

FENÓMENOS DE LICUEFACCIÓN ASOCIADOS A TERREMOTOS HISTÓRICOS. SU ANÁLISIS EN LA EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO EN LA ARGENTINA

Laura PERUCCA^{1,2}, Angel PEREZ^{2,3} y Carlos NAVARRO³

¹ CONICET (Consejo de Investigaciones Científicas y Técnicas) Email: lauraperucca@yahoo.com.ar

² Gabinete de Neotectónica. Instituto de Geología Dr. Emiliano Aparicio - Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales - Universidad Nacional de San Juan.- Av. Ignacio de la Roza y Meglioli, 5400 San Juan.

³ INPRES (Instituto Nacional de Prevención Sísmica). Roger Balet 47 Norte, 5400 San Juan, Emails: mperez@inpres.gov.ar y cnavarro@inpres.gov.ar

RESUMEN

Los procesos de licuefacción han ocasionado los efectos más destructivos durante los principales terremotos ocurridos en la Argentina. Sin embargo, a excepción de la provincia de San Juan, los estudios referidos a estos fenómenos son escasos, fundamentalmente debido a la pobre preservación de las estructuras. Aunque los fenómenos de licuefacción han sido descritos en muchas regiones sísmicas del mundo, en Argentina sus efectos han sido subestimados. Después de la colonización española, se han registrado al menos trece terremotos con características destructivas y fenómenos de licuefacción asociados (1817, 1861, 1844, 1894, 1899, 1920, 1927, 1929, 1944, 1948, 1949, 1952) que han impactado negativamente en el desarrollo y la economía de la región a lo largo de los últimos 200 años. Sin embargo, no existe una relación clara entre sus epicentros y las principales estructuras cuaternarias y en la mayoría de los casos, tampoco se han reconocido superficies de ruptura histórica asociadas, a excepción de las observadas en la La Laja (1944), Lago Fagnano (1949) y Niquizanga (1977). También es probable que muchos de los terremotos de gran magnitud se hayan caracterizado por deformaciones distribuidas en plegamientos y fracturación secundaria, antes que en rupturas superficiales.

Durante estos sismos, los efectos de licuefacción fueron los resultados más espectaculares de las sacudidas sísmicas, ocasionando gran parte de los daños.

Por ello, el estudio de los terrenos que presentan las condiciones físicas y litológicas susceptibles de sufrir procesos de licuefacción durante la ocurrencia del movimiento sísmico en las áreas pobladas de la Argentina, resulta un campo de investigación prioritario para realizar una adecuada planificación urbana y de obras de infraestructura, elementos vitales para el desarrollo de la región oeste del territorio.

Palabras clave: *Licuefacción, terremotos, peligrosidad sísmica, San Juan, Mendoza.*

ABSTRACT: *Liquefaction phenomena associated with historic earthquakes: Their analysis in the evaluation of the seismic hazard in Argentina.*

Liquefaction phenomena have caused the most destructive effects during the main earthquakes happened in Argentina. However, to exception of San Juan's province, studies referred to these phenomena are scarce, fundamentally due to the poor preservation of the structures. Although liquefaction has been described in many seismic regions of the world, in Argentina their effects have been underestimated. After the Spanish colonization, they have registered at least thirteen destructive earthquakes and associated liquefaction effects (1817, 1861, 1844, 1894, 1899, 1920, 1927, 1929, 1944, 1948, 1949 y 1952) that negatively impacted in the economy of the region along the last 200 years.

However, it doesn't exist a clear relationship between the epicenters and the main Quaternary structures and in most of the cases, neither associated historical ruptures have been recognized, with the exception of those observed in La Laja (1944), Lago Fagnano (1949) and Niquizanga (1977) faults. It is also probable that many of these destructive earthquakes have been characterized by deformations distributed in folds and secondary faults, without surficial ruptures.

During these earthquakes, the effects of liquefaction were the most spectacular results in the seismic shakes, causing most of the recorded damages.

Because of that the study of the soils with physical conditions susceptible to suffer liquefaction during the occurrence of an earthquake in populated areas of Argentina, is a high-priority investigation field to carry out for an appropriate urban planning in the north-western portion of the country.

Keywords: *Liquefaction, earthquakes, seismic hazard, San Juan, Mendoza.*

INTRODUCCION

Los análisis de evaluación del peligro sísmico en las últimas décadas han sido progresi-

vamente mejorados con la utilización de los datos geológicos que permiten obtener la historia sísmica de las fallas activas. Los registros históricos e instrumentales son su-

mamente cortos en esta porción del continente sudamericano como para reflejar precisión en los valores de sismicidad a largo plazo y efectuar correctas evaluaciones del

peligro de terremotos.

El propósito de este estudio preliminar fue identificar las áreas del territorio argentino que sufrieron licuefacción durante los terremotos históricos con el objeto de realizar una correcta evaluación del peligro sísmico potencial que contemplen, además de la sismicidad en sí, los efectos secundarios derivados de un terremoto.

La región oeste de Sudamérica posee una compleja morfología, con un margen occidental activo, representado por una topografía y sismicidad típicas debido a la deriva de las placas de Nazca, Antártica y Sudamérica (Fig. 1). Esta convergencia comenzó hace aproximadamente 200 millones de años con la subducción de las placas oceánicas por debajo de la continental, con pendiente hacia el este, con un desplazamiento al oeste del contacto océano-continente a una velocidad absoluta de 2,2 cm/año (Uyeda y Kanamori 1979). Las velocidades en las distintas épocas geológicas probablemente fueron diferentes en magnitud y direcciones, lo que generó movimientos que son prácticamente imperceptibles debido a que los intervalos de las observaciones son cortos con respecto al tiempo total de movimiento.

En el noroeste argentino el ángulo de subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana, varía entre 19° y 25°, la sismicidad actual es baja, el volcanismo es importante y no se han encontrado a la fecha evidencias de fallas que hayan registrado actividad en tiempos históricos (Fig. 2a).

Entre los 28° y 32°S se reúne una serie de factores geológicos y tectónicos que aparentemente se relacionan a la sismicidad superficial. En esta región, la placa de Nazca se introduce por debajo de la Sudamericana a unos 100 km de profundidad, a una tasa de 6,3 cm/año (Ramos 1988, Kendrick *et al.* 2003). Esta subhorizontalización se inició entre los 8 y 10 Ma (Jordan y Gardeweg 1987, Kay *et al.* 1991) y si bien se registran numerosos sismos a profundidades cercanas a los 100 km que delimitan la posición de la placa (Fig. 2b) y que se correlacionan con la subducción de la dorsal Juan Fernández, los principales terremotos destructivos se ubican a profundidades menores.

La figura 2b muestra una distribución bi-

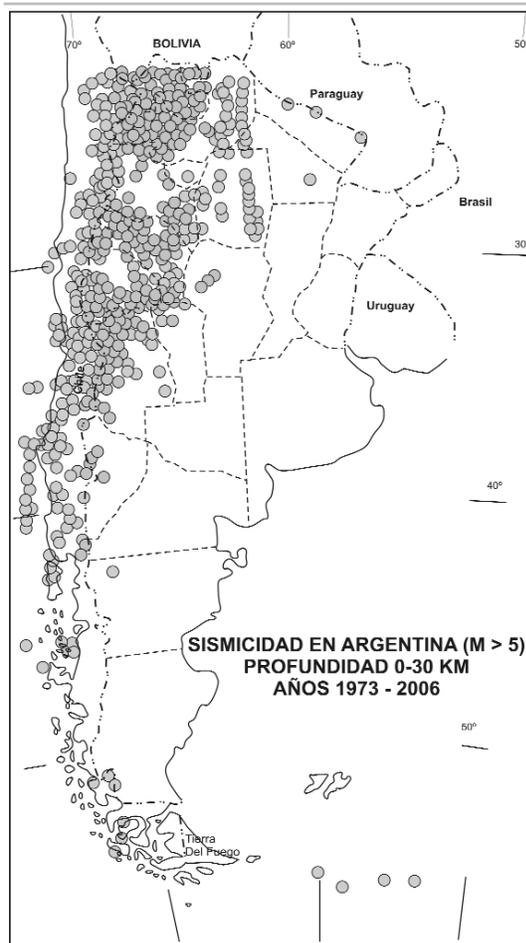


Figura 1: Sismos de $M \geq 5$ de profundidad menor a 30 km (Años 1973 - 2006). Fuente NEIC (2006).

modal de la sismicidad. Los eventos de profundidad intermedia corresponden a la sismicidad de intraplaca a lo largo de la zona de Wadati-Benioff de la placa de Nazca subducida (90-120 km). Los eventos superficiales corresponden a deformaciones corticales localizadas en la parte superior de la placa (5-35 km) y es el sector donde se generan los sismos que pueden constituir una amenaza para vidas humanas y construcciones. Otra zona de baja actividad sísmica aparece también entre 40 y 95 km (INPRES 1982, Smalley e Isacks 1987).

