

# **ACTUALIZACIÓN DE LA OCURRENCIA DEL FENÓMENO DE LICUACIÓN DE SUELOS EN EL PERÚ**

Dr. Ing. Jorge E. Alva Hurtado <sup>(1)</sup>

Mag. Ing. Carmen Ortiz Salas<sup>(1)</sup>

## **RESUMEN**

Se presenta la información disponible sobre el fenómeno de licuación de suelos en el Perú debido a la acción sísmica y su representación en un mapa de áreas de licuación de suelos. El mapa de áreas de licuación de suelos está dibujado a la escala 1:5'000,000 y presenta distinciones entre casos de licuación seguros y probables, de acuerdo a la interpretación de la información disponible en la literatura. Toda la documentación que presenta evidencias del fenómeno de licuación, tales como la formación de pequeños volcanes de barro y arena, la expulsión violenta de agua del suelo, la presencia de intenso agrietamiento y los asentamientos diferenciales debido a la acción sísmica, ha sido detallada en este artículo.

## **DOCUMENTACIÓN BÁSICA**

Se estudió detalladamente la información disponible sobre sismos peruanos, Alva (1981 y 1983), recopilando la información histórica y del presente siglo referente al fenómeno de licuación de suelos. Se trató de encontrar evidencias sobre este fenómeno, tales como la formación de pequeños volcanes de barro y arena, la expulsión violenta de agua del suelo, la presencia de intenso agrietamiento del terreno, los asentamientos diferenciales, la pérdida de capacidad portante y el hundimiento de estructuras, la pérdida de resistencia de taludes y terraplenes y la pérdida de resistencia lateral de pilotes y caissons durante los terremotos. La literatura sobre sismos peruanos que señala la ocurrencia del fenómeno de licuación de suelos se presenta en la lista de referencias.

Se distinguió entre casos de licuación de suelos seguros y probables. La distinción la realizaron los autores, en base a la literatura existente. Los casos probables son por lo general aquellos asociados a sismos históricos y a sismos recientes, en los que la descripción del fenómeno de licuación de suelos no era muy detallada. En el mapa de áreas de licuación de suelos se incluye el nombre de la localidad y el año en que se produjo el fenómeno, así como la red hidrográfica nacional.

---

(1) Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú.

Av. Túpac Amaru 210, Rímac. Lima-Perú; E-mail: jalvah@uni.edu.pe / cortiz@uni.edu.pe.

## **ACTUALIZACIÓN DE LA OCURRENCIA DEL FENÓMENO DE LICUACIÓN**

### **22 de Enero de 1582**

Silgado (1978), basado en la obra de Fray Víctor Barriga, "Los Terremotos de Arequipa", indica un terremoto que dejó en ruinas a la ciudad de Arequipa. Después del mismo toda la ciudad quedó anegada por la mucha agua que corrió por sus calles, probablemente debido al asentamiento y compresión de la napa freática. En la costa se sumergió un arroyo de agua que entraba al Puerto de Islay. También se referencia este fenómeno en la Historia del Perú del Padre Rubén Vargas Ugarte, S.J. La máxima intensidad de este sismo fue de X MM.

### **14 de Febrero de 1619**

Terremoto en el norte del Perú, que arruinó los edificios de Trujillo. Silgado (1978) refiere la crónica del Padre Calancha que indica que se agrietó la tierra en varias partes, de las cuales surgió un lodo negruzco. Además Feijoo decía que el "material viscoso y pestilente expelido envuelto en agua gredosa de que se formaron ríos que corrieron por las campiñas de la Villa del Santa, el de Barranca y otros, tiñeron sus corrientes con tal maligna inundación". De los relatos se desprende que hubo otros efectos en las vertientes, en algunos lechos secos de ríos apareció agua, mientras que en otros riachuelos el agua dejó de correr. La máxima intensidad de este sismo fue de IX MM.

### **31 de Marzo de 1650**

Terremoto en el Cuzco que derribó todos los templos y la mayor parte de las edificaciones. Según Silgado (1978), la tierra se agrietó en varios lugares, observándose disturbios en el nivel freático de las aguas de escorrentía cerca del pueblo de Oropesa. La máxima intensidad de este sismo fue de IX MM.

### **12 de Mayo de 1664**

Terremoto en Ica. Silgado (1978) refiere el relato del cura de la Iglesia Parroquial de San Jerónimo, Licenciado Cristóbal Rodríguez Alvarez: "otra vez abrióse la tierra por muchas partes, en los montes y campos se desunía la tierra formando abras y horribles profundidades que parecían bocas para tragarnos. Corrió el río en más de seis riegos de agua, rebosaron algunos pozos de la ciudad, arrancándose de raíz muchos y grandísimos árboles, sauces y espinos". La máxima intensidad de este sismo fue de X MM.

