

MOVIMIENTOS PREHISTÓRICOS Y RECIENTES EN LA INTRAPLACA ARGENTINA A LA LATITUD 33° S, FALLA LAS LAGUNAS, SAMPACHO, CÓRDOBA

Guillermo Luis SAGRIPANTI¹ y Diego VILLALBA¹

¹ Departamento de Geología. Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba. E-mail: gsagripanti@exa.unrc.edu.ar

RESUMEN

En la intraplaca argentina a la latitud 33° S, región sur de la provincia de Córdoba se ubica la falla Las Lagunas. Esta estructura con probada actividad cuaternaria posee antecedentes de fuertes paleoterremotos, de terremotos históricos y sismicidad asociada frecuente. La aplicación de métodos paleosismológicos y geodésicos han permitido cuantificar los movimientos prehistóricos y recientes de la falla. Los estudios paleosismológicos realizados mediante la excavación de trincheras perpendiculares a la falla, han permitido relevar deformaciones cosísmicas correspondientes a cuatro paleoterremotos ocurridos en el Holoceno superior. La información relevada permitió estimar el desplazamiento vertical de la falla de 0,20 mm/año y el horizontal de 0,16 mm/año. En la sección Chañaritos de esta falla se emplazó una red geodésica con el fin de detectar y medir movimientos horizontales y verticales lentos e imperceptibles. La red está formada por seis estaciones distribuidas en el bloque hundido y elevado de la falla. Las mediciones de precisión fueron realizadas con una estación total electrónica. Se realizaron cuatro mediciones entre los años 2003 y 2010, cuyos datos han permitido interpretar una modificación en el sentido del movimiento de rumbo y un desplazamiento cosísmico de 37 mm, que se adjudica a un evento natural único como el terremoto de M 8,8 de Concepción, Chile de 2010.

Palabras clave: *Falla, intraplaca, técnicas geodésicas, paleoterremoto, trinchera.*

ABSTRACT

Prehistoric and recent movements in the Argentine intraplate, at the latitude 33° S, Las Lagunas fault, Sampacho, Córdoba.

Las Lagunas fault is located in the Argentine intraplate at latitude 33°S, in the southern region of the Córdoba province. This structure with proved Quaternary activity has records of strong paleoearthquakes, historical earthquakes, and associated frequent seismicity. Paleoseismic and geodesic methods have permitted to quantify the prehistoric and recent movements of the fault. Paleoseismic studies done in trenches across the fault, have permitted the recognition of coseismic deformation corresponding to four paleoearthquakes occurred in the upper Holocene. This information has allowed estimating a vertical displacement of the fault of 0.20 mm/yr and a horizontal of 0.16 mm/yr. In Chañaritos section of Las Lagunas fault, a geodesic net was placed to detect and to measure slow vertical and horizontal movements. The net is composed of six stations, located in the hangingwall and footwall blocks of the fault. Precision measurements were made with an electronic total station. Four measurements were made between years 2003 and 2010, and this information has permitted to interpret a change in the sense strike of movement and a 37 millimeters coseismic displacement of, which is assigned to an unique natural event like the earthquake of M 8.8 in Concepción, Chile 2010.

Keywords: *Fault, intraplate, geodetic techniques, paleoearthquakes, trench.*

INTRODUCCIÓN

En la intraplaca argentina la horizontalización de la placa de Nazca se manifiesta con sismicidad superficial moderada a fuerte, mayormente concentrada a la latitud 33° S entre la Precordillera y las Sierras Pampeanas (Costa y Vita Finzi 1996, Ramos 1999). Otras manifestaciones a

esta latitud, también son morfologías superficiales, deformaciones cosísmicas de sedimentos cuaternarios, ocurrencia de fuertes paleoterremotos y frecuente actividad sísmica superficial, expresiones relevadas y registradas aproximadamente a la longitud 64°-65° O (Sagripanti 2006, Sagripanti y Villalba 2009).