Entre estas latitudes se concentra gran parte de las deformaciones cuaternarias conocidas en la Argentina, donde se pueden ubicar y definir en forma certera las principales fuentes sismogénicas, las que muestran distintos grados de actividad. En este ambiente de intraplaca se produjeron los terremotos destructivos más importantes del país, asociados a rupturas superficiales, como los terremotos de 1944 (M_s 7,4) y 1977 (M_s 7,4). A los 32°S, las principales deformaciones

cuaternarias se representan por fallas y pliegues anticlinales cuaternarios, con una elevada sismicidad pero sin evidencias claras de ruptura superficial durante los terremotos que afectaron la región, posiblemente con excepción de la falla La Cal, durante el terremoto de 1861 (M_s 7,1) (Bastías *et al.* 1993, Mingorance 2000a, 2000b).

Al sur de los 33°S, el ángulo de inclinación de la Placa de Nazca cambia y la sismicidad disminuye notablemente hacia el sur, registrándose sólo sismos de baja magnitud (Fig. 2c).

MARCO SISMOTECTÓNICO

El área sísmica de Argentina se extiende a lo largo de los Andes desde la provincia de Jujuy por el norte, hasta la isla de Tierra del Fuego por el sur (Fig. 1). Sin embargo, como se mencionara anteriormente, los terremotos han sido escasamente documentados. Los primeros datos históricos que mencionan terremotos destructivos se refieren al sismo que destruyó la población de

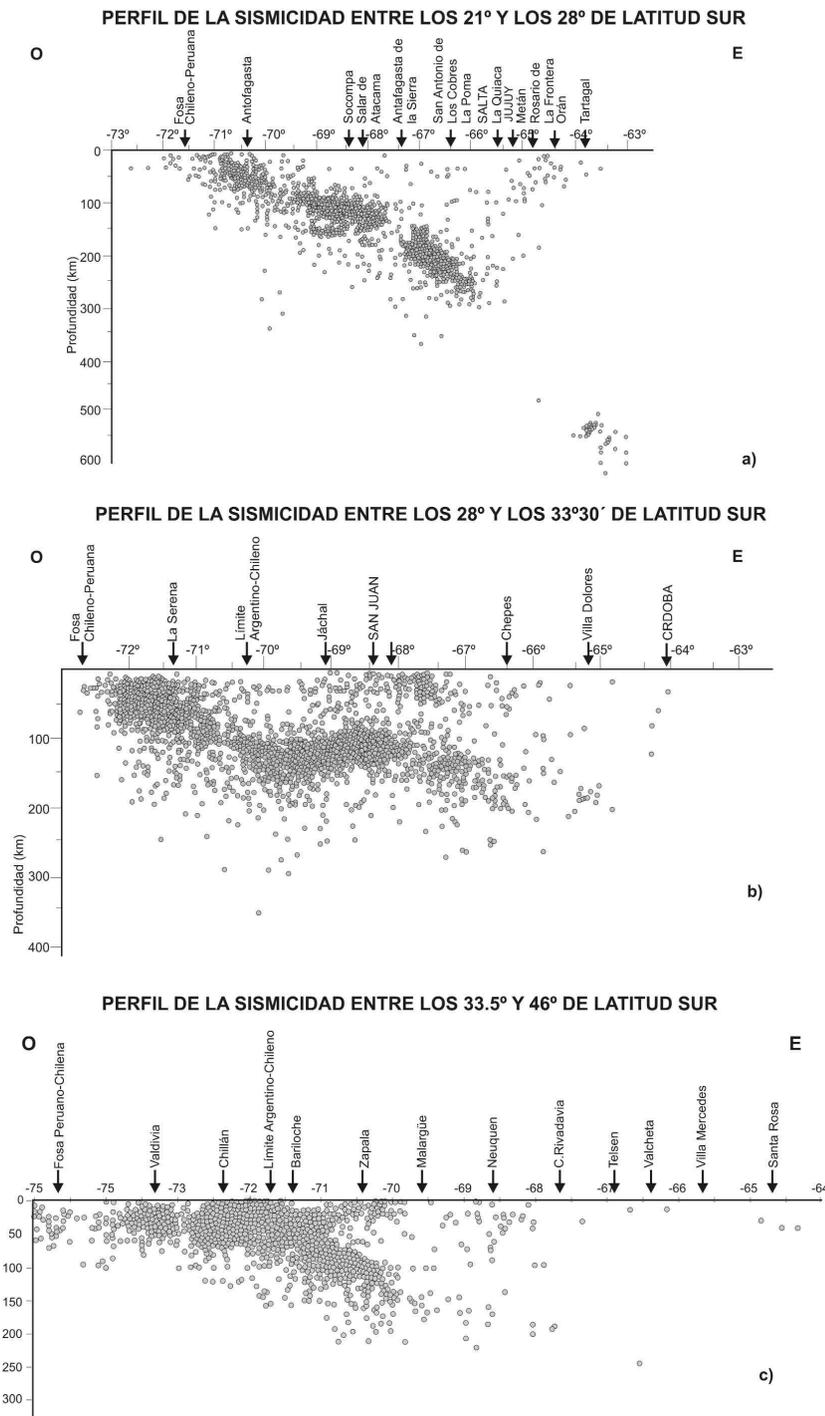


Figura 2: Perfiles oeste-este con la actividad sísmica a) Entre los 21° y 28° LS., b) entre 28° y 33° 30' LS y c) entre los 33° 30' y 46° LS. Modificado de INPRES 2006.

Talavera del Esteco en Salta el 13 de septiembre de 1692, para el cual se reconstruyó una intensidad IX en la escala Mercalli Modificada (INPRES 2006). Existen antecedentes de un primer sismo ocurrido en la localidad de San Nicolás (Buenos Aires) el

31 de octubre de 1527, según relatos de la expedición de Gaboto (Volponi 1976) aunque este dato no ha podido ser confirmado. Otros terremotos destructivos ocurrieron además en Salta (1782, 1844, 1871, 1930, 1948, 1959, 1973), Córdoba, con intensidad

máxima VII (1934), San Luis con una intensidad VIII (1936), Tierra del Fuego de intensidad VII (1949), San Juan-La Rioja con una intensidad IX (1894) y Catamarca con una intensidad VII (2004) (INPRES 2006). También se han registrado terremotos en regiones del país consideradas de muy baja sismicidad, como el ocurrido en 1888 en el Río de La Plata, entre Buenos Aires y Montevideo (INPRES 2006).

Las provincias cuyanas de Mendoza y San Juan también poseen un registro de terremotos muy corto en la historia (Bastías *et al.* 1993). Los registros más antiguos datan del siglo XVII, después de la conquista española, aunque existen antiguos relatos y leyendas sobre terremotos de gran magnitud ocurridos con anterioridad. Por ejemplo, Loos (1926) menciona un fuerte sismo, con características semejantes al ocurrido en Mendoza en 1861 que afectó a aborígenes de la región con anterioridad a la conquista (antes de 1561). Durante los últimos 150 años, esta región ha sufrido al menos seis terremotos con magnitud superior a 7,0; como los de 1861, 1894, 1927, 1944, 1952 y 1977, los que causaron numerosas víctimas, destrucción de ciudades y grandes pérdidas económicas. Otros terremotos de importancia por sus efectos fueron los de 1920 (Ms 6,3), 1929 (Ms 6,5) y 1941 (Ms 6,7) en los cuales se registraron numerosos fenómenos de licuefacción y procesos de remoción de masa (Moreiras 2004; Perucca y Moreiras 2006).

En el extremo sur de la Argentina, en la isla de Tierra del Fuego, se registraron tres terremotos con características destructivas, el de 1879 y los ocurridos el 17 de diciembre de 1949 de Ms 7,8 (Schwartz *et al.* 2002). Los registros sísmicos en la región son incompletos debido al asentamiento reciente de los pobladores europeos, sin embargo, la sismicidad actual es baja (Fig. 1).

A pesar del registro en el país de numerosos terremotos en tiempos históricos, no existe una relación clara entre sus epicentros y las principales estructuras cuaternarias y en la mayoría de los casos, tampoco se han reconocido superficies de ruptura histórica asociadas, a excepción de las observadas en las fallas La Laja durante el terremoto de 1944, Tierra del Fuego en 1949 y Niquizanga en el terremoto de 1977. También es probable