### **10 de Febrero de 1716**

Terremoto en Pisco que La Barbinais relata: "al cuarto de hora tembló de nuevo la tierra, que abriéndose en algunos lugares, expelió chorros de polvo y agua con ruido pavoroso" (Silgado, 1978). La máxima intensidad de este sismo fue de IX MM.

### **28 de Octubre de 1746**

Terremoto en Lima y tsunami en el Callao. Bachmann (1935) indica que "en la quebrada mineral del río Viseca, de la Provincia de Lucanas, se abrió la tierra y salieron sabandijas; reventando también un volcán de agua caliente que lo inundó todo. En las Misiones de

Cajamarquilla de los Franciscanos, en Pataz, reventaron dos volcanes de cieno y lodo". La máxima intensidad de este sismo fue de X MM.

### **1747**

Toribio Polo en su "Sinopsis de los Temblores y Volcanes del Perú" señala que en dicho año ocurrió un fuerte sismo, que por haberse producido en una región apartada de Puno no se pudo obtener fecha. Se sabe que ocasionó grandes destrozos en Ayapata, provincia de Carabaya; agua cenagosa brotó de la tierra y pereció mucha gente (Silgado, 1978). La máxima intensidad de este sismo fue de VIII MM.

### **30 de Marzo de 1813**

Silgado (1978) refiere un terremoto en Ica que destruyó casas y templos, muriendo 32 personas. Se formaron grandes grietas en el cauce del río, del cual surgió gran cantidad de lodo. La máxima intensidad de este sismo fue de VII MM.

### **20 de Agosto de 1857**

Silgado (1978) indica un fuerte sismo en Piura que destruyó muchos edificios. Se abrió la tierra, de la cual emanaron aguas negras. Daños menores en el puerto de Paita. La máxima intensidad de este sismo fue de VIII MM.

### **13 de Agosto de 1868**

Terremoto acompañado de tsunami en Arica. Silgado (1978) refiere el relato de Toribio Polo: "Agrietamientos del suelo se observaron en varios lugares, especialmente en Arica, de los que brotó agua cenagosa". Bachmann (1935) reporta que en Sama y Locumba se perdió gran parte de las cosechas y la tierra se abrió a trechos en hondas grietas que vomitaban agua cenagosa. La máxima intensidad de este sismo fue de XI MM.

### **24 de Julio de 1912**

Terremoto en Piura y Huancabamba. En el cauce seco del río Piura se formaron grietas con surgencia de agua, otros daños afectaron el terraplén del ferrocarril. En el puerto de Paita se produjeron agrietamientos del suelo (Silgado, 1978). La máxima intensidad de este sismo fue de VIII MM.

### **24 de Diciembre de 1937**

Terremoto en las vertientes orientales de la Cordillera Central. Afectó los pueblos de Huancabamba y Oxapampa. Silgado (1978) indica que en el Fundo Victoria se abrió una grieta de la que emanó abundante cantidad de agua que arrasó corpulentos árboles, aumentando el caudal del río Chorobamba. La máxima intensidad de este sismo fue de IX MM y la magnitud fue de  $M_s = 6.3$ .

### **24 de Mayo de 1940**

Terremoto en la ciudad de Lima y poblaciones cercanas. Valencia (1940) reporta que en el Callao quedaron efectos del sismo, sobretodo en terrenos formados por relleno hidráulico. En estas zonas el terreno se agrietó y brotó a la superficie masas de lodo semilíquido. Las grietas del terreno atravesaron algunas construcciones. La máxima intensidad de este sismo fue de IX MM y su magnitud fue de  $M_s = 8.0$ .

### **6 de Agosto de 1945**

Fuerte temblor en la ciudad de Moyobamba y alrededores. De acuerdo a Silgado (1946), se formaron algunas grietas en la quebrada de Shango. Posteriormente, el temblor del día 8 produjo nuevas grietas vecinas a las primeras, una de ellas semicircular de 15 m. de diámetro y 4 cm. de separación, de las cuales emanaron aguas cargadas de limo durante dos días. Las grietas se presentaron también en los bordes de los barrancos en Tahuisco, cerca del río Mayo y en la quebrada Azungue. A unos cinco km. de los baños sulfurosos y a diez km. de la ciudad se había producido la aparición de nuevos manantiales. La máxima intensidad de este sismo fue de VII MM.

### **28 de Mayo de 1948**

Fuerte sismo destructor en Cañete. En las inmediaciones del lugar denominado Calavera se produjeron varios deslizamientos en terrenos pantanosos. En las faldas del Cerro Candela se formaron grietas, observándose en el lugar pequeños derrumbes debido a la saturación del terreno (Silgado, 1978). La máxima intensidad de este sismo fue de VII MM y su magnitud fue de  $M_s = 7.0$ .

