

MARCO SISMOTECTONICO ACTUAL Y TERREMOTOS HISTORICOS EN LA REPUBLICA ARGENTINA. SU ANÁLISIS EN LA EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO

Laura P. Perucca

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET) - Gabinete de Neotectónica. INGENIO. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de San Juan.

E-mail: lperucca@unsj-cuim.edu.ar

Abstract

Research for evaluation of geologic hazards, especially seismic hazard, have generally received but little attention in Argentina. Nevertheless, the relative small work done up to the present indicates that a vast field of research has to be developed, not only from the viewpoint of the potential hazard occurrence of an earthquake with destructive features in the Argentine territory, but also from the perspective of the Neogene tectonic architecture.

Even though these events have been analyzed, mostly in the central western provinces of this country, their effects have been underestimated in the northwestern and southern regions of it.

Liquefaction phenomena have caused the most destructive effects during the main earthquakes happened in the 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 associate liquefaction effects (1692, 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 associate 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.

For it, 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 to an appropriate urban planning in the north-western portion of the country.

Since the urban centres in the Argentine western and southern provinces have not experienced an explosive growth in recent years, it is feasible to recommend set up plans for reducing hazards, based on restrictions in the use of land in, undeveloped areas and following standards established for the construction of infrastructure works. This type of planning results in the best strategies to reduce the economic impact that could arise from eventual seismic phenomena.

In the present paper are analyzed some evidences of Quaternary faulting considered to be potential seismogenic sources, as well as the main destructive earthquakes occurred in Argentina

Key words: *neotectonics, liquefaction, earthquakes, seismic hazard, Argentina.*

Resumen

Los estudios de evaluación de los peligros geológicos, entre los que se encuentran el peligro sísmico, en general han tenido escasa atención en la Argentina, a excepción de la región centro-oeste del país. Los trabajos referidos a esta temática efectuados al presente indican un extenso campo de estudio a desarrollar, tanto desde el punto de vista del peligro potencial de ocurrencia de un terremoto con características destructivas en territorio argentino como desde la perspectiva del análisis de la arquitectura tectónica neógena.

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 descriptos 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 (1692, 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.

Como las ciudades ubicadas en el oeste y extremo sur argentino no han tenido un crecimiento explosivo en los últimos años, es factible recomendar la formulación de planes para reducir el riesgo a partir de las limitaciones en el uso de la tierra en áreas no desarrolladas y siguiendo las normas establecidas para la construcción de obras de infraestructura. Esta forma de planificación resulta la mejor estrategia para reducir el impacto económico que producirían los probables fenómenos sísmicos.

En el presente trabajo se analizan algunas de las evidencias de fallamiento cuaternario consideradas fuentes sismogénicas potenciales y los principales terremotos con características destructivas ocurridos en el país.

Palabras claves: *neotectónica, licuefacción, terremotos, peligrosidad sísmica, Argentina*

Introducción

Los análisis de evaluación del peligro sísmico en las últimas décadas han sido progresivamente mejorados con la utilización de los datos geológicos que permiten obtener la historia sísmica de las fallas activas. Los registros históricos e instrumentales son sumamente 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.

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 vulcanismo 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 delinean 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 bimodal 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 *et al.* 1993).

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 (Fig. 3). En este ambiente de intraplaca se produjeron los terremotos destructivos más importantes del país, asociados a rupturas superficiales, como los terremotos de 1944 (Ms 7,4) y 1977 (Ms 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 (Ms 7,1) (Bastias *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 (Fig. 4). Los primeros datos históricos que mencionan terremotos destructivos se refieren al sismo que destruyó la población de 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 (Bastias *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 registraron numerosos fenómenos de licuefacción y procesos de remoción de masa (Moreiras 2004; Perucca y Moreiras 2006, Perucca *et al.* 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 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) indican 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 2000](#), [Perucca y Moreiras 2006](#), [Perucca y Moreiras 2008](#)).

Neotectónica y Sismicidad Histórica

El término “Neotectónica” es utilizado en la Argentina en el estudio de las deformaciones cuyo piso cronológico se ubica en el techo del Plioceno, en coincidencia con los últimos eventos orogénicos en el oeste Argentino. Este término a veces es poco claro ya que no es preciso y sólo indica estructuras recientes en sentido general, es preferible entonces, caracterizar las deformaciones en relación al último movimiento establecido, es decir, referirse a estructuras pleistocenas u holocenas.

La definición de falla activa más utilizada es aquella dada por [Slemmons \(1977, 1981\)](#) que indica que falla activa es la que “registra antecedentes históricos o sismológicos de actividad y/o que tiene una expectativa de ocurrencia en un intervalo de tiempo semejante a la expectativa de vida humana”. Se considera que una falla que ha sufrido desplazamiento durante el Pleistoceno y/o Holoceno puede volver a moverse en el futuro. Es por ello que el estudio paleosísmico de estas estructuras, consideradas fuentes sismogénicas potenciales, constituye una herramienta fundamental en la evaluación del riesgo sísmico desde una perspectiva geológica.

El término “falla activa” se utiliza para designar fallas, segmentos de falla o sistemas de falla a lo largo de las cuales se han producido desplazamientos relativos o ruptura de superficie, acompañados de terremotos moderados o intensos, durante los últimos 10.000 años (Holoceno). Estas fallas son fuentes potenciales de terremotos destructivos y de rupturas superficiales porque han tenido desplazamiento en el presente régimen sismo tectónico, tienen evidencias de actividad mostrada por la evidencia estratigráfica, y el marco tectónico regional sugiere la probabilidad de un futuro desplazamiento.