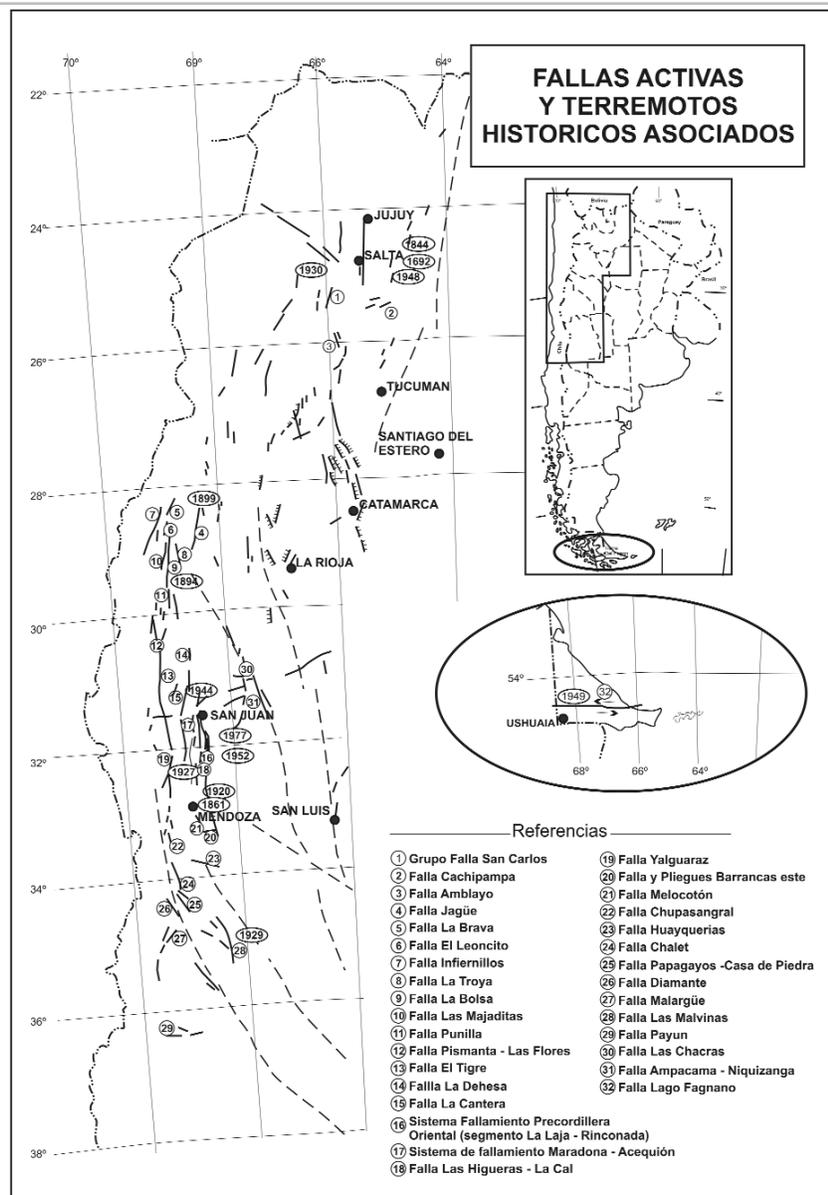


Figura 3: Fallas activas y terremotos históricos asociados.

que muchos de terremotos prehistóricos de gran magnitud se hayan caracterizado por deformaciones distribuidas en plegamientos y fracturación secundaria y/o que sus epicentros estén asociados a rupturas ciegas, antes que a rupturas superficiales (Fig. 3). Costa *et al.* (1999) indicaron que es factible que este tipo de paleoeventos, aún los de naturaleza destructiva, no hayan dejado evidencias en el registro morfoestratigráfico cuaternario, complicando las estimaciones sobre parámetros tales como recurrencia y tasa de movimiento.

En otros casos, las evidencias de actividad tectónica durante el Cuaternario sugieren la

ocurrencia de terremotos prehistóricos destructivos relacionados con diversas estructuras, recurrentes durante el Holoceno, tal como las estructuras de paleolicuefacción y avalanchas de roca holocenas observadas en el área Acequión asociadas a al menos tres eventos sísmicos de magnitud superior a 5,5 (Paredes y Perucca 2002, Perucca y Moreiras 2003).

FENÓMENOS DE LICUEFACCIÓN

La licuefacción es la disrupción *in situ* del soporte mutuo entre granos, generalmente

por una sacudida sísmica, en la que se produce la pérdida total o parcial de la resistencia de cizalla de los materiales afectados. En suelos sin cohesión, la transformación de un estado sólido a líquido es el resultado del aumento de la presión de los poros que disminuye el coeficiente de fricción durante un terremoto. El suelo completamente saturado, con arenas sin cohesión, generalmente limpias, que pueden incluir algo de gravas puede ser licuefaccionado durante la sacudida sísmica por la propagación de las ondas de cizalla (Rodríguez Pascua 1997).

Los sedimentos arenosos sin cohesión y los depósitos de limos suelen tener una resistencia de cizalla alta, soportando grandes cargas sin producirse alteraciones en su estructura interna. Pero bien por causas naturales o artificiales, se puede producir la pérdida de resistencia de esos materiales, cambiando su estado para pasar a comportarse como líquidos viscosos. El mecanismo que afecta a este cambio de estado, de sólido a líquido, es la licuación que genera depósitos licuefaccionados (Allen 1977, 1982). Esta pérdida de cohesión puede producir desplazamientos a favor de la pendiente o inyecciones de materiales licuefaccionados en respuesta a gradientes de presión.

Los ambientes sedimentarios más favorables para la génesis de licuefacciones son: playas, barras arenosas y sistemas fluviales, ambientes lacustres y fluviolacustres.

Obermeier *et al.* (1990, 1993) señalaron que para que se produzcan inyecciones en filón y cráteres de arena es necesaria una capa de arena de al menos 3 m de potencia. En cuanto a la edad de los materiales sedimentarios, consideraron que no se produce licuefacción en materiales anteriores al Pleistoceno y que la probabilidad de licuefacción disminuye mucho por debajo de los 3 m del nivel freático y sólo en condiciones particularmente inestables y con magnitudes mayores que 7,5 se genera licuefacción por debajo de este nivel. También las altas tasas de sedimentación favorecen la licuefacción (sedimentos de grano fino, lacustres y fluviales).

Obermeier (1994) y Moretti *et al.* (1995) coincidieron en señalar que sismos de magnitud 6 pueden generar estructuras de licuefacción en un radio de 40 km. Audemard y De Santis (1991) estudiaron estructuras de

licuefacción a 25 km del epicentro, para sismos de magnitud 5 a 5,7. Para terremotos de magnitud 7 según Seed (1968) el radio en el que se pueden dar licuefacciones es de 70 km y para sismos de magnitud 8 o superior, el radio pasaría a ser de 100 km (Moretti et al. 1995). Sin embargo, durante el sismo de 1977 ocurrido en la provincia de San Juan, con magnitud 7,4, se registró licuefacción a distancias de hasta 260 km en línea recta al epicentro. Este fenómeno es un punto de análisis donde se involucran varias condiciones, desde la forma de transmisión de ondas sísmicas, los tipos de suelos, hasta la variación de los niveles freáticos en las subcuencas que forman el valle en el que se asienta la mayor parte de la población.

En muchos de los terremotos ocurridos en el territorio argentino se registraron fenómenos de licuefacción, principalmente en las planicies fluviales de los valles en los que se ubica la mayor parte de la población y donde las condiciones son ideales para sufrir tales fenómenos. Las provincias más afectadas fueron San Juan, Mendoza y Salta, aunque también se registró licuefacción en La Rioja, Santiago del Estero y Tierra del Fuego (Fig. 4).

Algunos de los terremotos con características destructivas en los que se registraron volcanes de arena, grietas y derrames se describen a continuación:

EL TERREMOTO DEL 13 DE DICIEMBRE DE 1692 (SALTA)

En diciembre de 1692 a las 11 hs. se produjo en la población de Talavera del Esteco (provincia de Salta), un violento sismo de Ms 7,0. La profundidad hipocentral fue de 30 km y la intensidad máxima IX en la escala Mercalli Modificada (EMM) (INPRES 2006) (Figs. 4 y 5).

"Entre las 10 y 11 de la mañana, se produjo un violento terremoto, que por dos días posteriores se repitió con mayor o menor intensidad, desapareciendo Talavera y produciendo derrumbes y agrietamientos en el Valle de Lerma donde estaba la ciudad de Salta. El derrumbe de los edificios y los ruidos subterráneos mantuvieron a la población en crisis" (Lozano 1873). Según antiguos relatos, "la tierra se abrió en varias partes y lanzó una manga de agua,

que inundó todo, no dejando tras sí, sino un montón de ruinas". Otros relatos mencionan que "Esteco se arruinó enteramente con un terremoto que abriendo la tierra por varias partes arrojó borbotones de agua que inundaron todo el terreno" (Alcedo 1789).

EL TERREMOTO DEL 4 DE JULIO DE 1817 (SANTIAGO DEL ESTERO)

El 4 de julio de 1817, en la capital de la provincia Santiago del Estero a las 17:30 hs se produjo un fuerte sismo a una profundi-

dad de 30 km., Ms 7,0 e intensidad máxima de VIII (EMM) (INPRES 2006) (Figs. 4 y 5). Citan el 4 de julio de 1817 en Santiago del Estero fenómenos de licuefacción "Informes fidedignos que se han tomado ha causado el terremoto del día 4 del corriente, rige los mas espantosos estragos en la jurisdicción, así al norte de la ciudad se desplomaron las Iglesias, se destruyeron los edificios, se abrieron grietas en la tierra y salió agua, en este pueblo ruinoso en lo material según el quebranto que han sufrido los templos y los conventos sin poderse registrar