### **21 de Mayo de 1950**

Terremoto en la ciudad del Cuzco. Silgado, Fernández-Concha y Ericksen (1952) notaron en el lado sur del Valle, al sureste del pueblo de San Sebastián, una zona de extensa fisuración. También observaron dos pequeñas fracturas en una zona pantanosa situada a 300 m. al sur de San Sebastián, de las cuales surgió agua y arena durante el terremoto. Los hoyos producidos por la eyección tenían cerca de 2 m. de diámetro y la arena alrededor de la fractura un espesor de 1 a 2 cm. Durante el movimiento sísmico estas fracturas y otras producidas a lo largo del cerro, vertieron chorros de agua que alcanzaron 1 a 2 m. de altura. El nivel de la napa freática se levantó en el lado sur del Valle. Areas que habían estado casi secas antes del terremoto, aparecieron cubiertas con 10 a 40 cm. de agua, semana y media después del sismo. El agua en un pozo de la Hacienda San Antonio subió a 1.80 m. por encima de su nivel normal, después del terremoto. La máxima intensidad de este sismo fue de VII MM y su magnitud fue de  $M_s = 6.0$ .

### **9 de Diciembre de 1950**

Fuerte temblor en Ica. En el Fundo La Vela se produjeron algunas pequeñas grietas en el terreno de sembrío, de los cuales se dice, salió agua hasta unas horas después del sismo (Silgado, 1951). La máxima intensidad del sismo fue de VII MM y su magnitud de  $M_s = 7.0$ .

### **12 de Diciembre de 1953**

Un fuerte y prolongado movimiento sísmico afectó la parte noroeste del Perú y parte del territorio ecuatoriano. Silgado (1957) indicó que se produjeron grietas largas en los terrenos húmedos. Se apreciaron eyecciones de lodo en la quebrada de Bocapán, en los esteros de Puerto Pizarro y en otros lugares. En Bocapán, que había estado seco antes del movimiento, corrió momentáneamente agua a causa de los surtidores. En Puerto Pizarro se originaron chorros de agua de 60 cm. de altura y grietas. La máxima intensidad de este sismo fue de VIII MM y su magnitud fue de  $M_s = 7.8$ .

### **15 de Enero de 1958**

Terremoto en Arequipa. Silgado (1978) indicó agrietamiento del terreno cerca de la zona de Camaná, con eyección de aguas negras. La máxima intensidad del sismo fue de VIII MM y su magnitud fue de  $M_s = 7.0$ .

### **17 de Octubre de 1966**

La ciudad de Lima fue estremecida por un sismo. En la Hacienda San Nicolás, a 156 km. al norte de Lima, aparecieron numerosas grietas y de varias de ellas surgió agua de color amarillo (Silgado, 1978). La máxima intensidad de este sismo fue de VIII MM y su magnitud fue de  $m_b = 6.3$ .

### **19 de Junio de 1968**

Terremoto en Moyobamba. Kuroiwa y Deza (1968) describieron agrietamientos del suelo, surgimiento de arena y agua por las grietas y grandes deslizamientos de tierra en la región epicentral. Los fenómenos de agrietamientos y surgimiento de agua fueron los más numerosos, especialmente a lo largo de las márgenes del río Mayo. Martínez Vargas (1969) presentó vistas del afloramiento de arenas en forma de conitos de 10 a 20 cm. de diámetro producidos por el fenómeno de licuación en la terraza de Moyobamba. La máxima intensidad de este sismo fue de VIII MM y su magnitud fue de  $M_s = 6.9$ .

### **31 de Mayo de 1970**

Terremoto que afectó todo el departamento de Ancash y sur de La Libertad. Ericksen et al (1970) y Plafker et al. (1971) indicaron que en Casma, Puerto Casma y en zonas cercanas al litoral en Chimbote, se produjo desplazamiento lateral del terreno causado por licuación de depósitos deltaicos y de playa, ocasionando grietas en el terreno que derrumbaron las estructuras que las cruzaron. Las áreas más extensas de volcanes de arenas se formaron a lo largo del río Casma, entre Casma y Puerto Casma. Los volcanes tenían un cráter central de unos cuantos centímetros a 1 m. de diámetro, cercados por un montículo de arena y limo de hasta 15 m. de diámetro. Se produjeron eyecciones de agua de un metro de altura. La zona central de Chimbote fue evidentemente un área de licuación de suelos, así como de compactación diferencial de la cimentación. El puente de Casma fue dañado por licuación de la cimentación de los estribos. En Chimbote y Casma y a lo largo de la Carretera

