

Fallamiento cuaternario en la zona de La Laja y su relación con el terremoto de 1944, Departamento Albardón, San Juan, Argentina

Laura Patricia Perucca^{1,2,*} y Juan de Dios Paredes^{1,2}

¹Instituto de Geología, Departamento de Geología, Universidad Nacional de San Juan, Av. Ignacio de La Roza y Meglioli, 5400 San Juan, Argentina.

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, CONICET, Rivadavia 1917, 1033 Buenos Aires, Argentina

* lperucca@unsj-cuim.edu.ar

RESUMEN

La ciudad de San Juan, ubicada en la porción centro-oeste de la República Argentina, en la región de mayor sismicidad del país, fue afectada en enero de 1944 por un terremoto destructivo ($M_s = 7.4$) que causó más de 10,000 muertes y cuantiosas pérdidas económicas.

Los reportes históricos en la región asocian este sismo a una falla localizada 25 km al norte de la ciudad de San Juan, en la localidad de La Laja, con una ruptura superficial de 8 km y un desplazamiento vertical máximo de 0.60 m. Estudios posteriores demuestran que estos valores de ruptura superficial no concuerdan con los obtenidos al aplicar las relaciones empíricas utilizadas en el mundo, para una magnitud de $M_s = 7.4$.

En este trabajo se muestran evidencias de ruptura superficial en cuatro fallas ubicadas en la zona de La Laja que probablemente se reactivaron durante el sismo de 1944 y cuya sumatoria de longitudes de ruptura superficial y desplazamiento vertical máximo coincidiría con los valores esperados al aplicar las relaciones empíricas.

Palabras clave: La Laja, fuente sismogénica, neotectónica, peligro, terremotos.

ABSTRACT

San Juan city is located in the central western region of Argentine Republic, the most seismic zone of the country. The city was affected by a destructive earthquake in 1944 ($M_s=7.4$) that caused great economic losses and nearly 10,000 casualties.

Historical reports associate this earthquake with an active fault located nearly 25 km north of the city of San Juan, in La Laja zone, with a superficial rupture length of 8 km and a maximum vertical displacement of 0.60 m. Correlations of fault length and displacement with earthquake magnitude are utilized to assess the seismic hazard of the area. Subsequent studies demonstrate that these superficial rupture values do not agree with the obtained by applying empirical relationships widely used in the world for a $M_s = 7.4$.

In this work, we show evidences of superficial rupture in four faults located in La Laja area, which were probably reactivated during the 1944 earthquake and whose total superficial rupture lengths and maximum vertical displacement would coincide with expected values by applying the empirical relationships.

Keywords: La Laja, seismogenic source, neotectonic, hazard, earthquakes.

INTRODUCCIÓN

El 15 de enero de 1944, la provincia de San Juan, ubicada en la porción centro-oeste de la República Argentina, fue afectada por un sismo de características destructivas ($M_s=7.4$) que produjo la muerte de aproximadamente 10,000 personas y grandes pérdidas materiales y económicas.

El epicentro del terremoto fue ubicado a 25 km al norte de la ciudad de San Juan, en la localidad de La Laja, departamento Albardón, en una falla inversa que inclina hacia el este con bajo ángulo en superficie y que presentó en superficie un desplazamiento vertical máximo de 0.60 m y una longitud de ruptura máxima de 8 km (Groeber, 1944, Castellanos, 1945).

Estudios posteriores demuestran que los parámetros utilizados en el cálculo del sismo máximo probable, tales como la ruptura superficial, desplazamiento vertical y longitud máxima de ruptura superficial de la falla con la cual se asocia el sismo de 1944, no coinciden con los valores que arroja la aplicación de las relaciones empíricas de Slemmons (1977), Matsuda (1977), Wells y Coppersmith (1994) para un sismo de $M=7.4$ generado por una falla inversa (Perucca y Paredes, 2000).