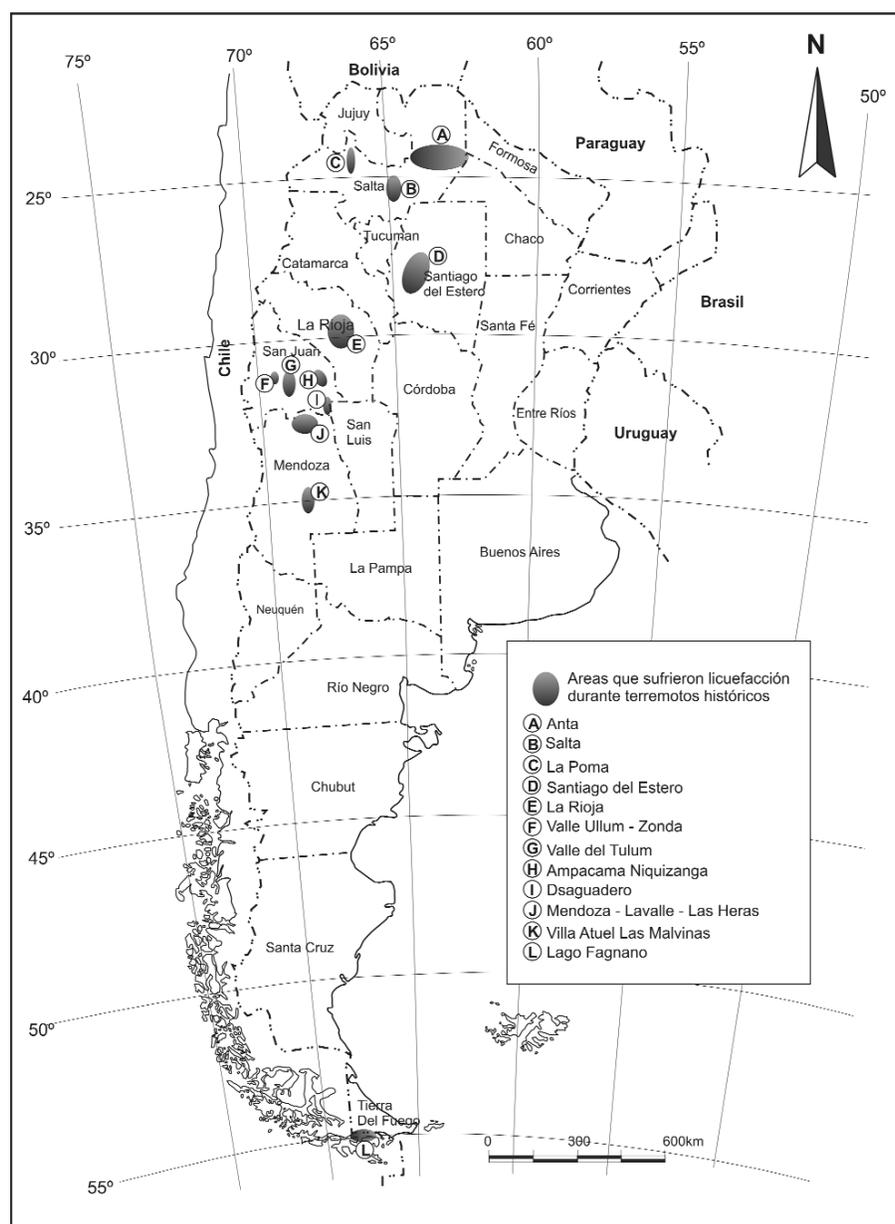


Figura 4: Áreas que sufrieron licuefacción durante los terremotos históricos ocurridos en Argentina.

una casa particular que no haya sufrido algo" (Actas Capitulares de Santiago del Estero, 1817). Hubo destrozos en Tucumán y Jujuy y en los alrededores de la ciudad de Salta, la tierra se abrió arrojando cantidad de agua y arenas de distintos colores (Temple 1920).

EL TERREMOTO DEL 18 DE OCTUBRE DE 1844 (SALTA)

El 18 de octubre de 1844, en la ciudad de Salta a las 23 hs. se produjo un sismo de Ms 6,5 y 30 km de profundidad. Su intensidad máxima fue de VII (EMM) (Figs. 4 y 5) (INPRES 2006). Se produjeron daños en construcciones y se registraron fenómenos de licuefacción "hubieron varios reventones de tierra: de algunas brotó agua, y de otras la tierra interior apareció en la superficie" (Toscano 1901). Según otro relato, "La tierra se entreabrió en varios lugares, expeliendo grandes cantidades de agua y arena" (Diario El Orden 1884). El sismo fue percibido en Tucumán, Catamarca, La Rioja y Santiago del Estero.

EL TERREMOTO DEL 20 DE MARZO DE 1861 (MENDOZA)

El 22 de marzo de 1861 a las 23 hs. se produjo un terremoto de Ms 7,2, profundidad de 30 km e intensidad máxima IX - X (EMM) (INPRES 2006), (Figs. 4 y 5), con epicentro en la ciudad de Mendoza, el que produjo más de 12.000 muertos (Rickard 1863), alrededor a 1.000 heridos y numerosas casas destruidas. La ciudad de Mendoza fue completamente destruida y se registraron fenómenos de licuefacción (INPRES 1995, 2006).

Buena Nueva y Las Ciénagas fueron las zonas más afectadas por la licuefacción, con grandes fisuras y grietas, con eyección de agua y formación de volcanes de arena y derrames. Ponte (1987) describe que durante este terremoto se generó una grieta en la localidad de Borbollón de la que salieron gases y agua con fuerte olor a podrido, conocido como "Los baños del Obispo". Meliton González de Solar en una de sus cartas (En: Revista de la Junta de Estudios Históricas de Mendoza, 1936) describe grandes masas de rocas cayendo de las laderas montañosas y numerosas fisuras en la

localidad de Uspallata. Este autor describe el colapso de terrenos y menciona que el área denominada "La Ciénaga" (Lavalle) fue completamente desecada luego del sismo y se originó una fisura de más de una legua que formó una nueva corriente llamada "río del temblor", cuyas aguas contenían sulfuros en sus partes más profundas. Forbes (1861) describió que después de una violenta detonación y una sacudida general cayeron grandes masas rocosas. A la mañana siguiente observó fisuras y grietas en las

colinas montañosas donde enormes masas rocosas rodaron hacia los valles, "algunas laderas han sido fisuradas surgiendo abundante agua". Bastías *et al.* (1993) relacionan este sismo con la denominada falla La Cal, ubicada inmediatamente al norte del cerro del mismo nombre. Mingorance (2000a y 2000b) también reconoció evidencias topográficas de rupturas recientes, al NE de la antigua ruta 7 (ruta provincial 83) y asoció esta falla al terremoto de 1861.

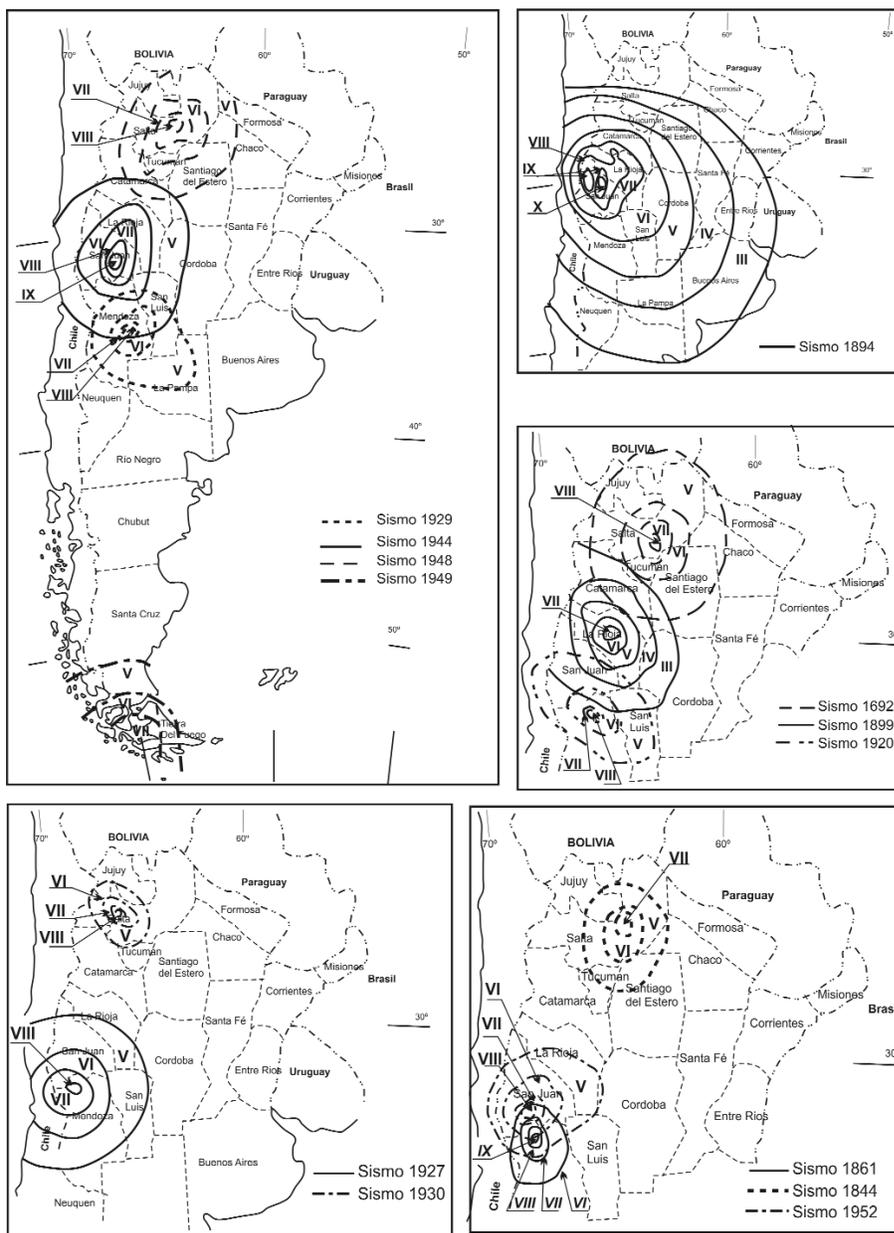


Figura 5: Mapa de isosistas de los terremotos en los que se produjo licuefacción. Modificado de INPRES 1993.

