil y uniformemente pues el gel se licúa cuando se aplica. La salsa de tomate, los yogures y las arcillas son frecuentemente tixotrópicos.

### **Volcán de lodo**

Un volcán de lodo es una forma menor del relieve formada por un cráter y un cono volcánico de poca altura pero bastante extenso debido a la escasa pendiente y cuyo origen no está relacionado con las verdaderas formaciones volcánicas salvo alguna que otra excepción, como sucede en Wyoming (Estados Unidos), sino que se deben a emanaciones de gas relacionadas con los yacimientos petroleros. Pueden verse en Venezuela, Colombia, en casi todos los países petroleros y en algunos países del sur de Europa (Italia, Rumania), en el sureste asiático y en otras partes. La mayor concentración de este tipo de volcanes se encuentra en los alrededores del mar Caspio: aproximadamente, unos 300 (entre más de 700 conocidos en todo el mundo), se encuentran en esta zona. En algunos países, como sucede en Italia, reciben el nombre de salsas o macalubas.



Volcán de lodo incipiente causado por descarga sísmica superficial.

### **🌈 Características de los volcanes de lodo**

En este tipo de volcanes, el ascenso de gases emanados de depósitos de petróleo a menudo poco profundos eleva una arcilla sumamente hidratada la cual llega a formar charcas o lagunas donde se ve la emanación de las burbujas.

Los gases emanados en los volcanes de lodo están formados principalmente por hidrocarburos gaseosos y de otro tipo como metano y anhídrido carbónico, así como gases sulfurosos en menor proporción. La arcilla también contiene ciertas cantidades de hidrocarburos sólidos y proporciones de sal bastante importantes.

La distinta composición de los materiales eyectados da origen a una amplia gama de tipos de volcanes de fango. Por ejemplo, si abundan las lentas emisiones de hidrocarburos sólidos y líquidos y escasa proporción de arcilla se producen lagos de asfalto, como el de Guanoco, en la parte oriental de Venezuela, que es el más grande depósito de asfalto natural del mundo; o el de La Brea, en Trinidad, que es el segundo en importancia a escala mundial.

Puede encontrarse una gran cantidad de gases asociados en las erupciones de los volcanes de lodo (helio, anhídrido carbónico, metano, etc.). Si entre los gases predominan los que emiten combustibles con características similares al gasóleo, pueden producirse llamas por la combustión espontánea del gas a presión al contacto con el aire (en forma similar al fenómeno producido por los fuegos fatuos).

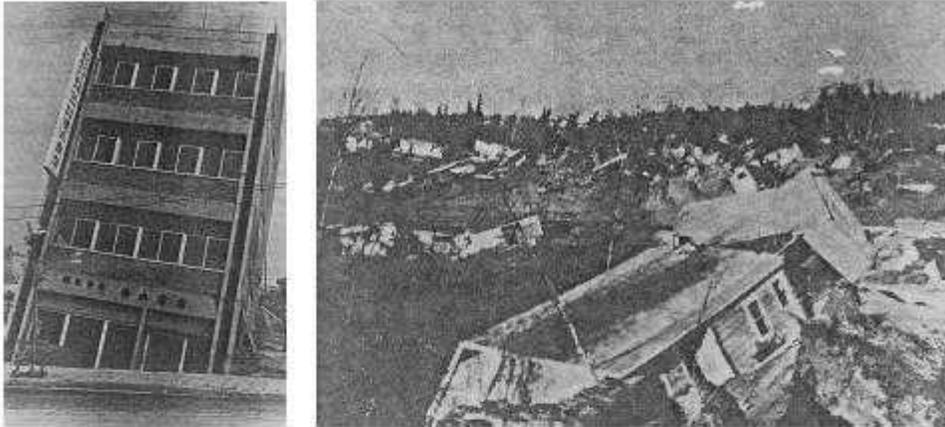
En estos volcanes pueden presentarse explosiones e incendios por la enorme presión que pueden llegar a soportar: recordemos que el combustible para los motores diésel se inflama en una combustión espontánea cuando se somete para la combustión espontánea puede producirse después de la deshidratación progresiva del lodo al contacto con la superficie, con lo cual se puede llegar a sellar la salida del gas y, al aumentar progresivamente la presión, entrar en erupción la cual, aunque no es tan violenta como en las erupciones volcánicas propiamente dichas, no deja de tener cierto peligro, aunque nunca se han registrado problemas graves en este sentido. Un caso especial de volcán de lodo es el provocado por alguna explotación petrolera, como sucedió en la parte oriental de la isla de Java en mayo del año 2006, cuando fue la inyección de gas y agua durante una exploración la que le abrió una especie de válvula de escape a la salida de una enorme cantidad de lodo empujado por dicho gas tal como aparece relatado en el número correspondiente a enero del 2008 en la revista *National Geographic* en su versión original en inglés. En esta erupción, el lodo invadió 12 aldeas y obligó a la evacuación de unas 10.000 familias.<sup>1</sup>