Panamericana se notaron subsidencias superficiales producto de la licuación. La sección residencial de Puerto Casma mostró evidencias de asentamientos y eyección de agua. Cluff (1971) reportó fallas del terreno en Chimbote debido a depósitos de playa saturados y sueltos. En Casma se produjo compactación diferencial y desplazamiento lateral del terreno debido a licuación. Se produjeron inundaciones del terreno por agua freática, debido a la compactación diferencial. En muchas áreas se produjeron volcanes de arenas y eyección de agua por existir nivel freático alto. Berg y Husid (1973) indicaron evidencia de licuación de suelos en la cimentación del Colegio Mundo Mejor, en Chimbote. Carrillo (1970) indicó descensos en los terraplenes de acceso de casi todos los puentes de la Carretera Panamericana y asentamientos en las plataformas del Terminal Marítimo de Chimbote. También se presentó evidencias del fenómeno de licuación en los depósitos de arenas saturadas en la calle Elías Aguirre en Chimbote y en el km. 380 de la Carretera Panamericana, cerca de Samanco. Corporación Hidrotécnica y C. Lotti (1979) reportaron licuación generalizada en Puerto Casma, produciendo agrietamientos de suelo y eyecciones de agua con arena. En Chimbote se produjeron numerosos casos de licuación y Puerto Casma se inundó totalmente. Morimoto et al (1971) describieron el fenómeno de licuación de suelos en la ciudad de Chimbote. En la zona pantanosa se produjo licuación generalizada, con grietas debido a compactación diferencial; y en la zona aluvial licuación subsuperficial con grietas y volcanes de arena. La máxima intensidad del sismo fue de IX MM y su magnitud fue de  $M_s = 7.8$ .

### **9 de Diciembre de 1970**

Terremoto en el noroeste del Perú. En el área de Querecotillo en terraza fluvial y aluvial se formó un sistema de grietas en echelón, de longitud de 500 m. con aberturas de 0.30 m. y saltos de 0.25 m. Se notó efusión de arena formando sumideros de 0.60-1.00 m. de diámetro. Cerca al caserío La Huaca se agrietó el suelo, brotando arena y lodo. En Tumbes cerca al Puerto Cura, en las terrazas fluviales, se observó efusión de aguas negras acompañadas de arena que salieron a la superficie a través de grietas (Taype, 1971). La máxima intensidad de este sismo fue de IX MM y su magnitud fue de  $M_s = 7.1$ .

### **20 de Marzo de 1972**

Sismo en el nororiente. Según Perales y Agramonte (1972), en el área urbana de Juanjuí se produjo el fenómeno de licuación de suelos con sumideros alineados de hasta 1 m. de diámetro. En la Carretera Marginal se produjeron asentamientos. Las aguas subterráneas variaron su nivel estático en más de un metro. Se inspeccionaron dos pozos de agua que al momento de la visita se encontraban secos y taponeados con arena. La máxima intensidad de este sismo fue de VIII MM y su magnitud fue de  $M_s = 6.9$ .

### **3 de Octubre de 1974**

Terremoto en Lima. Según Huaco et al (1975) y Giesecke et al (1980), ocurrieron fenómenos locales de licuación en el valle de Cañete, donde el nivel freático es muy superficial. El fenómeno local más importante se encontraba en la Cooperativa La Quebrada, cubriendo un

área de 30,000 m<sup>2</sup>. Maggiolo (1975) indicó licuación generalizada en Tambo de Mora, asociada a una subsidencia o hundimiento, con densificación posterior a lo largo de 4 km. paralelos a la línea de playa. En la zona norte se desarrollaron eyecciones de agua con arena a través de volcanes de arena. Espinosa et al (1977) indicaron posibles asentamientos diferenciales en El Callao debido a licuación de suelos y Moran et al (1975) presentaron vistas de posible licuación en Ancón. La máxima intensidad del sismo fue de VIII MM y su magnitud fue de Ms = 7.5.

### **29 de Mayo de 1990 y 4 de Abril de 1991**

El 29 de Mayo de 1990, a las 9:34 p.m. (hora local), un sismo con magnitud de mb=6.0 ocurrió al suroeste de Rioja. A partir del 4 de Abril de 1991 se produjeron una serie de movimientos sísmicos en la región, siendo el de mayor magnitud el ocurrido a las 11:30 p.m. (hora local), con un valor mb=6.5 y con epicentro a 30 km al noroeste de Moyobamba, en las cercanías del Cerro Angaisa.

Alva (1999) observó y describió el fenómeno de licuación de suelos en el Puerto Tahuishco en Moyobamba. En el Centro Educativo de Tahuishco se produjo licuación por desplazamiento lateral en 1991, con grietas de 10 centímetros de ancho y 50 centímetros de profundidad. Se destruyó el piso de un aula. Durante el sismo de 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. Durante el sismo de 1990 se reportó el fenómeno de licuación de suelos en El Chorro y Molino Valencia en Rioja y también en Segunda Jerusalén-Azunguillo, río Negro y La Conquista.

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

### **12 de Noviembre de 1996**

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.