TERREMOTO DEL 27 DE OCTUBRE DE 1894 (SA. DE LA PUNILLA, SAN JUAN - LA RIOJA)

El llamado "Terremoto Argentino" del 27 de octubre 1894, al cual se le asignó una magnitud de 8,2 (Bodenbender 1894) y profundidad de 30 km (INPRES 2006), se produjo a las 19 horas de un día sábado, fue de carácter ondulatorio y larga duración. Su intensidad máxima fue IX (EMM) y causó alarma en gran parte de la Argentina y se percibió con distinta intensidad en Chile, sur de Brasil y Perú (Figs. 4 y 5) (INPRES 1993, 2006). Algunas particularidades de este sismo fueron las grandes alteraciones del terreno aún en áreas muy alejadas del epicentro. Se produjeron fenómenos de licuefacción, con agrietamiento del terreno, volcanes de arena y salida de agua en forma de chorros de hasta 2 metros de altura, en los terrenos saturados de agua y sin cohesión (Bodenbender 1894).

El diario La Unión del día 2 de noviembre de 1894 señala en el departamento Iglesia interesantes fenómenos ocurridos en el departamento Iglesia donde señala arroyos que salieron de sus cauces naturales y formaron lagunas, caída de masas de tierra en los barrancos, generación de grandes grietas de las que surgía el agua. También describe la aparición y desaparición de manantiales y que "en la zona de La Jarilla, camino a Copiapó, se han abierto muchas grietas, zanjás hondas y campos pantanosos, esto es, en el área del río Blanco".

En la ciudad de La Rioja y al sur de Jáchal se registraron chorros de agua y arena que alcanzaron más de un metro de altura. También se registraron en Guandacol y al norte de la sierra de Famatina (Bodenbender 1894).

En las localidades de Angaco y Albardón, por las características de sus suelos, se produjeron fenómenos de licuefacción y roturas en los canales de regadío, con enormes daños en los cultivos. Las enormes grietas con salida de agua se produjeron cerca de los arroyos, ríos y canales de regadío. Se registraron volcanes y cráteres de arena y derrames (Bodenbender 1894).

El epicentro de este terremoto fue localizado en el área norte del sistema de fallamiento El Tigre, en alguno de sus tramos, espe-

cialmente asociado a las fallas Leoncito y La Bolsa, aunque no se han podido reconocer rupturas superficiales a pesar de su gran magnitud (Perucca *et al.* 1999).

EL TERREMOTO DEL 12 DE ABRIL DE 1899 (JAGÜÉ, LA RIOJA)

En abril de 1899 se produjo un sismo cuya magnitud asignada fue de Ms 6,4 y profundidad de 30 km (INPRES 2006) con epicentro en el oeste de la provincia de La Rioja, poco conocido en el registro histórico de nuestro país a pesar de que su intensidad se reconstruyó en IX (EMM) (INPRES 2006) en las poblaciones más cercanas al área epicentral. El sismo principal se produjo a las 13:10 hs, su duración fue de 90 segundos y fue acompañado de varias réplicas. Fue precedido además por un sismo premonitor a las 16:20 hs. del día anterior, y otro, instantes antes del sismo principal. El terremoto fue percibido en las provincias de La Rioja, Catamarca, San Juan, Córdoba, Tucumán y Santiago del Estero (Fig. 5). Tuvo características destructivas en las localidades de Vinchina y Jagüé, población que quedó completamente destruida y ocasionó daños en numerosas localidades de la provincia de La Rioja. Además de los numerosos deslizamientos de laderas, se describieron grietas en el terreno de las que salían "humo y cenizas" en Vinchina, Jagüé y Hornos.

Según un artículo del diario La Prensa (1899) "no quedó ninguna casa en pie, ninguna muralla, todo se vino al suelo, quedando el pueblo (Jagüé) completamente agrietado como una granada". La cantidad de víctimas probablemente no fue mayor por la hora en que ocurrió el sismo y por la escasa densidad poblacional en la región.

Perucca y Navarro (2005) establecen que el terremoto del 12 de abril de 1899 habría tenido su epicentro en el oeste del bolsón de Jagüé, posiblemente relacionado con la falla del mismo nombre, aunque no se han reconocido evidencias de ruptura superficial histórica (Fig. 3).

TERREMOTO DEL 12 DE AGOSTO DE 1903 (USPALLATA, MENDOZA)

El 12 de agosto de 1903 a las 23 hs. se pro-

dujo un fuerte sismo de Ms 6,3, intensidad VII (EMM) y profundidad de 70 km que afectó sobre todo la localidad de Las Heras y destruyó viviendas e iglesias. Su epicentro se ubicó en la región de Precordillera, cerca de Uspallata (Figs. 4 y 5) (INPRES 1995, 2006).

La intensidad del sismo fue mayor en Las Heras donde se registró salida de agua. En Canota se formaron grietas y fisuras de las que emanaba agua caliente. En una de ellas el agua era clara, pero en las otras dos, oscura (Diario Los Andes 1903)

TERREMOTO DEL 26 DE JULIO DE 1917 (PANQUEHUA, MENDOZA)

El 26 de julio a las 10:42 hs. se produjo un violento sismo de Ms 6,5, profundidad de 50 km e intensidad VII (EMM) (Figs. 4 y 5) (INPRES 2006). Se registraron numerosos grietas y fisuras y volcanes de arena a escasos kilómetros al norte de la ciudad de Mendoza, en Panquehua. Se reportaron fisuras y volcanes de arena en Las Heras donde el agua surgente desapareció a los 4 días. También se menciona surgencia de agua en lugares conocidos como "ojos de agua" y diques de arena formados por el terremoto (INPRES 1995). Este sismo fue registrado por el Observatorio de La Plata y por el Servicio Sismológico de Santiago de Chile (Tello 2003) y constituye uno de los primeros antecedentes de registro instrumental en la Argentina.

Bastías *et al.* (1993) vinculan a la zona de falla del cerro Salinas, en el Sistema de Fallamiento de Precordillera oriental con el epicentro de este sismo, aunque no se han registrado evidencias de ruptura superficial histórica (Fig. 3).

TERREMOTO DEL 17 DE DICIEMBRE DE 1920 (CENTRAL - COSTA DE ARAUJO, MENDOZA)

El 17 de diciembre a las 19 hs. se registró un sismo de Ms 6,8 y profundidad de 40 km (INPRES 2006) con epicentro en Costa de Araujo (Figs. 4 y 5). Las localidades más afectadas fueron Costa de Araujo, Colonia Estrella, Lavalle, La Central y Tres Portañas. También El Borbollón y Jocolí fueron dañadas. Se registró una intensidad VI en

Colonia André, IX en Colonia Estrella y X (destrucción total) en Costa Araujo, con 250 víctimas (INPRES 1995, 2006).

En la localidad de La Central, departamento San Martín se generaron numerosas grietas y fisuras, de las cuales emergió agua con arena. La mayor tenía 2,5 m de ancho y 3 m de profundidad (Morey 1938). También se generaron cráteres por los que salía agua y arena en la localidad de Tres Porteñas. Describió abundantes fisuras en Costa de Araujo cerca del río Mendoza, dispuestas paralelamente y con una orientación N-S y anchos entre 0,2 y 0,3 m y numerosos cráteres ubicados en grupos cada 40 o 50 m en el lecho del río, por los que emergía agua y arena.

En la localidad de Lavalle se abrieron numerosas grietas y en algunos lugares, la tierra se elevó formando un círculo convecho de unos 4 o 5 m de ancho por 1 m de alto. Se observaron estas estructuras en un campo cultivado y en el pueblo de Lavalle (Morey 1938).

Durante este terremoto, el agua subterránea rellenó canales de riego e inundó calles complicando el tránsito. A partir de esa fecha, el nivel freático ascendió notablemente en Jocolí, Corralitos, San Martín y Alto Verde y centenares de hectáreas de cultivos quedaron inundadas. La localidad de Alto Verde, caracterizada por sus cultivos de alfalfa, fue invadida por una vegetación de tipo lacustre.

Como consecuencia del terremoto del 17 de diciembre, el nivel freático se elevó en Valle Hermoso y Tres Porteñas.

Por otra parte, algunos pozos artesianos y pantanos se secaron por lo que los agricultores de Corralitos, Buena Nueva, y Rodeo de La Cruz requirieron un mayor volumen de agua de riego. Otro efecto producido por el sismo fue la subsidencia del terreno desde Jocolí hasta Alto Verde y los numerosos daños en las construcciones. Loos (1926) expresó que la depresión del Borbollón rodeada por depósitos eólicos se originó por este terremoto.