Los parámetros que pueden determinarse a partir del estudio de las fallas activas y utilizando diferentes relaciones empíricas son:

- Recurrencia
- Magnitud del sismo a producirse en la estructura.
- Promedio de movimiento anual.

Una vez conocidas las distintas fuentes sismogénicas ubicadas en territorio argentino y estimada la magnitud del terremoto potencial máximo para cada una de ellas, es importante también conocer los valores máximos del movimiento del suelo, como la aceleración que dicho terremoto producirá en los sitios de emplazamiento de las distintas infraestructuras.

Desde el punto de vista de la sismicidad, el territorio argentino tiene un registro prehispánico de terremotos casi nulo y también hay poca información en los 300 años subsiguientes a la colonización española en muchas regiones del país. Esta falta de información afecta al intervalo del registro sismológico de la región es por ello que los estudios geológicos relacionados a la neotectónica son esenciales en la Argentina a fin de extender el registro paleo-sísmico de una región.

Es posible dividir el territorio argentino en áreas en las que se localizan las principales fallas cuaternarias, aunque la mayor parte de las deformaciones se encuentran en el sector precordillerano ubicado en las provincias de La Rioja, San Juan y Mendoza (Fig. 3).

En el noroeste argentino, las evidencias de actividad tectónica durante el Cuaternario son numerosas, por ejemplo, en la Puna Argentina la tectónica es tan reciente que las fallas afectan costras evaporíticas holocenas o sedimentos lacustres pleistocenos en terrazas tectónicas. Hay también escarpas en conos aluviales al cruzar fracturas regionales al pie de bloques montañosos donde facetas triangulares o trapezoidales indican fallas cuaternarias. El escurrimiento en direcciones determinadas sobre muchos salares indica también el basculamiento de los bloques sobre los que estos salares se ubican (Igarzábal 1999). Si bien se localizan en la región numerosas fallas con actividad tectónica durante el Cuaternario y se han producido numerosos terremotos en esta parte del territorio argentino, como se mencionara anteriormente, no se han encontrado aún evidencias de ruptura superficial asociadas a los mismos.

Cortes *et al.* (1987) y Allmendinguer *et al.* (1989) describen algunas deformaciones de edad cuaternaria que afectan unidades aluviales al norte de los 28° LS en el ambiente de piel gruesa de Puna-Cordillera Oriental, al igual que las estructuras plegadas en las sierras Subandinas (Ramos *et al.* 2003). Algunas de las fallas más importantes que se

pueden mencionar son la falla Cachipampa, falla Amblayo y Grupo de Falla San Carlos, localizadas en la Cordillera Oriental, un orógeno paleozoico ascendido durante el Neógeno. La falla Cachipampa posee una longitud aproximada de 23 km y un rumbo N30°E (Wayne 1994), aunque no se conoce el tipo de falla, la edad del último movimiento es cuaternaria. La falla Amblayo posee una longitud de 22 km en dirección submeridiana, con escarpas en el aluvión que miran al este (Wayne 1994). Por su parte, el Grupo de Falla San Carlos posee una longitud de 33 km y un rumbo promedio de N48°E (Wayne 1994).

En la tabla 1 se mencionan los terremotos más importantes ($M_s > 5.4$) ocurridos en el noroeste argentino (Fig. 3). También se ubican las intensidades (EMM) para cada sismo, ubicándose en la Figura 5 los mapas de isosistas para los terremotos más destructivos.

Tabla 1: Principales terremotos históricos registrados en el noroeste argentino. **P** (profundidad en Km), **Ms** (magnitud), e **I** (Intensidad MMI).

Fecha	Localidad	SL	WL	P	Ms	I	Características
13-09-1692	Talavera del Esteco (Salta)	25° 24'	64° 48'	30	7.0	IX	Licuefacción, deslizamientos y numerosas víctimas.
04-07-1817	Santiago del Estero	28°	64° 30'	30	7.0	VIII	Licuefacción y daños en Tucumán, Jujuy y Salta
19-01-1826	Las Trancas (Tucumán)	26° 12'	65° 15'	30	6.4	VIII	Daños en Tucumán y Santiago del Estero
18-10-1844	Salta	24° 48'	64° 42'	30	6.5	VII	Licuefacción y daños en Salta, Tucumán, La Rioja, Catamarca, etc.
14-01-1863	Jujuy	26° 36'	65° 00'	30	6.4	VIII	Caída de casas y edificios públicos
09-10-1871	Orán (Salta)	23° 06'	64° 18'	30	6.4	VIII	La ciudad de Orán fue completamente destruida
17-11-1906	Tafí del Valle (Tucumán)	26° 45'	65° 42'	30	6.0	VII	Algunos daños en edificios
11-08-1907	Monteros (Tucumán)	27° 12'	65° 30'	30	5.5	VI	Daños Materiales
05-02-1908	Metán (Salta)	25° 12'	64° 42'	30	6.0	VII	Daños Materiales
06-11-1913	San Miguel (Tucumán)	26° 48'	65° 06'	30	5.5	VI	Daños Materiales
24-12-1930	La Poma (Salta)	24° 42'	66° 18'	30	6.0	VIII	Licuefacción, deslizamientos, daños materiales y víctimas fatales.