Alva y Vásquez (1996) indicaron que ocurrió licuación de suelos en el lecho del río Yauca observándose volcanes de arena, eyección de lodo y agrietamientos. 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.

### **25 de Setiembre de 2005**

El 25 de Setiembre a las 8:55 pm un fuerte movimiento telúrico remeció la región nororiental del Perú, generando daños de consideración principalmente en la ciudad de Lamas y poblaciones aledañas en el departamento de San Martín, así como en la ciudad de Chachapoyas y alrededores, en el departamento de Amazonas. El sismo, que ocurrió a una profundidad focal de 115 Km y alcanzó una magnitud de 7.5 Mw (NEIC), fue sentido en toda la región Norte y Centro del Perú, siendo perceptible desde Lima por el Sur hasta Guayaquil, Ecuador, por el Norte.

Un equipo de profesionales del CISMID (2005), observaron la ocurrencia del fenómeno de licuación de suelos en los sectores de Shango y Azungue, localizados en la parte baja de la ciudad de Moyabamba, observándose volcanes de arena y agrietamientos del suelo por deslizamientos, como evidencias de la licuación de suelos.

### **23 de Junio de 2001**

El día 23 de Junio de 2001, a las 15 y 33 minutos (hora local), el Perú soportó la ocurrencia de un terremoto de magnitud 8.2 Mw que produjo muerte y destrucción principalmente en los departamentos de Arequipa, Ayacucho, Moquegua y Tacna en Perú, Arica e Iquique en Chile y La Paz en Bolivia. Las intensidades máximas en algunas localidades y ciudades, próximas a la costa, llegaron a VII-VIII en la escala Mercalli Modificada (Tavera et al., 2002).

Yanqui (2001), indicó que hubo presencia de licuación en las siguientes localidades:

- **Urbanización las Magnolias :**

En el distrito de Socabaya, en la zona de Lara, se observó el fenómeno de licuación , con efectos de distorsión y fracturamiento de los pisos, ebullición de agua con arena, asentamiento de una vereda en 12 cm, aproximadamente, agrietamiento del suelo, desplazamiento lateral de los pequeños taludes de un dren abierto, inclinación y caída de los postes de luz en diferentes direcciones, agrietamiento de los muros portantes y cercos de algunas viviendas , elevación de un buzón de desagüe y colapso de muros pequeños .

- **Huaranguillo:**

En el anexo de Huaranguillo del distrito de Sachaca, aparecieron dos ebullideros: uno que llegó a formar un pequeño volcán de arena y otro grande que despidió agua con arena de color rosado. También se observaron algunas grietas longitudinales en un talud de un metro de altura.

- **Semirural Pachacútec:**

En una pequeña quebrada de la urbanización de Semi Rural Pachacútec del distrito de Cerro Colorado, horizontes de arena se licuaron causando el alabeamiento y



colapso de algunos muros de cerco. Algunos taludes de pequeña altura se agrietaron y un muro de contención llegó al colapso.

Gomez, et al. (2002) observaron la presencia de licuación de suelos en los valles de los ríos Yauca, Ocoña, Camaná, Tambo, Osmore, Locumba y Sama. La zona de mayor evidencia de licuación fue a lo largo del río Camaná y la franja costera entre Mejía y la Punta de Bombón. En el cauce del río Camaná las numerosas evidencias de licuación afectaron el terraplén de la margen izquierda del río. En el curso del río, las arenas muy finas a intermedias licuaron en aquellos bancos de arena no muy potentes. Los volcanes de arena tuvieron diámetros de hasta 2.0 m. También se midieron fracturas longitudinales a los bancos con eyección de arena de unos pocos metros de longitud (grietas individuales no mayores de 4 m de longitud).

Otra área con mayor distribución de evidencias de licuación de suelos, es la llanura deltaica-costera del río Tambo, con eyección de arenas, desde las cercanías a Mollendo hasta El Fiscal, y en los tramos: Mollendo - Mejía, Mejía-El Conto, La Curva - El Arenal, y El Arenal - Puente El Fraile. Los sectores ubicados más al Sur, como las desembocaduras de los ríos Osmore, Locumba y Sama mostraron evidencias de licuación de arenas con volcanes de arena alineados, grietas de ventilación de pequeñas dimensiones. Los conos de volcanes de arena llegaron a un diámetro máximo de 50 cm y el volumen expulsado también fue mucho menor que en las zonas críticas de Camaná y El Tambo.

### **15 de Agosto de 2007**

El 15 de agosto de 2007, a las 6:40 p.m. hora local, un fuerte terremoto golpeó la costa del centro de Perú. El epicentro se ubicó a 40 km al noroeste de la ciudad de Chíncha, a 105 km al noroeste de la ciudad de Ica y a 150 km al sureste de Lima, la capital de Perú. Las coordenadas del epicentro son 13.354°S, 76.509°W según el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, 2008). El USGS estimó que la Magnitud Momento de este evento fue  $M = 8.0 \pm 0.1$ , y la profundidad del hipocentro fue de 26 km a 39 km.