Luego de una minuciosa revisión en terreno de otras fallas ubicadas en la localidad de La Laja y que poseen evidencias de actividad cuaternaria se encontraron manifestaciones superficiales que permiten comprobar que otras tres fallas se reactivaron durante el sismo de 1944 y que la energía liberada durante el terremoto se repartió probablemente en cuatro fallas. Entre las evidencias superficiales encontradas es posible mencionar escarpas de pocos centímetros, grietas con vegetación, vegetación alineada y pequeños barreales de falla, que se conservaron debido a la aridez y escasa acción erosiva que posee esta zona.

UBICACIÓN

La localidad de La Laja se ubica 25 km al norte de la ciudad de San Juan, $31^{\circ} 45' S$ y $68^{\circ} 30' W$, a una altura de 680 msnm en el piedemonte suroriental de la sierra de Villicum, departamento Albardón. (Figura 1).

La provincia de San Juan ubicada en el centro-oeste de la República Argentina, se localiza en la zona de mayor actividad sísmica del país. En los últimos 60 años se han registrado en la región tres terremotos con características destructivas, como los ocurridos en los años 1944, 1952 y 1977, todos de magnitud superior a 7.

Bastias (1986) ubica la zona de fracturación de La Laja dentro del Sistema de Fallamiento Cuaternario Precordillera Oriental. Este sistema se caracteriza por poseer fallas inversas de bajo ángulo en superficie, de rumbo submeridional, paralelas a subparalelas, que inclinan al este y sobreponen sedimentitas continentales de edad terciaria sobre depósitos aluviales del Cuaternario, con escarpes de falla de alturas variables desde pocos

centímetros hasta algunas decenas de metros y que se ubican a contrapendiente, con la cara libre de la escarpa hacia el oeste.

ESTRUCTURA

En la región de La Laja se encuentra un sistema de fallas que afecta a sedimentos aluviales y travertinos de edad cuaternaria que se disponen en el piedemonte suroriental de la sierra de Villicum. La edad de los depósitos Cuaternarios está determinada a partir de registros fósiles de vertebrados encontrados en los bancos de travertino asignados al Pleistoceno tardío (Contreras y Pontoriero, 1998).

Dataciones por carbono 14 de un nivel de travertino botroidal de 10 cm de espesor, intercalado con los depósitos aluviales y que se encuentra desplazado por una falla moderna, arrojan una edad de $26,400 \pm 720$ años para el bloque elevado y $25,600 \pm 500$ años para el bloque bajo, lo que ubica a este nivel en el Pleistoceno superior.

Las fallas son inversas de bajo ángulo en superficie, de rumbo submeridional que inclinan al este y sobreponen sedimentitas continentales de edad terciaria sobre depósitos aluviales del Cuaternario. El elevado control estructural de estas fallas modernas sobre la erosión permite el afloramiento, por lo general restringido a las zonas elevadas por fallas, de las sedimentitas continentales terciarias en forma de suaves lomeríos. Los estratos que forman estos lomeríos buzcan con ángulos variables hacia el este.

Las fallas poseen un rumbo promedio $N 40^{\circ} E$, en general son coincidentes con la estratificación de las sedimentitas terciarias, en superficie inclinan aproximadamente entre 30° y 45° al este y afectan los distintos niveles de abanicos y travertinos presentes en el área. La longitud de las distintas secciones de falla reactivadas durante el Cuaternario varía de 6 a 8 km.

Descripción del Fallamiento

Se destacan en la zona de La Laja cuatro fallas denominadas, de este a oeste, La Laja 1, La Laja 2, La Laja 3 y La Laja 4 (Figura 1), cuyos escarpes se disponen en forma subparalela en el piedemonte oriental de la sierra de Villicum, poseen alturas variables desde pocos centímetros hasta algunas decenas de metros y se ubican a contrapendiente, con la cara libre de la escarpa hacia el oeste.