03-04-1931	El Naranjo, Tucumán	27° 00'	65° 00'	180	6.3	VII	Daños Materiales
12-02-1933	Raco (Tucumán)	26° 36'	65° 21'	30	5.5	VI	Daños Materiales
25-08-1948	Anta (Salta)	24° 54'	64° 48'	50	7.0	IX	Licuefacción, víctimas, daños materiales
12-05-1959	San Andrés (Salta)	23° 10'	64° 39'	100	6.8	VIII	Deslizamientos, daños materiales
19-11-1973	Santa Clara (Jujuy)	24° 34'	64° 35'	12	5.4	VII	Daños Materiales
07-09-2004	Los Angeles (Catamarca)	28°34'	65°50'	22	6.5	VI	Daños Materiales

En la región centro-oeste del territorio argentino, en la provincia de La Rioja, se han identificado numerosas fallas con actividad tectónica durante el Cuaternario que constituyen fuentes sismogénicas potenciales y deben ser estudiadas, aunque no se han detectado evidencias de ruptura superficial. Por ejemplo, la falla Jagüé posee una longitud aproximada de 58 km, con un rumbo promedio N 20° E, con actividad durante el Cuaternario, evidenciada por la presencia de barreales de falla, manantiales y vegas alineadas según el trazo de la falla (Fig. 3). La escarpa, a pesar de encontrarse a contrapendiente (fácilmente erodable por la acción de ríos y arroyos) se encuentra bien conservada, mira al oeste y afecta los abanicos aluviales provenientes de la zona montañosa (Perucca y Navarro 2005).

En las provincias de San Juan y Mendoza se encuentran los mejores rasgos de fallamiento cuaternario. El Sistema de Fallamiento El Tigre se extiende desde la provincia de La Rioja hasta Mendoza, paralelo al borde occidental de Precordillera oriental, con una longitud estimada de 600 km (Bastias *et al.* 1984). Esta falla posee rasgos típicos de desplazamiento dextral y posiblemente a ella se encuentra asociado el terremoto de 1894 (Bastias *et al.* 1993; Perucca *et al.* 1999), (Figs. 3 y 5). Otras fallas de importancia son La Cantera (Bastias *et al.* 1984; 1990; Bastias 1986), el Sistema Maradona-Acequiión (Perucca 1990; Bastias *et al.* 1984; 1990) y el Sistema de Fallamiento Precordillera Oriental al cual se asocian los terremotos de 1944 (Ms 7.4) y 1952 (Ms 7.0) (Figs. 3 y 5). Este sistema se localiza en el borde este de Precordillera oriental, con una longitud aproximada de 120 kilómetros (Bastias *et al.* 1990; Tello y Perucca 1993; Martos 1995, 1999a,b). Las magnitudes máximas probables calculadas por Martos (1995) y Perucca y Paredes (2003, 2004) varían entre 6.4 y 6.9.

Para el sistema de fallamiento Maradona-Acequiión, Perucca y Paredes (2004) estiman una magnitud máxima probable entre 7.0 y 7.2.

En el área del cerro La Cal (provincia de Mendoza) las estructuras cuaternarias aparecen desarrolladas con vergencia variable en el sector pedemontano, tales como las fallas La Cal y Melocotón. La falla La Cal (también denominada falla Salagasta) es una falla inversa con buzamiento al este y trazo levemente sinuoso, que puede reconocerse en el terreno por una longitud de 32 km, en donde existen evidencias de desplazamientos recientes localizados a lo largo de una longitud de 8 km, inmediatamente al norte del cerro La Cal probablemente vinculados al sismo de 1861. La magnitud máxima probable calculada para esta falla oscila entre 7.2 y 7.6 (Bastías *et al.* 1993).

Más al sur se ubica el Sistema de Fallamiento Vacas-Tupungato, que constituye el límite entre Cordillera Principal y Frontal y posee un desplazamiento sinistral. Se extiende por cientos de kilómetros con un rumbo nornoroeste-sursureste y su continuación sur afecta depósitos de edad cuaternaria a través de las fallas Diamante y Papagayos. En el borde occidental del Bloque de San Rafael, al sur del río Atuel, depósitos cuaternarios se encuentran afectados por la falla Malvinas (Fig. 3), con rumbo submeridional y desplazamiento lateral izquierdo y normal (Bastías *et al.* 1993). Esta falla fue relacionada al terremoto del 29 de mayo de 1929 (Loos 1929; Lunkenheimer 1930).

Otras fallas paralelas constituyen el Sistema de Fallamiento del Piedemonte Andino que se extiende desde las cercanías de Potrerillos bordeando el piedemonte oriental de la Cordillera Frontal donde se ubican las fallas Chupasangral, Chalet y Malargüe (Fig. 3). El rumbo de estas fallas es en general submeridional y paralelo al frente montañoso (Bastías *et al.* 1993; Cortes 2000)

La Falla Payún se ubica en el sur mendocino, cerca del límite con Neuquén y La Pampa, en el extenso campo volcánico llamado Payunia (Bastías *et al.* 1993).

Como se mencionara anteriormente en esta región centro-oeste de la Argentina se han registrado los sismos históricos más importantes resumidos en la Tabla 2 y los mapas de intensidad en la figura 5.

Tabla 2: Principales terremotos históricos registrados en el centro-oeste argentino. **P** (profundidad en Km), **Ms** (magnitud), e **I** (intensidad MMI).