Alva et al. (2007) y Rodríguez-Marek et al.(2007) observaron grandes problemas debido al fenómeno de licuación de suelos, lo que ocasionó (además de daños en las cimentaciones de estructuras) desplazamiento de suelos y deslizamientos de taludes, originando daños en carreteras, puentes, caída de postes de energía, ruptura de líneas de agua y alcantarillas, avería de las instalaciones del puerto, etc.

Varias zonas se vieron afectadas debido a este fenómeno, entre ellas, el distrito de Tambo de Mora, el centro poblado de Canchamana, la zona de Jahuay en Chíncha; las zonas de San Clemente, Independencia y Casalla en Pisco, la zona de la laguna de Huacachina en Ica, así mismo el Conjunto Habitacional Las Lagunas y el sector de los pantanos de Villa en la ciudad de Lima.

Alva et al.(2007) y Rodríguez-Marek et al.(2007), detallan las principales zonas donde se han detectado los principales daños ocasionados por el fenómeno de licuación de suelos y que han sido registrados :

- **Falla de talud en Jahuay**

La falla de un talud de 400 m de largo fue inducida en Jahuay por la licuación en el pie de un talud de pendiente fuerte de aproximadamente 30 a 50 m de alto. La falla ocurrió cerca del kilómetro 188 de la carretera Panamericana, justo al sur de la caseta de peaje (aproximadamente a 40 km del plano de ruptura).

Fueron encontrados conos de arena en ambos lados de la carretera y una persona que vivía justo al sur del deslizamiento reportó agua y arena saliendo en gran cantidad del suelo durante el terremoto, alcanzando alturas de hasta 1 m. Un cono de arena hallado en el extremo sur de la falla de talud tenía grietas de contracción en el material perimetral, indicando la presencia de finos plásticos.

- **Desplazamiento lateral en Canchamaná**

Un importante desplazamiento lateral en dirección hacia el mar de una terraza marina, provocado por licuación, ocurrió en Canchamaná, a 2.5 km al norte de Tambo de Mora. El área desplazada aproximada fue de 1 km de ancho por 3 km de largo.

- **Fallas de fundaciones superficiales en Tambo de Mora**

En la parte noroeste de Tambo de Mora, distante aproximadamente 0.5 km de la línea de costa y 38 km del plano de falla, se documentaron fallas espectaculares de fundaciones superficiales provocadas por licuación de suelo. Evidencias de licuación, tales como conos de deyección pequeños y asentamientos menores, se encontraron en la mayor parte de la zona noroeste de la ciudad. Sin embargo, las casas de uno y dos pisos de la calle Alfonso Ugarte se vieron particularmente afectadas (por asentamientos excesivos). La zona afectada tiene una extensión de 300 m por la calle Alfonso Ugarte, espacio en el cual prácticamente todas las edificaciones tuvieron asentamientos iguales o mayores a 0.3 m, registrándose varias con asentamientos entre 0.7 y 0.9 m. Se encontró material de deyección en grandes cantidades en las grietas que se produjeron en la calle y dentro de las edificaciones que poseían pisos de hormigón no reforzado; en ellas el suelo licuado destruyó completamente el hormigón levantándolo hacia dentro de las edificaciones.

- **Las Lagunas:**

Las Lagunas es un complejo de casas en la playa ubicado a 71 km al sur de Lima y a aproximadamente 51 km del plano de ruptura. El daño estructural fue de ninguno a severo y estaba bien correlacionado con el grado de asentamiento de las fundaciones y el desplazamiento lateral asociado a la licuación del suelo subyacente.

- **Puerto General San Martín, Pisco**

Está localizado en Punta Pejerrey, bahía de Paracas, a aproximadamente 30 km de la falla.El sismo produjo la licuación del relleno, como evidenciaron los conos de arena

encontrados y el desplazamiento lateral con grietas significativas de hasta 0.25 m de ancho y distorsiones verticales de hasta 0.8 m. La cubierta soportada por pilotes se inclinó levemente hacia el mar y las separaciones horizontales en las juntas de la cubierta fueron de hasta 0.5 m. Las grietas del terreno se desarrollaron en forma paralela a la cubierta en la zona de suelo ganado al mar y fueron más severas cerca de la orilla.

## **26 de Mayo de 2019**

El día 26 de Mayo de 2019, a las 02 horas, 41 minutos y 12 segundos (hora local), un fuerte terremoto golpeó la zona oriente del Perú de magnitud 8.0 Mw que produjo la destrucción de viviendas principalmente en los departamentos de Loreto, Amazonas, San Martín y Cajamarca.