Si la arcilla que sube se encuentra poco hidratada, los conos volcánicos suelen alcanzar cierta altura, como puede verse en el volcán de El Totumo, en Colombia. En cambio, si se trata de un lodo muy líquido, la altura del cono volcánico es muy escasa. El volcán de lodo de Yagrumito (Estado Monagas, Venezuela) es de unos 2 ó 3 m de altura relativa y ocupa unos 2000 m<sup>2</sup> (incluyendo las charcas de lodo y los barrizales sin vegetación) aunque el cono solamente no debe pasar de unos 400 m<sup>2</sup>. La abertura del cráter debe tener unos 50 cm de diámetro. Las distintas épocas de sequía y de lluvia también inciden en la altura del cráter, como puede verse en imágenes de la estación de sequía y de lluvias del volcán de Yagrumito, en Venezuela: la altura se eleva en la época de sequía y desciende durante la de lluvias al contribuir en mayor grado a la hidratación del lodo. La cantidad de sal presente en el barro seco es tan grande que lo atractivo para las vacas de la sabana, que acuden a la zona para lamer ese barro con el fin de obtener la sal necesaria (o mejor, el sodio que necesitan) para su producción de leche (recordemos que la proteína esencial de la leche es la caseína, tanto de calcio como de sodio).

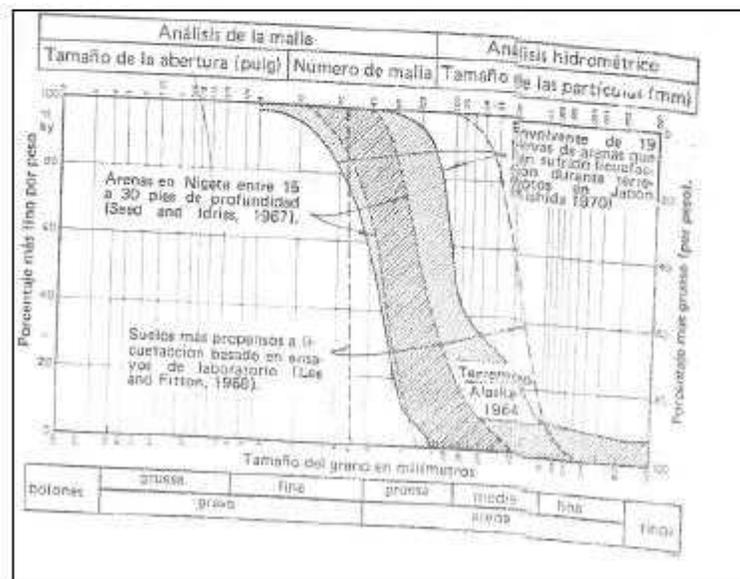


Volcán de lodo superficial

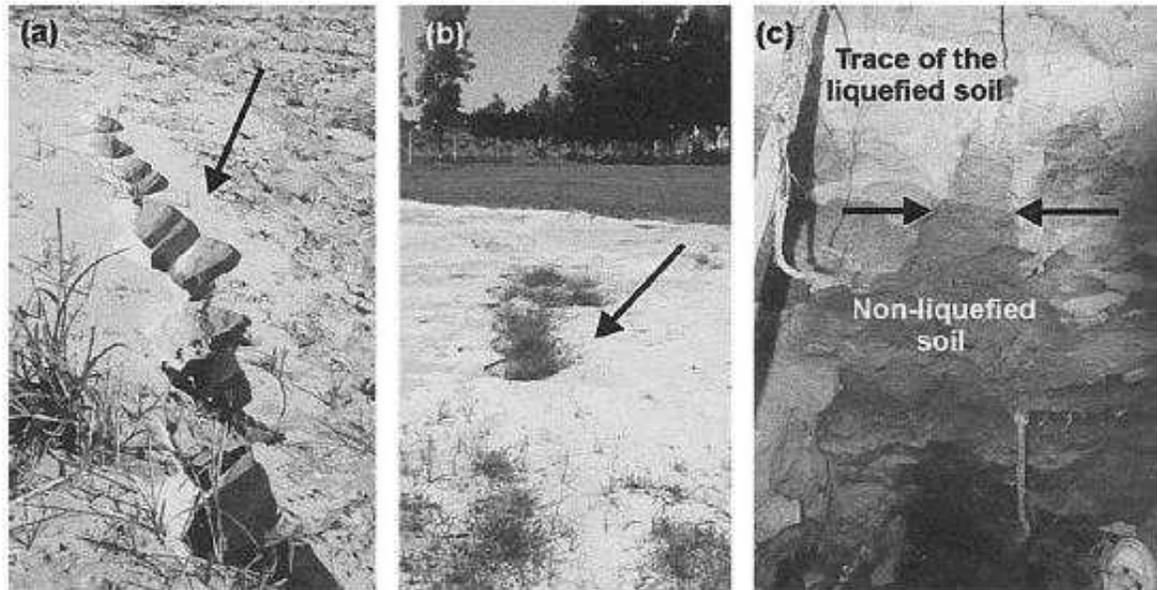
Algunos ejemplos de casos mundiales y nacionales