Fecha	Localidad	SL	WL	P	Ms	I	Características
22-05-1782	Santa Rita (Mendoza)	32° 42'	69° 12'	30	6.5/ 7	VIII	Daños en construcciones pero sin víctimas
20-03-1861	Mendoza	32° 54'	68° 54'	30	7.2	IX	Licuefacción y deslizamientos. Alrededor de 12.000 víctimas. La Ciudad de Mendoza fue completamente destruida.
27-10-1894	Norte de San Juan	29° 45'	69° 00'	30	7.5	IX	Fue el mayor terremoto en la Argentina, causando unas 100 víctimas y severos daños en San Juan, La Rioja, Córdoba y Mendoza. Licuefacción y deslizamientos
12-04-1899	Jagüé (La Rioja)	28°39'	68° 25'	30	6.4	VIII	Destruyó Jagüé y causó daños importantes en varios pueblos de La Rioja.
12-08-1903	Uspallata (Mendoza)	32° 06'	69° 06'	70	6.3	VIII	La intensidad del sismo ocasionó fisuras y grietas en numerosos lugares. Licuefacción.
26-07-1917	Panquehua (Mendoza)	32° 20'	68° 54'	50	6.5	VII	Numerosos edificios dañados y fenómenos de licuefacción en Mendoza.
17-12-1920	Costa de Araujo (Mendoza)	32° 42'	68° 24'	40	6.3/ 6.8	VIII	Licuefacción y deslizamientos, numerosas víctimas y daños en las construcciones
14-04-1927	Uspallata (Mendoza)	32° 24'	69° 18'	>60	7.1	VIII	Licuefacción y deslizamientos. Los edificios gubernamentales y algunas escuelas fueron completamente destruidas
30-05-1929	Las Malvinas (Mendoza)	34° 54'	68°	40	6.5	VII	Licuefacción. Daños en las construcciones y algunas víctimas
15-01-1944	La Laja (San Juan)	31° 24'	68° 24'	30	7.4	IX	La ciudad de San Juan fue completamente destruida y hubo alrededor de 10,000 víctimas. Hubo licuefacción y deslizamientos
11-06-1952	Rinconada (San Juan)	31° 36'	68° 35'	30	7.0	VIII	Licuefacción, deslizamientos y daños en las construcciones
24-10-1957	Villa Castelli (La Rioja)	28° 54'	68	37	6.0	VII	Daños en las construcciones
26-01-1985	Lunlunta (Mendoza)	33° 06'	68° 30'	12	5.9	VIII	Numerosos daños en los edificios

Las sierras Pampeanas, ubicadas al este de los Andes Centrales se consideran bloques elevados del antepaís andino fragmentado y son otra de las características distintivas del segmento de subducción horizontal pampeano (Jordan *et al.* 1983; Jordan y Allmendinger 1986). Desde el punto de vista neotectónico, su evolución se encuentra relacionada con los procesos orogénicos andinos durante el Neógeno, en los que la respuesta

al acortamiento del antepaís andino funcionó con un estilo de tectónica thick-skinned con tasas de deformación menores que las encontradas en los Andes (Costa 1999). En general los bloques tienen un perfil este-oeste asimétrico, con un flanco occidental más abrupto afectado por fallas inversas que inclinan entre 30° y 70° al este. Es en este flanco donde Costa (1996, 1999) y Costa *et al.* (2000) describen fallas con actividad tectónica durante el Cuaternario. La exposición natural de los escarpes de falla es poco común y generalmente se restringe a trincheras en ríos y quebradas donde se aprecia el contacto basamento-piedemonte. En general las fallas ubicadas en el frente principal han tenido poca actividad durante el Cuaternario, migrando esta actividad hacia el piedemonte (Costa 1999). Por ello, las Sierras Pampeanas han sido consideradas como un área de actividad sísmica moderada, con escasas deformaciones superficiales. Sin embargo, el terremoto de 1977 en Caucete (Ms 7.4) generó rupturas secundarias vinculadas a fallas normales en el piedemonte oriental de la sierra de Pie de Palo, en el sistema de fallamiento Ampacama-Niquizanga (Volponi *et al.* 1978; Bastias 1986; Bastias *et al.* 1990) y también es probable que existiera deformación superficial y/o licuefacción durante el terremoto de Sampacho (Ms 6.0) en 1934 (Mingorance 1991; Sagripanti *et al.* 1999; Costa *et al.* 2001).

El sistema de fallamiento Ampacama-Niquizanga se extiende por unos 70 km en numerosos tramos cuyas longitudes no superan los 8 kilómetros, y un rumbo N20°E (Fig. 3). Las evidencias de fracturación cuaternaria se ubican en las proximidades del frente montañoso oriental y afectan abanicos aluviales y niveles de terraza (Bastias 1986).

Las escarpas tienen su cara libre al oeste y durante el sismo de 1977 (Ms 7.4) se produjo un nuevo desplazamiento en donde las nivelaciones geodésicas revelaron la existencia de una deformación permanente del suelo de 1,20 m, mientras que el desplazamiento de las escarpas no superó los 0,30 metros (Bastias 1986). Otro sismo de importancia fue el de 1941 (Ms 6.3), posiblemente relacionado al mismo sistema aunque no se ubicó ruptura superficial. Los terremotos más importantes ocurridos en esta región se ubican en la tabla 3. Los cálculos realizados por Bastias (1986) para determinar la magnitud máxima de un sismo probable arrojaron valores de M variables entre 6.8 y 7.1, con un intervalo de recurrencia de aproximadamente 15.000 años.