El Instituto Geofísico del Perú ubicó el epicentro a 70 km al Sur Este de Lagunas, Alto Amazonas, Loreto, con intensidad máxima en la escala modificada de Mercalli de VI-VII en Lagunas.

El USGS ubicó el epicentro a 75.5 Km al Sur-Sureste de Lagunas (Loreto), a 92.0 Km al Este de Yurimaguas (Loreto), a 153.0 Km al Este-Noreste de Lamas (San Martín), a 165.1 Km al Este-Noreste de Tabalosos (San Martín) y a 187.2 Km al Este de Moyobamba (San Martín). La Intensidad Máxima en el área epicentral reportada fue de VII-VIII.

Se observaron problemas debido al fenómeno de licuación de suelos, con evidencias de conos de arena encontrados y desplazamientos laterales con grietas en el Malecón del río Huallaga (Distrito de Lagunas, Provincia de Alto Amazonas, Loreto), en el "El Sauce" Resort (San Martín), en el Centro Poblado Tamarate, cerca al distrito de Lagunas y en el Caserío 2 de Mayo en San Martín.

## **CONCLUSIONES**

La revisión de la literatura indica que el fenómeno de licuación de suelos se ha producido en la Costa, Sierra y Selva Alta del Perú. Existe una mayor incidencia de dicho fenómeno en la Costa y en la ciudad de Moyobamba que presentaron las sismicidades más altas.

Durante los últimos años se ha incrementado la sismicidad en la zona nororiente del Perú, observándose la recurrencia del fenómeno de licuación.

Se considera que el mapa de áreas de licuación de suelos presentado puede estar incompleto y no ser totalmente representativo de dicho fenómeno en el Perú. Se espera que en el futuro se realicen estudios adicionales que aporten nuevas evidencias sobre la ocurrencia de este fenómeno, que servirán para modificar o completar el mapa propuesto.

## **AGRADECIMIENTO**

Se agradece el apoyo brindado por el Centro Regional de Sismología para América del Sur y por la Universidad Nacional de Ingeniería para la ejecución de este artículo.

## REFERENCIAS

1. Alva, J. (1981), "Bibliografía sobre los Terremotos Peruanos: Aspectos Ingenieriles", El Ingeniero Civil, No. 15, pp 50-51, Lima, Perú.
2. Alva, J. (1982), "Estudio del Potencial de Licuación del Suelo de Cimentación de las Obras del Proyecto Central Hidroeléctrica de Curumuy", Informe presentado a la Gerencia de Estudios de Electroperú.
3. Alva, J. y Orihuela, P. (1982), "Estudio de Licuación y Amplificación Sísmica en Chimbote, Perú", IV Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Chiclayo, Perú.
4. Alva, J. y Torres, R. (1983), "Mapa de Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas en el Perú", Revista TECNIA de la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
5. Alva, J. (1983), "Breve historia del fenómeno de licuación de suelos en el Perú", V Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, Lima, Perú.
6. Alva, J y Vásquez, D. (1996), "Terremoto de Nazca de 1996, Perú". Segunda Conferencia Internacional de Ingeniería Geotécnica Sísmica, Lisboa, 21-25 Junio 1999, Vol 2, pp 749-758. Lisboa, Portugal.
7. Alva, J., Escalaya, M. y Macazana R. (2007). " Aspectos Geotécnicos del Sismo Del 15 De Agosto Del 2007". Universidad Nacional de Ingeniería.
8. Alva, J (1999), "Licuación de Suelos en el Perú". XII Congreso Nacional de Ingeniería Civil. Huánuco, Noviembre de 1999, Lima, Perú.
9. Bachmann, C.J. (1935), "Fenómenos Sísmicos Notables Habidos en Lima en los Cuatrocientos Años que tiene de Fundada", Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima, Tomo 4-D, Lima, Perú.
10. Berg, G.V. y Husid, R. (1973), "Structural Behavior in the 1970 Peru Earthquake", 5th. World Conference on Earthquake Engineering, Rome, Italy.
11. Carrillo, 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 Cimentaciones, Lima, Perú.
12. CISMID (2005) "Informe preliminar El terremoto de Moyobamba del 25 de Setiembre del 2005". Universidad nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
13. 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.
14. Corporación Hidrotécnica y C. Lotti & Asociados (1979), "Estudio de Factibilidad del Sistema General de Abastecimiento de Agua Dulce a Bayóvar", Organismo de Desarrollo del Complejo de Bayóvar, ODECOB, Febrero.
  15. Ericksen, G.E., Plafker, G. y Fernández-Concha, J. (1970), "Preliminary Report on the Geologic Events Associated with the May 31, 1970 Peru Earthquake", U.S. Geological Survey Circular 639.
  16. Espinosa, A.F., Husid, R., Algermissen, S.T. y De las Casas, J. (1977), "The Lima Earthquake of October 3, 1974: Intensity Distribution", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 67, No.5, pp. 1429-1439.
  17. Giesecke, A., Ocola, L. y Silgado, E. (1980), "El Terremoto de Lima del 3 de Octubre de 1974", Informe Preparado por el Centro Regional de Sismología para América del Sur a UNESCO, Contrato SC/RP 601-013.
  18. Gómez, J., Audemard, F y Quijano, J " Efectos Geológicos Asociados al Sismo del 23 de Junio del 2001 en el Sur del Perú". Instituto Geofísico del Perú, Lima-Perú
  19. Huaco, D., Huaco, P. y Espejo, G. (1975), "Comportamiento del Suelo de Cañete Asociado al Sismo del 3 de Octubre de 1974", Reunión Andina de Seguridad Sísmica, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
  20. Tavera, H., Salas, h., Jimenez, C., Antayhua, Y. (2002), "El terremoto de la región Sur de Perú del 23 de junio de 2001: Aspectos Simológicos. Instituto Geofísico del Perú.
  21. Kuroiwa, J. y Deza, E. (1968), "Daños Causados en Moyobamba por el Sismo del 19 de Junio de 1968", Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
  22. Maggiolo, O. (1975), "Algunos Aspectos de Mecánica de Suelos y Comportamiento de Construcciones durante el Sismo del 3 de Octubre de 1974", Reunión Andina de Seguridad Sísmica, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
  23. Martínez, A. (1969), "Apreciaciones Geológicas de Campo sobre los Efectos del Terremoto del 19 de Junio de 1968 en Moyobamba y Alrededores del Nor-Oriente Peruano", Primer Congreso Nacional de Sismología e Ingeniería Antisísmica, pp. 107-116, Lima, Perú.
  24. Moran, D., Ferver, G., Thiel, C. Jr., Stratta, J., Valera, J. y Wyllie, L. Jr. (1975), "Engineering Aspects of the Lima, Peru Earthquake of October 3, 1974", Earthquake