Falla La Laja 1

Sobre la calle La Laja se encuentra una trinchera natural en la que se aprecia una falla inversa con un rumbo $N42^{\circ} E$, que inclina 23° al sureste cerca de la superficie y aumenta a 34° hacia la parte inferior. Esta falla coloca unidades del Terciario sobre depósitos aluviales

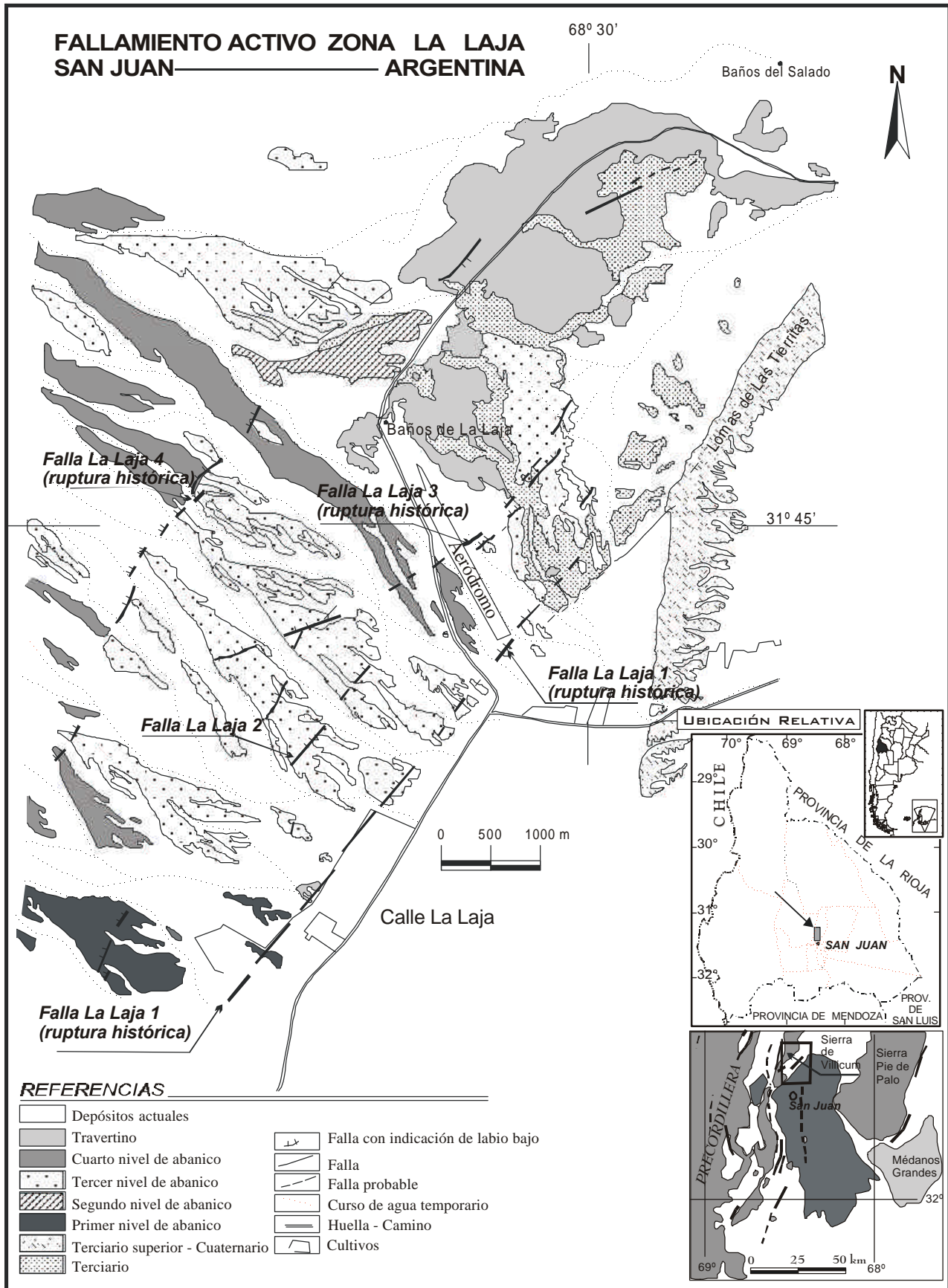


Figura 1. Área de fallamiento La Laja y rupturas históricas.

de un tercer nivel de abanico de edad cuaternaria. El desplazamiento vertical mínimo para el depósito Cuaternario de la falla La Laja es de 4 m y el desplazamiento total sobre el plano de falla es de 8.20 m. La altura del escarpe es mayor hacia el tramo central, donde supera los 4 metros medidos sobre el plano de falla.