En la Tabla 3 se han resumido los sismos históricos más importantes y en la figura 5, los mapas de intensidad.

Tabla 3: Principales terremotos históricos registrados en Sierras Pampeanas. **P** (depth in Km), **Ms** (magnitude), e **I** (intensity MMI).

Fecha	Localidad	SL	WL	D	Ms	I (MM)	Características
11-06-1934	Sampacho (Córdoba)	33° 30'	64° 30'	30	6.0	VIII	La ciudad fue parcialmente destruida con numerosas víctimas.
03-07-1941	Caucete (San Juan)	31° 54'	67° 54'	30	6.7	VI	Licuefacción. Daños en cornisas y grietas en paredes.
23-11-1977	Caucete (San Juan)	31° 02'	67° 45'	17	7.4	IX	Licuefacción, 70 víctimas, importantes daños en las construcciones
28-05-2002	La Rioja	28° 56'	66° 48'	22	6.0	VIII	Numerosos daños en los edificios

La actividad sísmica en la región patagónica se relaciona con una faja de deformación y fractura que, a la latitud del lago Fagnano, se extiende por más de 600 km en dirección E-O desde el océano Atlántico hasta el Pacífico y que se conoce con el nombre de Sistema de Falla Magallanes-Fagnano (Fig. 3). A lo largo de esta falla activa, el continente sudamericano se desplaza muy lentamente hacia el oeste con respecto a la región andina de Tierra del Fuego.

El límite entre las Placas Sudamericana y de Scotia se extiende por más de 3000 km, desde el sector occidental de la Dorsal de Scotia Norte, en la trinchera sur chilena a los 50° S, a través de la isla de Tierra del Fuego. El sistema de fallamiento Magallanes-Fagnano, con un desplazamiento sinistral E-O transversal al de las estructuras de la faja corrida y plegada (NO-SE), corta las estructuras compresivas previamente formadas. Este sistema evolucionó como una componente de los movimientos relativos entre el límite sur de la Placa Sudamericana y la Península Antártica. Se puede reconocer este lineamiento regional principalmente en el brazo oriental del Estrecho de Magallanes, a lo largo de la costa norte del lago Fagnano y a lo largo de la costa atlántica (Winslow 1982; Winslow y Prieto, 1991). Posee una longitud de 165 km y rumbo N 89° W. La deformación actual, medida en estaciones localizadas en ambas márgenes de las principales fallas ubicadas en las placas de Scotia y Sudamérica, muestra una tasa de deslizamiento de alrededor de 0.5 cm/año (Del Cogliano *et al.* 2000). Además, la sismicidad a lo largo de todo el sistema de fallamiento es

baja ($M < 3.5$), principalmente superficial; y los mecanismos focales indican una componente distensiva y de desplazamiento de rumbo (Pelayo y Wiens, 1989).

Con respecto a la sismicidad instrumental, se han registrado desde 1969 a la actualidad, más de 400 sismos superficiales de magnitud superior a 4 en toda la Patagonia argentina. Por otra parte, a pesar de que hay muy pocos registros sísmicos históricos en la provincia de Santa Cruz y debido a su proximidad con regiones con terremotos de magnitud superior a 7 (Isla Grande de Tierra del Fuego), Gonzalez Bonorino (2002) asume que la región oriental de esta provincia tiene una sismicidad moderada.

En resumen, a pesar de que la magnitud de los sismos ocurridos en la Patagonia es por lo general moderada, la mayoría de estos eventos fueron superficiales y relacionados con fallas activas, lo que indica potenciales fuentes sismogénicas futuras. Como se indicó en párrafos anteriores, el gran número de registros correspondientes a la segunda mitad del siglo pasado en comparación con años anteriores, es un indicador de la escasez de estaciones sismológicas en la región y no la ausencia de actividad sísmica en el pasado.

El registro histórico de la Isla Grande de Tierra del Fuego también es muy corto debido al relativamente reciente establecimiento europeo en la región y su baja densidad de población. El registro de la actividad sísmica en Tierra del Fuego comienza en 1879 y continua hasta el presente, registrándose alrededor de 1.600 eventos, a pesar de que la mayoría de ellos son de muy baja magnitud, (Catalogo Sur entre 52° - 62° S y 24° - 71° W).

Existen referencias sobre un antiguo terremoto ocurrido antes de la colonización europea, de acuerdo a una leyenda indígena Yaghana mencionada por Bridges (2000). El primer sismo registrado sucedió el 1° de Febrero de 1879, a las 5 a.m. (Fig. 5). Fue descrito por Bridges (1879), un misionero anglicano y el primer habitante europeo establecido en Tierra del Fuego. Su intensidad fue VI MM (Escala Mercalli Modificada) y su epicentro se localizó a los 54° LS y 65° LO.

La Isla Grande de Tierra del Fuego fue afectada en 1949 por un terremoto de magnitud $M = 7.8$ (Escala Richter), que causó el desplazamiento de la línea de costa del Lago Fagnano y un tsunami local en el brazo occidental del Estrecho de Magallanes (Jaschek *et al.* 1982).