TERREMOTO DEL 14 DE ABRIL DE 1927 (USPALLATA, MENDOZA)

Este terremoto, ocurrido a las 6:30 hs. afectó la parte más moderna de la ciudad capital, colapsaron la casa de gobierno y nume-

rosas escuelas. También fueron dañadas iglesias y la localidad El Resbalón fue completamente destruida con tres víctimas fatales. Fue percibido en San Juan, con numerosos daños y en La Rioja, Córdoba, y Buenos Aires. Su magnitud fue de Ms 7,1, la intensidad VIII (EMM) y la profundidad 110 km (Figs. 4 y 5) (INPRES 1995, 2006).

Los observadores notaron un incremento de agua caliente en los manantiales de los baños termales de Villavicencio, continuando esta situación hasta el día siguiente (Loos 1928). También se reportaron numerosas fisuras, grietas y cráteres en los que surgía agua en la localidad de Resguardo (Las Heras).

TERREMOTO DEL 30 DE ABRIL DE 1929 (VILLA ATUEL- LAS MALVINAS, MENDOZA)

Este terremoto, ocurrido a las 9:40 hs., de magnitud Ms 6,5; intensidad VIII (EMM) y profundidad 40 km (INPRES 2006), afectó las provincias de Mendoza, San Juan, San Luis, NO de Córdoba, sur de Santa Fe, centro-oeste de Buenos Aires, La Pampa y Neuquén; causando 40 muertos y numerosos heridos (Figs. 4 y 5). Se destruyeron numerosas viviendas y cuantiosos daños en bodegas. El ferrocarril Pacífico resultó afectado en numerosos tramos, con deformaciones de vías, roturas de bulones y hundimientos (hasta 75 cm) (INPRES 1995, 2006). Lünkenheimer (1929) describió numerosos cráteres de los que surgía agua caliente (18°C) en Villa Atuel. Este autor mencionó que la licuefacción se vio favorecida por la presencia de loess y un nivel freático a sólo 95 cm de profundidad.

Las fisuras y grietas se generaron a lo largo y paralelamente a las paredes de las casas, canales de regadío y dunas.

Si bien este sismo ha sido asociado a la falla Las Malvinas, localizada en el borde oriental del Bloque de San Rafael (Fig. 5), con una longitud de 68 km y rumbo N25° O (Cisneros y Bastias 1993), no se han encontrado evidencias de rupturas asociadas a dicho evento sísmico.

EL TERREMOTO DEL 24 DE DICIEMBRE DE 1930 (SALTA)

El 24 de diciembre de 1930 a las 6 hs., se

produjo un violento sismo de Ms 6,0 en la localidad de La Poma a una profundidad de 30 km y con una intensidad VIII Mercalli Modificada (Figs. 4 y 5) (INPRES 2006).

El pueblo fue completamente destruido, quedando en pie la iglesia y algunos edificios en muy mal estado. Se registraron más de cuarenta muertos y numerosos heridos. El diario La Opinión (1930) describe la formación de "grietas que lanzaban agua hirviendo y que paulatinamente se fueron cerrando".

EL TERREMOTO DEL 15 DE ENERO DE 1944 (ALBARDÓN, SAN JUAN)

El 15 de enero de 1944, a las 20:49 hs. se produjo un sismo que duró 15 o 20 segundos destruyendo la ciudad de San Juan casi completamente. Alcanzó una magnitud Ms 7,4, una intensidad IX (EMM) y profundidad de 30 km (Figs. 4 y 5) (INPRES 1993, 2006). La zona de máxima intensidad fue comparativamente reducida y abarcó aproximadamente 200 km². El epicentro fue ubicado a 20 km al norte de la ciudad, en la localidad de La Laja y el sismo fue percibido en las ciudades de Córdoba y Buenos Aires.

En comparación con los otros grandes sismos ocurridos en la provincia de San Juan (27 de octubre de 1894 y 23 de noviembre de 1977), este sismo fue de relativamente corta duración y de menor área total de percepción del fenómeno. El área de mayor destrucción durante el terremoto se localizó en la ciudad de San Juan, especialmente en el norte y en el departamento Albardón y aledaños.

Aproximadamente el 80% de los edificios construidos mayoritariamente con barro y paja mediante el empleo de adobes, materiales que se usaban desde la colonia, fueron destruidos. Murieron entre 6.000 y 10.000 personas y hubo un número elevadísimo de heridos, sumándose una marcada recesión económica - social (INPRES 1993).

En la falla La Laja, Harrington (1944) midió luego del sismo un desplazamiento vertical máximo de 22 cm y uno horizontal de 25 cm. Castellanos (1945), observó un movimiento de 0,30 m luego del sismo, que creció a 0,60 m en los meses subsiguientes. Notó además, que el sismo había sido más

violento en Albardón que en la capital de San Juan, ya que se destruyeron incluso algunas casas construidas con ladrillos, y las veredas y calles quedaron onduladas.

Durante el terremoto de 1944 se registraron numerosos fenómenos de licuefacción, con la surgencia de aguas y la formación de volcanes de arena, no sólo en el departamento Albardón sino también en localidades vecinas. En las canteras de travertino ubicadas unos 5 km al norte de los baños, el sismo fue de gran intensidad y los efectos de considerable importancia, las casas construidas con bloques de travertino orientadas de norte a sur se cayeron y de las salas de máquinas cortadoras saltaron numerosas piezas. Se originaron grietas de las que surgió un agua sulfurosa y termal (Castellanos 1945).

En la quebrada de Ullum Castellanos (1945) menciona la caída de rocas y deslizamientos y en las localidades de Zonda y Ullum en donde se originaron hundimientos de áreas cultivadas y formación de grietas con escapes de agua y arena.

Perucca y Paredes (2003) describen fallas inversas subparalelas, con un rumbo promedio N 40° E, en general coincidentes con la estratificación de sedimentitas neógenas que inclinan entre 30° y 45° al este y que afectan distintos niveles de conos aluviales, terrazas y travertinos de edad cuaternaria (Fig. 3). La longitud de los distintos tramos de falla varía entre 6 y 8 km.

EL TERREMOTO DEL 25 DE AGOSTO DE 1948 (ANTA, SALTA)

El 25 de agosto de 1948 ocurrió un violento terremoto con epicentro en la localidad de Anta, a las 6 hs y a una profundidad de 50 km. La magnitud fue de Ms 7,0 y su intensidad máxima IX (EMM) (Figs. 4 y 5) (INPRES 2006).

En Anta, casi todas las casas del pueblo se vieron afectadas por el sismo, algunas derrumbadas y otras a punto de caer, sin víctimas. En los alrededores de la población, como una muestra de lo violento que fue el fenómeno en esa zona, la tierra presentaba grietas profundas.

También se registraron fenómenos de licuefacción en las localidades de Santa Rita y Las Pavas, donde a consecuencia del fenómeno, "se abrieron grietas en la tierra, ver-

tiendo agua en cantidad" (Diario El Intransigente 1948).

Se observaron también, grietas en los caminos que "desprendían un barro colorado" (Diario La Nación 1948).

EL TERREMOTO DEL 17 DE DICIEMBRE DE 1949 (LAGO FAGNANO -TIERRA DEL FUEGO)

El 17 de diciembre de 1949 se produjo un fuerte terremoto a las 6:53 hs. con una magnitud Ms 7,8 e intensidad VII (EMM) y luego de varias réplicas se registró un nuevo sismo de igual magnitud alrededor de las 12 hs. (Figs. 4 y 5) (Schwartz *et al.* 2001, 2002, INPRES 2006), que provocó hundimientos en la costa del lago Fagnano y generó en su margen oriental una barrera de grava que cerró una laguna de hundimiento formada por olas de origen sísmico (seiches). El faro del cabo San Pablo se inclinó 15° respecto de su posición original. El sismo fue percibido por los habitantes de Ushuaia donde se registró una víctima fatal y se produjo la rotura del muelle y daños de menor importancia, y también en Río Grande. Fue percibido además en Río Gallegos y San Julián, al sur de la provincia de Santa Cruz. Según el INPRES (2006), los diarios La Prensa y La Nación mencionaron mayores daños en la población de Punta Arenas (Chile) con derrumbes de viviendas y agrietamientos, además de una fuerte marejada que arrojó las embarcaciones contra la playa; que en Ushuaia. Fue muy probable la ocurrencia de fenómenos de licuefacción en la zona de turbales en Ushuaia y en planicies costeras fangosas en el área de Río Grande, consideradas actualmente áreas muy susceptibles a sufrir licuefacción (Isla y Bujalesky 2004). Schwartz *et al.* (2002) describen el relato de un poblador de la zona en el que menciona la formación de una escarpa de un metro de altura coincidente con el trazo de la falla, que interrumpió el tránsito de vehículos en un camino ubicado en la orilla oriental del lago Fagnano.

TERREMOTO DEL 10 DE JUNIO DE 1952 (POCITO, SAN JUAN)

El 10 de junio de 1952, a las 21:30 hs. se produjo un sismo de magnitud Ms 7,0,

intensidad VIII (MM) y profundidad 30 km (INPRES 2006). Su epicentro se ubicó al sudoeste de la ciudad capital y las zonas más afectadas fueron los departamentos de Zonda, Pocito y Ullum.