Engineering Research Institute, Oakland, California.

25. 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.
26. Perales, F. y Agramonte, J. (1982), "Reconocimiento Geotécnico entre Juanjuí y Moyobamba con Motivo del Sismo del 20 de Marzo de 1972", Servicio de Geología y Minería, Lima, Perú.
27. 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. 3, pp. 543-578.
28. Rengifo J. (2019). Fotografías de licuación de suelos. Comunicación personal, Lima, Perú.
29. Rodríguez-Marek, A., Alva, J. Cox, B., Meneses, J., Montalva, G., Moreno, V., Olcese, M., Sancio, R. y Wartman, J. (2007). "Aspectos Geotécnicos del Sismo de Pisco, Perú del 15 de Agosto del 2007". Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil. Vol. 7(2-3) 239
30. Silgado, E. (1946), "El Temblor Destructivo de Moyobamba del 6 de Agosto de 1945", Datos Sismológicos del Perú, Boletín 3, Instituto Geológico del Perú, pp. 29-38.
31. Silgado, E. (1952), "El Sismo del 9 de Diciembre de 1950", Datos Sismológicos del Perú 1949-1950, Boletín No. 4, Instituto Nacional de Investigación y Fomento Mineros, Ministerio de Fomento y Obras Públicas, pp. 47-51.
32. Silgado, E. (1957), "El Movimiento Sísmico del 12 de Diciembre de 1953", Anales del Primer Congreso Nacional de Geología, Parte II, Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, Tomo 32, pp. 225-238.
33. Silgado, E. (1978), "Historia de los Sismos más Notables Ocurridos en el Perú (1513-1974)", Instituto de Geología y Minería, Boletín No. 3 Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica, Lima, Perú.
34. Silgado, E., Fernández-Concha, J. y Ericksen, G.E. (1952), "El Terremoto del Cusco del 21 de Mayo de 1950", Datos Sismológicos del Perú 1949-1950, Boletín No. 4, Instituto Nacional de Investigación y Fomento Mineros, Ministerio de Fomento y Obras Públicas, pp. 27-46.
35. Taype, R.V., (1971), "Observaciones Geológicas de los Daños Producidos por el

Sismo del 9 de Diciembre de 1970 en los Departamentos de Piura y Tumbes", Servicio Nacional de Geología y Minería, Lima, Perú.

36. Valencia, R. (1940), "El Terremoto del 24 de Mayo de 1940, sus Efectos y sus Enseñanzas", Revista de la Universidad Católica del Perú, Tomo VIII, pp. 294-329, Lima, Perú.
37. Yanqui, C (2001 ) "Licuación Sísmica de suelos en la ciudad de Arequipa causada por el terremoto del 23 de junio del 2001" .Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.



# MAPA DE LICUACIÓN DE SUELOS EN EL PERÚ