Peligrosidad y Riesgo Sísmico

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 rotura histórica asociadas, a excepción de las observadas en las fallas La Laja durante el terremoto de 1944 y Niquizanga en el terremoto de 1977. También es probable que muchos de terremotos prehistóricos de gran magnitud se hayan caracterizado por deformaciones distribuidas en plegamientos y fracturación secundaria, antes que en rupturas superficiales. [Costa et al. \(1999\)](#) indican 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 estas estructuras, recurrentes durante el Holoceno.

Los terremotos de magnitud superior a 6, con hipocentros subsuperficiales (<30 km) generalmente ocasionan deformaciones en superficie, constituyendo el mayor peligro para la población. Entre los efectos primarios producidos por un sismo se encuentran las rupturas superficiales y deformaciones del terreno que se producen en el epicentro o cerca de él y que es donde se producen los mayores daños en las construcciones. A ambos lados de la falla no se debe construir ya que es la “Zona de peligro de desplazamiento superficial”. Mientras, los efectos secundarios, asociados a los procesos de licuefacción e inestabilidad de laderas, pueden causar mayores daños que la sacudida en sí aún en áreas alejadas a la zona de ruptura, cuando las condiciones locales los favorecen.

Uno de los efectos secundarios que acompañó a la mayoría de los terremotos ocurridos en el oeste argentino fue la licuefacción. Las grietas, volcanes de arena, derrames, han sido muy abundantes en áreas distantes hasta 260 km del epicentro, y afectaron áreas de hasta 4000 km². Los daños causados por la licuefacción incluyeron hundimientos del suelo por falta de poder portante debajo de edificaciones, caminos, líneas férreas, canales de riego, campos, tanques y viviendas. Los depósitos holocenos de llanura aluvial, paleocanales y playa fueron la litología principalmente afectada por este fenómeno ([Perucca y Bastias 2005; 2006](#); [Perucca y Moreiras 2006](#)). Por otro lado, innumerables procesos de remoción en masa se han

registrados en los principales sismos históricos de la provincias de Mendoza y San Juan (Moreiras 2004)

Conclusiones

A partir del estudio de las características sísmicas, tectónicas y morfológicas efectuadas en las últimas décadas en la Argentina, es posible concluir lo siguiente:

Existe una marcada falta de uniformidad en la distribución sísmica, encontrando áreas anómalas más bien debido al exceso en algunos casos y en otros a la ausencia de eventos sísmicos notables en relación con lo que se considera un valor normal. Por ejemplo, en la Patagonia muchos terremotos se han localizado en territorio chileno, mientras que hacia el este la actividad sísmica es baja a nula.

Parece haber una estrecha relación entre las grandes estructuras y la ubicación de los eventos sísmico, especialmente en lo que se refiere a la separación de ambientes con diferentes niveles de actividad sísmica.

Las provincias del noroeste argentino al igual que la mayoría de las ubicadas en las regiones sísmicas de nuestro país, tienen muy poca información histórica prehispánica y durante los trescientos años posteriores a sus respectivas fundaciones. Es probable que este blanco en la información histórica se debiera a la escasa densidad de la población, a momentos políticos que movieron a las corrientes fundadoras del este cordillerano y a la ignorancia de la cultura y costumbres de los indígenas de estas regiones por parte de los colonizadores. Esto debe ser remediado con el estudio geológico de las fallas activas a fin de fijar estrategias viables para una planificación territorial certera acorde al potencial riesgo sísmico que podría afectar numerosas regiones argentinas.

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 estas poblaciones, puede provocar grandes pérdidas económicas, no sólo en las edificaciones sino también en las comunicaciones, pozos de agua, caminos, gasoductos, líneas eléctricas, etc. En muchos de los sismos registrados en épocas históricas en el país se ha producido licuefacción ya que las condiciones físicas del terreno y la existencia de un nivel freático poco profundo, son factores

de amplificación local y reafirman la necesidad de efectuar estudios de detalle en la región centro oeste del país cuyas ciudades se encuentran localizadas en áreas con características semejantes.

La ocurrencia de al menos un desplazamiento histórico en la falla Fagnano durante el sismo de 1949 ofrece la posibilidad de nuevos campos de trabajo tal como ocurre en las provincias de San Juan y Mendoza, donde los terremotos destructivos fueron las herramientas más valiosas en el estudio de la neotectónica en esta parte del territorio argentino.

Los estudios efectuados en la región de Cuyo constituyen un ejemplo de las metodologías que deben ser utilizadas en los análisis detallados de cada área, confección de trincheras, cálculo de parámetros sísmicos asociados a cada estructura, etc., para finalmente efectuar las estimaciones de los valores de riesgo sísmico en cada punto del país.

Uno de los aspectos más dificultosos en estas evaluaciones es poder establecer en qué momento de la ventana de tiempo es posible hacer el análisis, por lo que es indispensable efectuar estudios detallados y obtener edades absolutas de los depósitos afectados por fallas.

El potencial sísmico de la región oeste y extremo sur de Argentina varía entre moderado a muy alto y debe ser considerado, ya que una correcta planificación constituye la mejor estrategia para reducir el impacto de un terremoto destructivo. Los gobernantes y planificadores deben considerar las ideas sobre reducir el riesgo sísmico a partir de los estudios detallados, creando conciencia de que la ocurrencia de un terremoto en una región es un proceso dinámico y probable. Esto permitiría el cuidado en la construcción de grandes infraestructuras y expansión de ciudades en determinados sitios de Sudamérica.

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 tectónica cuaternaria, ubicadas en las proximidades de los epicentros.