En las proximidades del aeródromo local, las alturas del escarpe de la falla La Laja alcanzan 1.5 m y es posible observar vegetación alineada y pequeñas grietas. Al norte, el escarpe alcanza 3.50 m de altura y la falla tiene un rumbo N32°E e inclina 45° al este. El ancho de la zona de falla es de 1.30 m. En este tramo, la falla corta un nivel de travertino botroidal de aproximadamente 10 cm de espesor, el cual fue datado por el método de ^{14}C y arrojó una edad promedio de 26,000 años AC. Distintos autores reportaron rupturas en esta falla durante el terremoto de 1944.

Harrington (1944) describió un escalón de 0.22 m de altura originado después del sismo que cruzaba en ángulo recto la calle La Laja. Este autor mencionó que la fractura era bien visible en las lomas ubicadas tanto al norte como al sur del camino, ya sea como grieta abierta o como una faja de tonalidad más oscura. Determinó una longitud para esta falla de al menos 7 km. Hacia el sur, la falla cruzaba la línea férrea de la Estación Las Lomitas y suponía que la falla La Laja podría tener una longitud de al menos el doble que la visible, aunque oculta por depósitos actuales, urbanización y cultivos. Unos 1000 m al oeste de esta falla ubicó otra falla, también inversa y de rumbo N55° E, que también atravesaba el camino a los baños termales que se encuentran en la región.

Groeber (1944) describió un escalón originado por el sismo con 0.30 m de rechazo, que cruzaba el camino de La Laja y un río seco que pasa paralelo al camino, en forma perpendicular a los mismos. Este escalón se prolongaba hacia el norte y sur.

Castellanos (1945) también observó que el camino que conduce a los baños de La Laja quedó cortado por el escalón de casi medio metro que se formó como consecuencia de ese movimiento. La falla La Laja 1 sufrió

durante el sismo un desplazamiento que aumentó, de unos 30 cm originales a más de 60 cm en el primer mes que siguió al terremoto, sin una actividad sísmica apreciable (Figura 2).

Falla La Laja 2

Ubicada a 600 m al oeste de la falla La Laja 1, se presenta con un escarpe a contrapendiente, de rumbo paralelo a la anterior. Las alturas de este escarpe varían desde centímetros hasta 8 m. La longitud de este tramo es de 7 km, el rumbo N42° W y afecta el tercer nivel de abanico y niveles de terraza aluviales del Cuaternario (Figura 3). Sobre la pista de aterrizaje del aeródromo de Albardón, esta falla presenta grietas y vegetación alineada compuesta por pastos y arbustos.

Falla La Laja 3

Es una falla situada a 1,000 m al oeste de la falla La Laja 1 (Figura 1). En esta falla se excavó una trinchera en donde se encontraron depósitos aluviales de edad cuaternaria afectados por una falla inversa con inclinación de 12° al sureste. Las alturas del escarpe varían desde escasos centímetros hasta 4 m. Las mayores elevaciones se ubican en la porción central del tramo de la falla, y decrece hacia ambos extremos. La longitud total de esta falla es inferior a los 10 km.

Pocos metros al norte de la pista de aterrizaje del aeródromo del departamento Albardón, se encontraron evidencias de ruptura histórica, grietas y vegetación alineada (pastos y arbustos) sobre el trazo de la falla (Figura 4). La altura del escarpe es de 0.50 m.