Hubo algunos heridos y escasas víctimas fatales. Los daños más serios en las construcciones se produjeron en las localidades del Abanico, Villa Aberastain, La Rinconada, Pocito, Carpintería y Zonda. En el Abanico se destruyeron unas 200 viviendas no sismorresistentes y la intensidad fue de VIII en la escala Mercalli Modificada (INPRES 1993). En la ciudad, los daños fueron menores y la intensidad fue de VI MM (Figs. 4 y 5). También se registraron grietas y fisuras en numerosos terrenos cultivados, con salida de agua en Zonda y derrumbes en el cerro Blanco, que interrumpieron el tránsito.

El sismo fue percibido en una extensa región que abarcó parte de Chile y las provincias de Córdoba, Santa Fe y Buenos Aires. El epicentro de este sismo se ha ubicado en la localidad de La Rinconada, asociado a las fallas modernas del sistema de fallamiento de Precordillera Oriental - tramo Rinconada, aunque no se han encontrado evidencias de ruptura superficial durante este evento (Tello y Perucca 1993). Sin embargo, Groeber (1944) menciona la existencia de un antiguo camino para carros, en el cual se habría formado un escalón durante un evento sísmico anterior a 1944.

La falla Rinconada se localiza en el borde oriental de la sierra Chica de Zonda y posee una longitud aproximada de 30 km (Bastias 1986), con un rumbo submeridional e inclinación entre 20° y 40° al este (Fig. 3). Las fallas afectan superficies aluviales de edad pleistocena-holocena y terrazas holocenas y su trazo es ligeramente curvo y cóncavo al oeste (Tello y Perucca 1993, Martos 1987, 1993, 1999, Perucca y Paredes 2004).

TERREMOTO DEL 23 DE NOVIEMBRE DE 1977 (CAUCETE, SAN JUAN)

En la mañana del 23 de noviembre de 1977 se produjo un terremoto de larga duración que afectó la región centro-oeste de la Argentina y se percibió en gran parte del territorio, en el centro de Chile y hasta en el sur

de Brasil (Figs. 4 y 5). Este terremoto se generó por un mecanismo denominado de evento múltiple, ya que ocurrieron dos terremotos, el primero disparador del segundo. El primer sismo se produjo a las 6:26 hs.; su magnitud fue Ms 6,6 y su epicentro se ubicó al noreste de la sierra de Pie de Palo, a una profundidad de 17 km. Veintiún segundos más tarde se produjo el terremoto principal de magnitud Ms 7, intensidad IX (MM) y epicentro en el extremo sudeste de la sierra de Pie de Palo a una profundidad de 25 km (INPRES 1993, 1977).

El terremoto de 1977 produjo 65 víctimas fatales y más de 300 heridos. Las zonas más afectadas fueron los departamentos que rodean a la ciudad de San Juan, en el valle del Tulum (Caucete, 25 de mayo, 9 de Julio, San Martín, Angaco, Santa Lucía Rawson, Sarmiento y Pocito). Los mayores daños se produjeron en las construcciones de adobe. Al igual que en los sismos anteriores, se produjeron fenómenos de licuefacción de suelo, al este del valle del Tulum y valle del río Bermejo. Se originaron cráteres y volcanes de arena, derrames laterales y violentas salidas de agua con hasta tres metros de altura. La red vial fue enormemente afectada, al igual que la red de riego y drenaje y la infraestructura ferroviaria. Por la licuefacción se produjeron numerosos daños en las líneas de transmisión de energía, redes de distribución de agua potable, perforaciones para riego (INPRES 1977, 1993). También hubo daños en numerosas obras civiles aún no inauguradas, como barrios y escuelas.

El terremoto de 1977 se asocia al sistema de fallamiento Ampacama-Niquizanga, durante el cual se produjo ruptura superficial y un desplazamiento vertical promedio de 30 cm, según un relevamiento geodésico efectuado en 1982 (Bastias 1986).

CONCLUSIONES

Salvo en el caso de los terremotos ocurridos en 1944 y 1977 en Albardón y Caucete (San Juan), y en el año 1949 en Tierra del Fuego, durante los demás sismos no se registraron evidencias concluyentes de rupturas superficiales. Sin embargo, en algunos casos se han relacionado los eventos sísmicos históricos con los trazos de fallas y estructuras con evidencias de actividad tec-

tónica cuaternaria, ubicadas en las proximidades de los epicentros.

Los estudios neotectónicos realizados en la región de Cuyo constituyen un ejemplo de las metodologías que deben usarse para lograr un análisis detallado de cada área, con la confección de trincheras y el cálculo de parámetros sísmicos asociados con cada estructura con evidencias de actividad tectónica durante el Cuaternario, que permitan la estimación del riesgo sísmico sobre todo en la región noroeste y sur del territorio argentino. La ocurrencia de al menos dos terremotos de Ms > 7,5 en la Isla de Tierra del Fuego en tiempos históricos y de numerosos sismos de magnitud suficiente como para generar licuefacción en las provincias de Salta, La Rioja y Santiago del Estero en el noroeste, constituyen evidencias claras de la posibilidad de que se produzca en el futuro un terremoto con similares características.

La mayoría de los valles en los que se asientan las principales ciudades del oeste Argentino son susceptibles a sufrir licuefacción, ya que se ubican principalmente sobre depósitos fluviales no consolidados. Es así que, aún cuando se construya bajo normas sismorresistentes, la falta de estudios de los suelos en los que se asientan las poblaciones, puede provocar grandes pérdidas económicas, no sólo en las edificaciones sino también en las comunicaciones, pozos de agua, caminos, gasoductos, líneas eléctricas, etc.

Finalmente, en la caracterización de la susceptibilidad a la licuefacción de estas regiones, la información base debe ser la geotécnica. Dicha información debe complementarse con datos históricos y geológicos.

AGRADECIMIENTOS

Esta publicación se ha realizado en el marco del proyecto PIP-CONICET 2163. Los autores desean expresar su agradecimiento a los Dres. Carlos Costa y G. Sagripanti cuyas valiosas sugerencias contribuyeron a mejorar el original.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Alcedo, A. 1786. Diccionario Histórico-Geo-

gráfico de las Indias Occidentales o América, es a saber de los reynos del Perú, Nueva España, Tierra Firme, Chili y Nuevo Reyno de Granada 8, 17p.

Actas capitulares de Santiago del Estero, 1817, 4 (1727 a 1833). Acta capitular del 11 de julio de 1817, Buenos Aires

Allen, J. 1977. The possible mechanics of convolute lamination in graded sand beds. *Journal Geological Society* 134: 19-31, London.

Allen, J. 1982. Sedimentary structures. Their character and physical basis. The Netherlands, Elsevier Publishing Co. *Developments in Sedimentology*, 30B, I and II, 663 p.

Audemard, A. y De Santis, F. 1991. Survey of liquefaction structures induced by recent moderate earthquakes. *Bulletin International Association Engineering Geologists* 44: 4-16.

Bastias, H., Tello, G., Perucca, L. y Paredes, J. 1993. Peligro Sísmico y Neotectónica. En V. Ramos (ed.) *Geología y Recursos Naturales de Mendoza*, 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Relatorio 6(1): 645-658, Mendoza.

Bodenbender, G. 1894. El terremoto argentino del 27 de octubre de 1894. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias* 14: 293-329, Córdoba.

Castellanos, A. 1945. Cuatro Lecciones sobre terremotos. Parte B: El terremoto de San Juan. *Asociación Cultural de Conferencias de Rosario*. Publicación 6:77-243, Rosario.

Cisneros, H. y Bastias, H. 1993. Neotectónica del borde oriental del bloque de San Rafael. 12° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 270-276, Mendoza.

Costa, C., Rockwell, T., Paredes, J. y Gardini, C. 1999. Quaternary deformations and seismic hazard at the Andean Orogenic Front (31°-33°, Argentina): A paleoseismological perspective. 4° International Symposium on Andean Geodynamics, Extended Abstracts: 187-191, IRD, Paris.

Diario La Nación 1948. Edición del día 27 de agosto, página 5.

Diario La Opinión 1930. Edición del día 27 de diciembre, "Ecos del Terremoto en La Poma", página 4.

Diario La Prensa 1899. Ediciones del mes de abril.

Diario La Unión 1894. Diario de la tarde. San Juan. Año 16(2): 2 - 20.