Finalmente, los trabajos sobre Neotectónica efectuados hasta el presente en la Argentina señalan un extenso campo de investigación para desarrollar, tanto desde el punto de vista del peligro potencial de la ocurrencia de un terremoto, como también desde el punto de vista de la arquitectura tectónica neógena.

Bibliografía

- Allmendinger, R., Strecker, M., Eremchuck, J., Francis, P., 1989. Neotectonic deformation of the southern Puna Plateau, Northwestern Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, Volume 2, 11-130.
- Bastias, H., 1986. Fallamiento Cuaternario en la Región Sismotectónica de Precordillera. Ph.D. Thesis (Unpublished), San Juan University, 160p. Argentina.
- Bastias, H., Weidmann, N., Perez, A., 1984. Dos zonas de fallamiento Plio-Cuaternario en la Precordillera de San Juan. IX Congreso Geológico Argentino Actas Volumen 2, 329-341.
- 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.
- Bastias, H., Uliarte, E., Paredes, J., Sanchez, A., Bastias, J., Ruzycki, L., Perucca L., 1990. Neotectónica de la provincia de San Juan. 11° Congreso Geológico Argentino. Relatorio de Geología y Recursos Naturales de la provincia de San Juan, 228-245. San Juan.
- Bridges, L., 2000. El último confín de la tierra. Editorial sudamericana, Capítulo 16, 511 p.
- Bridges, T., 1879. Southern Misión. Tierra del Fuego. *South American Missionary Magazine*, July 1, 151-156.
- Cortés, J., 2000. Fallas cuaternarias oblicuas al frente montañoso en la Cordillera Frontal de Mendoza (34°- 34° 30'). *Revista de Cuaternario y Ciencias ambientales*. Publicación Especial N° 4. Asociación Geológica Argentina, 57-62.
- Cortés, C., Franchi, M., Nullo, F., 1987. Evidencias de neotectónica en Las Sierras de Aguilar y del Tanque, Cordillera Oriental y Puna Jujeñas, Argentina. X Congreso Geológico Argentino, Actas, Volumen 1, 239-242.
- Costa, C., 1996. Análisis geotectónico en las sierras de San Luis y Comechingones: Problemas y métodos. XIII Congreso Geológico Argentino. Volumen 2, 285-300.
- Costa, C. 1999. Tectónica Cuaternaria en las Sierras Pampeanas. In: Caminos, R. (Ed.) *Geología Argentina, Anales 29 (24), Sección 2B, 779-784. Segemar.*

- 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.
- Costa, C., Machette, M., Dart, R., Bastias, H., Paredes, J., Perucca, L., Tello, G., Haller, K., 2000. Map and Database of Quaternary Faults and Folds in Argentina. U.S. Geological Survey Open-File Report 00-0108, 75 p.
- Costa, C., Murillo, V., Sagripanti, G., Gardini, C., 2001. Quaternary intraplate deformation in the southeastern Sierras Pampeanas, Argentina. *Journal of Seismology*, Vol. 5, 399-409.
- Del Cogliano, D., R. Perdomo, J.-L. Hormaechea, 2000. Desplazamiento entre placas tectónicas en Tierra del Fuego, *Actas de la XX Reunión Científica de la AAGG*, Mendoza.
- González Bonorino, G., 2002. Erosión y acreción litoral durante el Holoceno, con especial referencia a las puntas Bustamante y Dungeness. *Geología y Recursos Naturales de Santa Cruz. Relatorio XV Congreso Geológico Argentino*. El Calafate, I-20, 317-324. Buenos Aires.
- Igárbal, A., 1999. Cuaternario: 1. Cuaternario de La Puna. *Geología Argentina. Anales* 29 (23), 683-714. Buenos Aires.
- INPRES 1982. Microzonificación sísmica del valle del Tulum. Provincia de San Juan. *Resumen Ejecutivo*, 120 p., San Juan
- INPRES 2006. Listado de terremotos históricos, catálogo on-line (www.inpres.gov.ar).
- Jaschek, E., Sabbione, N., Sierra, P., 1982. Reubicación de sismos localizados en territorio argentino. *Serie Geofísica*, tomo XI, N°1, Publicaciones Observatorio de la Universidad de La Plata, 1920-1963.
- Jordan, T., Allmendinger, R., 1986. The Sierras Pampeanas of Argentina. A modern analogue of Rocky Mountains foreland deformation: *American Journal of Science*, Volume 286, 737-764.
- 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.