Falla La Laja 4

Es la falla situada más al oeste, posee un rumbo N 40° E y afecta el tercer nivel de abanicos de edad cuaternaria y terrazas holocénicas, con alturas de escarpes variables desde 1.50 m hasta 10 m, y dispuestas a contrapendiente. La longitud total para este tramo es de 4 km. En la porción central de la falla se han observado



Figura 2. Falla La Laja 1. Ruptura histórica sobre la calle La Laja. (tomado de Castellanos, 1945).

trincheras naturales que permiten conocer el movimiento de la falla, de similares características que las antes descritas, inversa que inclina al Este con bajo ángulo y paralela a la estratificación de las sedimentitas terciarias. En la porción central de esta falla existen rasgos de ruptura histórica, pequeños barreales de falla y vegetación alineada (Figura 5).

ANÁLISIS DE PARÁMETROS NEOTECTÓNICOS

Perucca y Paredes (2000) observaron, al comparar la elevada magnitud del sismo de 1944 ($M_s = 7.4$) con los valores de desplazamiento máximo y longitud de ruptura reportados por diversos autores, que las distintas relaciones empíricas que relacionan el sismo máximo probable con las rupturas superficiales que provocan no eran coherentes con los valores reales. Los valores registrados para el terremoto del 15 de enero de 1944 por los distintos autores que describieron el sismo (Groeber, 1944; Castellanos, 1945, INPRES, 1993) son los siguientes:

M (magnitud) = 7.4
 D máx. (desplazamiento máximo) = 0.60 m
 L máx. (longitud de ruptura máxima) = 8 km

Perucca y Paredes (2000), al aplicar las distintas relaciones empíricas para una falla inversa, obtuvieron los siguientes resultados:

Para D máx. = 0.60 m obtuvieron:
 M = 6.78 (Slemmons, 1977)
 M = 6.40 (Wells y Coppersmith, 1994)
 M = 6.30 (Matsuda, 1977)

Para una L máx. = 8 km:
 M = 6.9 (Slemmons, 1977)
 M = 6.22 (Wells y Coppersmith, 1994)
 M = 6.34 (Matsuda, 1977)

Para ambos parámetros, la magnitud máxima probable para un sismo resultó ser inferior a siete. Al considerar una magnitud máxima probable $M = 7.4$, que fue la registrada para el terremoto del 15 de enero de 1944, y utilizar las mismas relaciones empíricas antes indicadas, los valores esperados de desplazamiento máximo y longitud máxima de ruptura para un evento con esta magnitud, fueron notablemente superiores a los reportados para este sismo, tal como se demuestra a continuación:

Para un sismo de $M = 7.4$
 D máx.=2.77 m; L máx.= 40 km (Slemmons, 1977)
 D máx. mayor que 10 m; L máx. = 67 km (Wells y Coppersmith, 1994).
 D máx.=2.75 m; L máx.=34.7 km (Matsuda, 1977).

Si se considera la sumatoria de los distintos tramos de falla (La Laja 1, La Laja 2, La Laja 3 y La Laja 4)



Figura 3. Ruptura histórica en la falla La Laja 2, sobre el aeródromo local.

paralelos entre sí y con evidencias de ruptura histórica, se alcanzarían valores similares de longitud de ruptura y desplazamiento vertical máximo necesarios para un sismo con las características del ocurrido en 1944, de acuerdo con lo obtenido luego de aplicar las relaciones empíricas de Slemmons (1977) y Matsuda (1977).

Por otra parte, la profundidad focal de 30 kilómetros no concuerda con las intensidades registradas (Grado IX) para la ciudad de San Juan, ubicada a 25 km de distancia del epicentro. Se infiere que la profundidad asignada es producto de la falta, en esa época, del instrumental necesario para determinar la profundidad exacta del hipocentro del sismo. Es probable que el terremoto de 1944 haya sido de carácter superficial con una profundidad hipocentral no mayor de 15 kilómetros.