Diario Los Andes 1903. Edición del día 28 de

- agosto, "Informe del Dr. Pablo A. Loos", página 4.
- Diario El Intransigente 1948. Edición del día 26 de agosto, "Un temblor de tierra de gran magnitud alarmó a diversas regiones del norte argentino", página 6.
- Diario El Orden 1884. Edición del día 18 de Octubre, página 2
- Forbes, D. 1861. Informe Sobre El Terremoto de Mendoza. Revista de la Junta de Estudios Históricos de Mendoza, 10 (Primera Época, 1938): 111 - 120, Mendoza.
- Grober, P. 1944. Movimientos tectónicos contemporáneos y un nuevo tipo de dislocaciones. Notas del Museo de La Plata, Argentina, Geología, 9 (33): 363-375.
- Harrington, H. 1944. El sismo de San Juan del 15 de enero de 1944. Corporación para la Promoción del Intercambio S.A., 79 p., Buenos Aires.
- INPRES 1977. El Terremoto de San Juan del 23 de noviembre de 1977. Informe Preliminar, 102 p. San Juan
- INPRES 1982. Microzonificación sísmica del valle del Tulum. Provincia de San Juan. Resumen Ejecutivo, 120 p., San Juan
- INPRES 1993. La verdadera dimensión del problema sísmico en la provincia de San Juan. Publicación Técnica 18, 46 p. San Juan.
- INPRES 1995. Microzonificación sísmica del Gran Mendoza. Resumen Ejecutivo. Publicación Técnica 19, 150 p., San Juan.
- INPRES 2006. Listado de terremotos históricos, catálogo on-line (www.inpres.gov.ar).
- Isla, F.I. y Bujalesky, G.G. 2004. El maremoto de los Yaganes. Universidad Nacional de Mar del Plata, Nexos 9: 29-33, Mar del Plata.
- Jordan, T. y Gardeweg, M. 1987. Tectonic evolution of the late Cenozoic Central Andes. En: Z. Ben Avraham (ed.), Mesozoic and Cenozoic Evolution of the Pacific Margins, Oxford University Press: 193-207, Nueva York.
- Kay, S., Mpodozis, C., Ramos, V. y Munizaga, F., 1991. Magma source variations for mid-late Tertiary magmatic rocks associated with a shallowing subduction zone and a thickening crust in the central Andes (28° to 33° S). En Harmon, R. S. y Rapela, C.W. (eds.) Andean Magmatism and its Tectonic Setting, Geological Society of America, Special Paper 265: 113-137.
- Kendrick, E. Bevis, M., Smalley, B., Barriga, R., Lauría, E. y Souto, L. 2003. The Nazca-South America Euler vector and its rate of change. Journal of South American Earth Sciences 16: 125-131.
- Loos P.A. 1926. Los terremotos del 17 de diciembre de 1920 en Costa de Araujo, La valle, La central, Tres Portañas, etc. Observatorio Astronómico de la Universidad Nacional de La Plata, Contribuciones Geofísicas, 1(2): 127-158.
- Loos P.A. 1928. El terremoto Argentino-Chileno del 14 de abril de 1927. Observatorio Astronómico de la Universidad Nacional de La Plata, Contribuciones Geofísicas 2(2): 65-106.
- Lozano, F. 1873. Historia de la conquista del Paraguay, Río de la Plata y Tucumán 1, 183 p.
- Lünkenheimer F. 1929. El terremoto surmendocino del 30 de mayo de 1929. Observatorio Astronómico de la Universidad Nacional de La Plata, Contribuciones Geofísicas 3(2): 67-121.
- Martos, L. 1987. Evidencias de movimientos neotectónicos en una terraza de edad holocena, la Rinconada, San Juan. 10° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 263-265, Tucumán.
- Martos, L. 1993. Evidencias de actividad tectónica en el Pleistoceno superior-Holoceno, Quebrada del Molino, Pocito, San Juan, Argentina. 12° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 258-265, Mendoza.
- Martos, L. 1999. Dinámica morfoestructural del paisaje cuaternario en el piedemonte oriental de la Precordillera Oriental, San Juan 14° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 275-278, Salta.
- Mingorance, F. 2000a. Peligro de desplazamiento superficial de falla en el núcleo urbano del Gran Mendoza, Argentina. 9° Congreso Geológico Chileno, Actas 1: 81-85.
- Mingorance, F. 2000b. Caracterización de la geometría de la zona de fallamiento activo La Cal, Mendoza, Argentina. 9° Congreso Geológico Chileno, Actas 1: 800-804.
- Moretti, M., Pieri, P., Tropeano, M. y Walsh, N. 1995. Tyrrhenian seismites in Bari area (Murge-Apulian foreland). Atti dei Convegni Licenci, 122. Terremoti in Italia. Accademia Nazionale dei Lincei: 211 - 216.
- Morey F. 1938. Los temblores de tierra. Mendoza Sísmica. Editorial D'Accurzio: 55-80. Mendoza.
- Obermeier, S. 1994. Using liquefaction-induced features for paleoseismic analysis. En Obermeier, S. y Jibson, W. (eds.) Using ground-failure features for paleoseismic analysis Geological Survey Open-File Report, 94-633: A1-A98.
- Obermeier, S., Martin, J., Frankel, T., Munson, P., Munson, C. y Pond, E. 1993. Liquefaction evidence for one or more strong Holocene earthquakes in the Wabash Valley of southern Indiana and Illinois. US Geological Survey Professional Paper 1536, 27 p.
- Obermeier, S., Jacobson, R., Smoot, J., Weems, R., Gohn, G., Monroe, J. y Powars, D. 1990. Earthquake-induced liquefaction features in the coastal setting of South Carolina and in the fluvial setting of the New Madrid seismic zone. US Geological Survey Professional Paper 1504, 44 p.
- Paredes, J. y Perucca, L., 2000. Evidencias de paleolicuefacción en la quebrada del río Acequián, Sarmiento, San Juan. Revista de la Asociación Geológica Argentina 55 (4): 394-397.
- Perucca, L.P. y Moreiras, S.M. 2003. Avalanchas de rocas holocenas y fenómenos de licuefacción asociados a paleoterremotos en el Río Acequián, provincia de San Juan, Argentina. 2° Congreso Nacional de Cuaternario y Geomorfología 134 - 141, Tucumán.
- Perucca, L. y Navarro, C. 2005. El terremoto de Jagüé, departamento Vinchina, provincia de La Rioja. 16° Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 501-504, La Plata.
- Perucca, L. y Paredes, J. 2003. Fallamiento cuaternario en la zona de La Laja y su relación con el terremoto de 1944, Departamento Albardón, San Juan, Argentina. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 20: 1:20-26, México.
- Perucca, L. y Paredes, J. 2004. Descripción del fallamiento activo en la provincia de San Juan. Tópicos de Geociencias. Un volumen de Estudios Sismológicos, Geodésicos y Geológicos en Homenaje al Ing. Fernando Séptimo Volponi: 269-309, San Juan.
- Perucca L., Paredes J., Tello.G. y Bastías H. 1999. Fallamiento Activo en el área norte del Sistema de Fallamiento El Tigre, San Juan-La Rioja, Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina 54 (3):206-214, Buenos Aires.
- Ponte J. R. 1987. Mendoza, aquella ciudad de barro. Imprenta municipal de la ciudad de Mendoza: 42-43, Mendoza
- Ramos, V. 1988. The tectonics of the central Andes: 30° to 33° S latitude. En Clark, S., Burchfield, D. (eds.) Processes in Continental

- Litospheric Deformation, Geological Society of America, Special Paper 218: 31-54.
- Revista de la Junta de Estudios Históricos de Mendoza, 1936. Volumen 2: 687 p.
- Rickard, F. I. 1863. A mining journey across the great Andes, with explorations in the silver mining district of the province of San Juan and Mendoza and a journey across the Pampa to Buenos Aires. Viaje a través de los Andes. Smith Elder & Co, 65 p., Cornhill.
- Rodríguez Pascua, M. 1997. Paleosismicidad en emplazamientos nucleares. Estudio en relación con el cálculo de peligrosidad sísmica. Consejo de Seguridad Nuclear. Colección Otros documentos, 286 p., Madrid.
- Seed, H. 1968. Landslides during earthquakes due to solid liquefaction. Proceedings American Society of Civil Engineering, Soil Mechanics Foundation Division 94: 1053-1122.
- Schwartz, D., Stenner, H., Costa, C., Smalley, R., Ellis, M. y Velasco, S. 2001. Paleoseismology at the southern end of the world: Initial observations of the Fagnano fault, Tierra del Fuego, Argentina. *Seismological Research Letters* 72 (2): 265.
- Schwartz, D., Stenner, H., Costa, C., Smalley, R., Ellis, M. y Velasco, S. 2002. Rupturas asociadas a los sismos Ms 7,8 de 1949 en Tierra del Fuego: Investigaciones Paleosismológicas iniciales. 15º Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 136-138, Calafate.
- Tello, G. 2003. Sismicidad histórica entre los 32° 30' - 36° lat. sur y los 68° - 69° 30' long. oeste, provincia de Mendoza, Argentina. *Revista Geográfica Venezolana* 44(1): 125-141.
- Tello, G. y Perucca, L. 1993. El sistema de fallamiento Precordillera Oriental y su relación con los sismos históricos de 1944 y 1952, San Juan, Argentina 12º Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 258-265, Mendoza.
- Temple, E. 1920. Córdoba, Tucumán, Salta y Jujuy, en 1826. Universidad Nacional de Tucumán: 232 p. Tucumán.
- Toscano, J., 1901. Historia de las Imágenes del Señor del Milagro y de Nuestra Señora del Milagro, Salta; Argentina. Archivo Arquidiocesano de Salta, 12 p.
- Uyeda, S. y Kanamori, H. 1979. Back-arc opening and mode of subduction. *Journal Geophysical Research* 84: 1049-1061.
- Volponi, F. 1976. Riesgo Sísmico en el Territorio Argentino. *Anales de la Sociedad Científica Argentina*. 202(1-6): 110-130. Buenos Aires.

Recibido: 30 de junio, 2006

Aceptado: 15 de noviembre, 2006