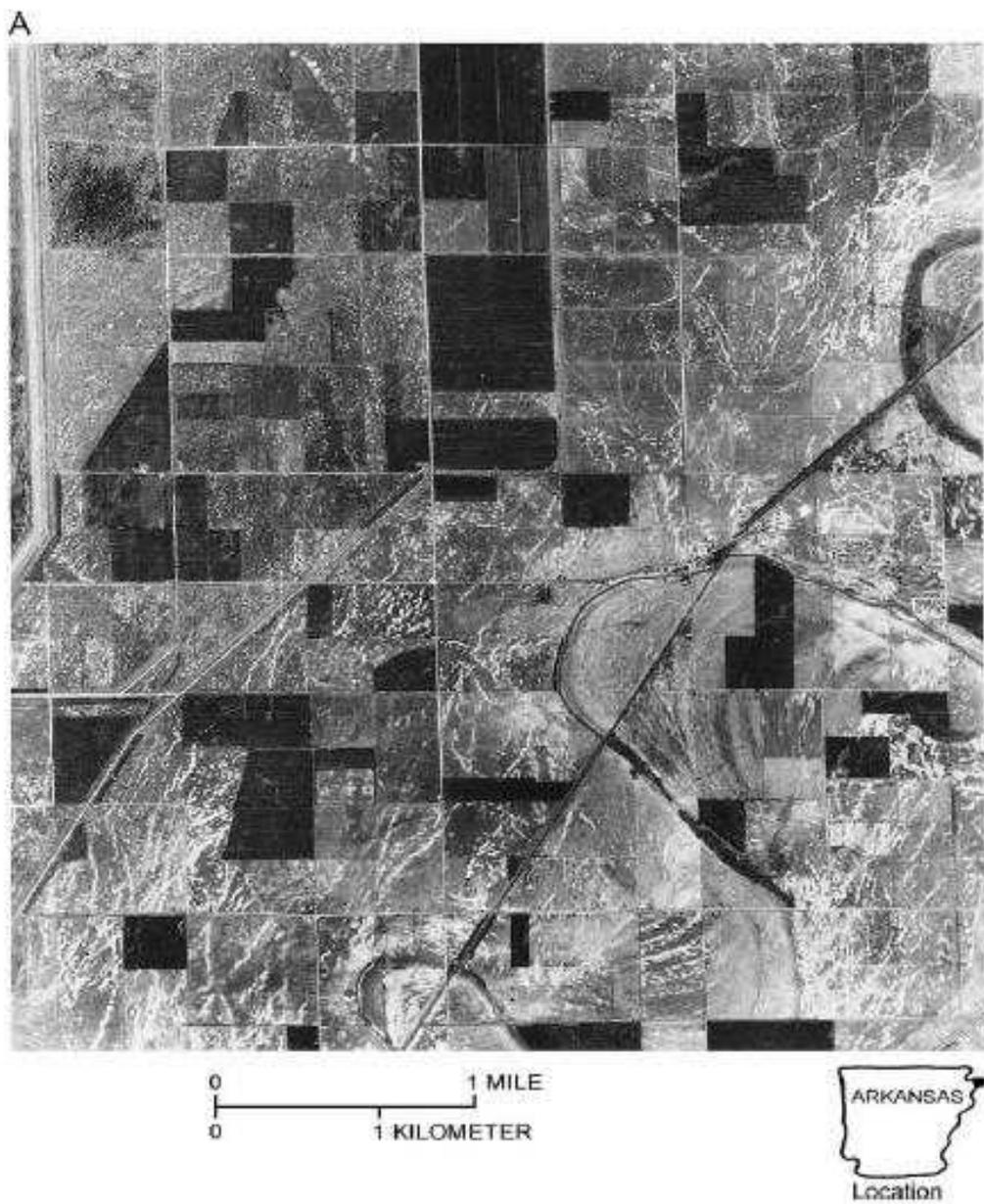
Licuación del suelo en Niigata, Japón. 1964