CONCLUSIONES

El análisis de la zona de falla de La Laja es importante a los fines de delimitar áreas de riesgo y dar la información necesaria para una adecuada planificación urbana. La expansión actual de la zona urbana del departamento Albardón se realiza hacia el norte, ubicándose los nuevos barrios en la proximidades de las fallas antes descritas.

De acuerdo con el análisis efectuado aplicando las relaciones empíricas ampliamente utilizadas en el mundo, cualquier estudio de evaluación del riesgo sísmico



Figura 4. Ruptura histórica en la falla La Laja 3.

asociado a una sola falla para la ciudad de San Juan y departamentos aledaños a la localidad de Albardón, los cuales concentran el 90 % de la población y actividades productivas de la provincia de San Juan, daría resultados erróneos, ya que se obtendrían valores inferiores a los que se podrían esperar de un futuro sismo con características similares al ocurrido en 1944.

A pesar de que el cálculo de la longitud total de una falla luego de un terremoto puede ser relativamente simple, cuando se encuentran distintos tramos desconectados entre sí, ya sea *en echelón* o paralelos,

y que pueden romperse durante el mismo sismo, la estimación de la longitud total de la falla puede resultar un poco más complicado. En el caso del área de La Laja, se ha considerado para el cálculo de la magnitud máxima del sismo probable, la sumatoria de los tramos que presentaban evidencias de ruptura histórica. De esta manera, se obtuvieron valores muy próximos a la magnitud del terremoto de enero de 1944. Esta metodología podría ser aplicada en las regiones que poseen tramos de falla discontinuos y que se asocian a sismos históricos de gran magnitud.



Figura 5. Barreales de falla y vegetación alineada en la falla La Laja 4.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es una contribución al proyecto PEI 0111/98 del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Los autores desean expresar su agradecimiento a los evaluadores de este trabajo por sus acertadas correcciones y sugerencias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bastias, H., 1986, Fallamiento Cuaternario en la región sismotectónica de precordillera San Juan, Argentina: San Juan, Universidad Nacional de San Juan, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Tesis doctoral, 133 p.
- Castellanos, A., 1945, Cuatro lecciones sobre terremotos. Parte B. El terremoto de San Juan: Santa Fe, Argentina, Asociación Cultural de Conferencias de Rosario, Publicación, 6, 77-243.
- Contreras, V., Pontoriero, S., 1998, Hallazgo de *Neochoreorus* Hay (Rodentia: Hydrochoeridae) en los travertinos de La Laja (Pleistoceno tardío-Holoceno), San Juan, Argentina, in VII Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía, Actas Resúmenes: Bahía Blanca, Argentina, Octubre/1998, p. 141.
- Groeber, 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, Volcanes y Terremotos: Buenos Aires, Pleamar, 253[10] p.
- Instituto Nacional de Prevención Sísmica [INPRES], 1993, La Verdadera Dimensión del Problema Sísmico en la Provincia de San Juan, Argentina: Argentina, Instituto Nacional de Prevención Sísmica, Publicación Técnica 18, 46 p..
- Matsuda, T., 1977, Estimation of future destructive earthquakes from active faults on land in Japan: Journal of Physical Earth, 25, Suppl., S251-S260.
- Perucca, L., Paredes, J., 2000, Fallamiento activo y su relación con la magnitud máxima del sismo probable en la zona de La Laja, Departamento Albardón, San Juan, República Argentina. en IX Congreso Geológico Chileno, Sesión Temática: Concepción, Chile, Actas, 1 (5), 815-818.
- Slemmons, D., 1977, State of the Art for Assessing Earthquake Hazard in the United States; Faults and Earthquake Magnitude: Reno, Nevada, U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Miscellaneous Paper, S73-1, 129 p.
- Wells, D., Coppersmith, K., 1994, New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement: Bulletin of the Seismological Society of America, 84 (4), 974-1002.

Manuscrito recibido: Febrero 21, 2002

Manuscrito corregido recibido: Septiembre 19, 2002

Manuscrito aceptado: Septiembre 28, 2002