- Jordan, T., Isacks, B., Allmendinger, R., Brewer, J., Ramos, V., Ando, C., 1983. Andean tectonics related to geometry of subducted Nazca plate. *Geological Society of America Bulletin*. Volume 94, 341-361.
- 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 Porteñas, etc. *Observatorio Astronómico de la Universidad Nacional de La Plata, Contribuciones Geofísicas*, 1(2): 127-158.
- Loos, P.A., 1929. *Relatos del Dr Lukenheimer: Observaciones del sismo 1929 en Villa Atuel. Observatorio de La Plata.*
- Lukenheimer, F., 1930. El terremoto sudmencocino del 30 de mayo de 1929. *Contribuciones geofísicas, Tomo III, N° 2. Observatorio de La Plata.*
- Martos, L., 1995. Fallamiento cuaternario en el borde oriental de Precordillera entre el río San Juan y el río de Los Pozos. Unpublished Doctoral Thesis, Universidad Nacional de San Juan, San Juan, Argentina, 250 p.
- Martos, L., 1999a, Dinámica morfoestructural del paisaje cuaternario en el piedemonte oriental de la Precordillera Oriental, San Juan: Décimo Cuarto Congreso Geológico Argentino Actas, v. I, 275-278.
- Martos, L., 1999b, Cronoestratigrafía de los niveles pedemontanos cuaternarios en el este de Precordillera Oriental, San Juan: Décimo Cuarto Congreso Geológico Argentino Actas, v. I, 279-282.
- Mingorance, F., 1991. Análisis y evaluación tectónica asociada a la falla Sampacho, Provincia de Córdoba, Argentina Central. *Revista Geofísica*, Volumen 35, 13-39.
- 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.
- Moreiras, 2004. Zonificación de Peligrosidad y Riesgo de procesos de remoción en masa en el valle del Río Mendoza, Argentina. Unpublished Doctoral Thesis, Universidad Nacional de San Juan, San Juan, Argentina, 190p.
- Paredes, J. y Perucca, L., 2000. Evidencias de paleolicuefacción en la quebrada del río Acequión, Sarmiento, San Juan. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 55 (4): 394-397.
- Pelayo A., Wiens, D., 1989. Seismotectonics and relative motions in the Scotia Sea Region, Journal of Geophysical Research, v. 94, No B6, 7293-7320.
- Perucca, L., 1990. "Sistema de Fallamiento La Dehesa - Maradona - Acequión, San Juan, Argentina." 11° Congreso Geológico Argentino. Tomo II, 431-434. San Juan.
- Perucca, L., Bastias, H., 2005. El terremoto argentino de 1894. Fenómenos de licuefacción asociados a sismos. In: Aceñolaza F. (Ed.). INSUGEO, Serie Correlación Geológica, 19, 55-70.
- Perucca, L., Bastias, H., 2006. Regiones sismotectónicas en el centro-oeste argentino. Provincias de La Rioja, San Juan y Mendoza. In: Aceñolaza F. (Ed.). INSUGEO, Serie Correlación Geológica, 16: 7-16
- Perucca, L.P.; Moreiras, S.M., 2006. Liquefaction phenomena associated with historical earthquakes in San Juan and Mendoza provinces, Argentina. Quaternary International 158 (1): 96-109.
- Perucca, L. y Moreiras, S. 2008. Indicative structures of paleosismicity in the Acequion River Valley, San Juan Province, Central-Western Argentina. Geodinamica Acta (In Press).
- 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 Bastias 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.
- Perucca, L., Perez, A., Navarro, C.2006. Fenómenos de Licuefacción asociados a terremotos Históricos. Su análisis en la evaluación del Peligro Sísmico en la Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 61 (4): 567-578.
- Ramos, V. 1988. The tectonics of the central Andes: 30° to 33° S latitude. En Clark, S., Burchfield, D. (eds.) *Processes in Continental Lithospheric Deformation*, Geological Society of America, Special Paper 218: 31-54.
- Ramos, V., Alonso, R., Strecker, M., 2003. Neotectónica cuaternaria en Lomas de Olmedo, Salta. Argentina. X Congreso Geológico Chileno, Actas CD Rom.
- Sagripanti, G., Costa, C., Giaccardi, A., Aguilera, D., Schiavo, H., Campanella, O., Dolso, M., 1999. Nuevos datos sobre la actividad cuaternaria de la falla Las Lagunas. XIV Congreso Geológico Argentino Actas, Volumen 1, 42.
- 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. 15° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 136-138, Calafate.
- Slemmons, D., 1977. Faults and earthquake magnitude. In: State of the art of assessing earthquake hazards in the United States. Report 6. United States Army Engineers. Waterway Station. Miscellaneous Paper S-73-1, 129 p.
- Slemmons, D., 1981. A procedure for analyzing fault controlled lineaments and the activity of faults. In: O'Leary, D., and Earle, J., Eds., Proc. III Conference on Basement Tectonics. Bas. Tect. Comm. Publ. Volume 3, 33-49.
- R. Smalley Jr., J. Pujol, M. Regnier, J.M. Chiu, J.L. Chatelain, B.L. Isacks, M. Araujo, N. Puebla. 1993. Basement seismicity beneath the Andean Precordillera thin-skinned thrust belt and implications for crustal and lithospheric behavior, *Tectonics* 12: 63–76.
- 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: 12° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 258-265, Mendoza.

- 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.
- Volponi, F., Quiroga, M., Robles, A., 1978. El terremoto de Caucete del 23 de noviembre de 1977. Instituto Sismológico Zonda. Universidad Nacional de San Juan, 81 p.
- Wayne, W., 1994. Mass wasting as a geological hazard in the province of Salta, Argentina. Unpublished report, 28p. Salta.
- Winslow, M.A., 1982. The structural evolution of the Magallanes Basin and neotectonics in the southernmost Andes, In: *Antarctic Geoscience* (C. Craddock, ed.), Madison, University of Wisconsin Press, 143-154.
- Winslow, M., Prieto, X., 1991. Evidence of Active Tectonics along the Strait of Magellan. VI Congreso Geológico Chileno. Resúmenes Ampliados, 654-655.

Epígrafes de las figuras.

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

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.

Figura 3. Fallas activas y terremotos históricos asociados.

Figura 4. Terremotos históricos de la Argentina.

Figura 5. Mapa de isosistas de los principales terremotos en los que se produjeron daños cuantiosos y fenómenos de licuefacción. Modificado de INPRES 1993.