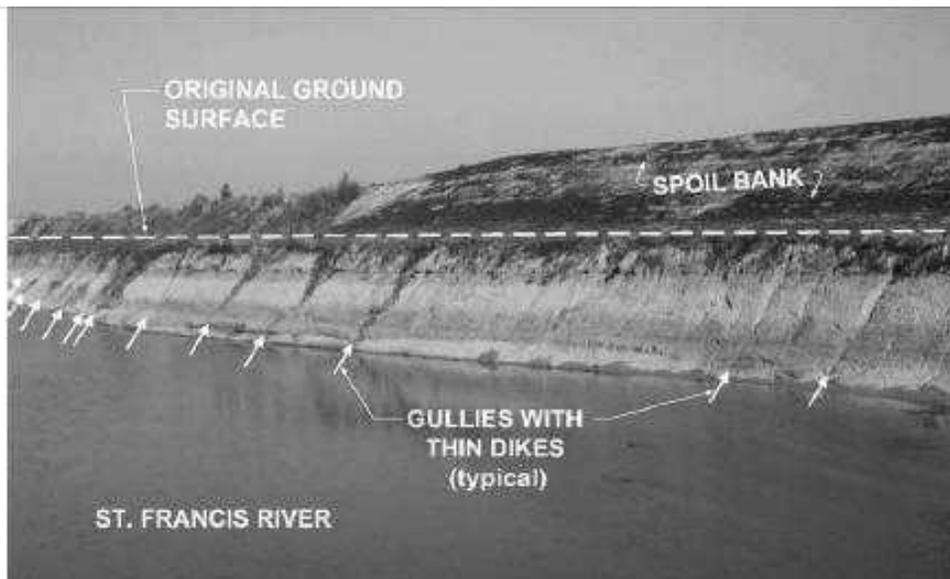
Efecto del tamaño de partículas de suelos granulares saturado que ocasionan suelos licuables.



Ejemplos de fracturas y volcanes de arenas. USA, 2000



Vista aérea de la licuación del suelo. Missouri, USA.



Licuación del suelo. San Francisco, Missouri, USA.



Licuación del suelo. Colombia, 1979.



Volcanes de arenas, y grietas del terreno en suelos licuables aluviales en Perú. 1970.



Licuación del suelo, y asentamiento diferencial del terreno.



Grietas del suelo. 1991



Efectos de la licuación del suelo en Terremoto de Loma Prieta.  
California, EE.UU. 1989



Expansión lateral. California.



Grieta del terreno, y eyección de agua. 1991



a)



b)

Volcanes de arena. USA, 1989



**(a)**



**(b)**



**(c)**



**(d)**

Volcanes de arena. Venezuela, 1997



Licuación del suelo. Arequipa, Perú.

## **Capítulo VIII.**

### **Bibliografía**

1. Jefferies, M. and Been, K. (Taylor & Francis, 2006) *Soil Liquefaction* [1]
2. Youd, T.L., and Idriss, I.M. (2001). "Liquefaction Resistance of Soils: Summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 127(4), 297-313
3. Robertson, P.K., and Fear, C.E. (1995). "Liquefaction of sands and its evaluation.", *Proceedings of the 1st International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering*, Tokyo
4. Robertson, P.K., and Wride, C.E. (1998). "Evaluating Cyclic Liquefaction Potential using the cone penetration test." *Canadian Geotechnical Journal*, Ottawa, 35(5), 442-459.
5. [http://earthquake.usgs.gov/research/hazmaps/whats\\_new/workshops/CEUS-WORKSHP/Tuesday/NE-Tuttle.2.pdf](http://earthquake.usgs.gov/research/hazmaps/whats_new/workshops/CEUS-WORKSHP/Tuesday/NE-Tuttle.2.pdf)
6. Bruce C. Heezen and Maurice Ewing, "Turbidity Currents and Submarine Slumps, and the 1929 Grand Banks Earthquake," *American Journal of Science*, Vol. 250, December 1952, pp. 849–873.

# Índice de Contenido

## Capítulo I

Introducción: Conceptos generales, **1**

## Capítulo II

Origen del proceso de licuefacción del suelo, **4**

## Capítulo III

Análisis sobre la condición de un suelo para que sea licuable, **8**

## Capítulo IV

Cálculos planteados en suelos licuables, **11**

## Capítulo V

Estudios desarrollados, **13**

## Capítulo VI

Tipos de procesos licuables, **20**

## Capítulo VII

Efectos de la licuefacción del suelo, **26**

## Capítulo VIII

Bibliografía, **48**