En el sur de la provincia de Córdoba, a la

latitud 33° S, en proximidades de la localidad de Sampacho, se ubica la falla Las Lagunas. Esta estructura, con probada actividad cuaternaria, posee importantes antecedentes sísmicos prehistóricos, históricos y actuales. Entre los antecedentes prehistóricos se pueden citar varios paleoterremotos fuertes que habrían alcanzado la magnitud Ms 7,0. El registro his-

tórico más importante es el de la ocurrencia del Gran Terremoto de Sampedro de magnitud (Richter) M 6,0. Normalmente la actividad sísmica se pone de manifiesto con sismos de alrededor de M 3,0. Desde el año 1826 hasta el presente se llevan registrados en la región un número superior a 150 entre sismos y microsismos. Los antecedentes indican que esta actividad tiene continuidad al menos desde el Pleistoceno hasta la actualidad (Sagripanti 2006, Sagripanti *et al.* 2009). La falla Las Lagunas, de movimiento inverso, tiene un rumbo aproximado 037°-055° N y plano buzante al SE. Su expresión morfológica superficial es una escarpa desarrollada en sedimentos cuaternarios que enfrenta el NO, de más de 24 km de longitud (Fig. 1). También forman parte de esta morfolología pequeñas escarpas rectilíneas, paralelas a la escarpa principal, de alrededor de 30 centímetros de altura (Sagripanti *et al.* 2001, Sagripanti 2006). En la actualidad los movimientos de la falla Las Lagunas se conocen solo parcialmente. Se supone que la tasa de movimiento es mayor que la de erosión-sedimentación, debido a que los rasgos morfológicos superficiales de la falla, escarpa y pequeñas escarpas, se preservan rectilíneos y con una expresión significativa a pesar de la erosión e importante actividad antrópica. Además, se supone que por la orientación y ubicación dentro del contexto tectónico compresivo la falla debería tener una componente de movimiento dextral, esto no ha sido corroborado hasta el presente.

Se considera que los estudios paleosismológicos aportan importantes datos sobre la sismicidad prehistórica de una región a través de la reconstrucción de los eventos tectónicos registrados en la estratigrafía del cuaternario. Estos datos se logran relevando e interpretando trazas fósiles, generadas por terremotos prehistóricos, por medio de la excavación y descripción de la exposición de trincheras. Estos estudios aportan información de base para determinar el potencial sismogénico de una falla como número de paleoterremotos, paleomagnitud, recurren-

cia, longitud de ruptura, desplazamiento por evento y tasa de desplazamiento.

La tasa de movimiento (*slip rate*) es la velocidad a la cual se mueve una falla a lo largo de un período de tiempo, expresado normalmente en mm/año. El desplazamiento total puede ser debido a terremotos sucesivos o a creep asísmico. Si se asume que el desplazamiento es cosísmico la tasa puede ser considerada como una medición geológica de la actividad sísmica (Reiter 1988, Mc Calpin 1996). En la actualidad las mediciones geodésicas se consideran como una potente herramienta para medir los lentos movimientos y deformaciones de la corteza terrestre, como así también para el estudio de la geología de los terremotos y los movimientos de una falla.

Las mediciones geodésicas de precisión, repetidas, para relevar deformaciones de la corteza son actualmente la principal fuente de información en el análisis de la geología de los terremotos. Estas mediciones cuando son aplicadas en el estudio de terremotos permiten obtener datos para describir e interpretar la ruptura de falla, como así también describir la deformación entre sucesivos eventos sísmicos (Yeats *et al.* 1997).

Para avanzar en el conocimiento del potencial sismogénico de la falla Las Lagunas se considera necesario integrar los resultados de estudios paleosismológicos obtenidos hasta la fecha, que permitieron estimar la tasa de movimiento de la estructura, con mediciones geodésicas de precisión que permitan tener un conocimiento más preciso sobre los movimientos actuales de la falla, como así también, que proporcionen información para comprobar si el movimiento de la estructura posee alguna componente de rumbo.

Se considera que lograr integrar estos conocimientos es muy importante, ya que permitirán describir y entender mejor el comportamiento de esta falla de intraplaca y avanzar en la estimación del potencial sismogénico asociado.

El objetivo de esta contribución es presentar información actualizada sobre los movimientos prehistóricos de esta estruc-

tura y un avance de los primeros resultados obtenidos sobre los movimientos recientes de la falla Las Lagunas, logrados aplicando técnicas geodésicas.

El área de estudio se ubica a la latitud 33° S, en el extremo suroriental de las Sierras Pampeanas de Córdoba, a unos 15 kilómetros al noroeste de la localidad Sampedro, próxima a las últimas estribaciones de la sierra de Comechingones. En este sector se ubica la falla Las Lagunas, que entre las estructuras reconocidas con actividad cuaternaria, es la que ofrece las condiciones morfológicas, litológicas y estructurales, más sobresalientes para ser abordada por estudios paleosismológicos que permitan reconstruir su pasado sísmico.

Además, la morfolología superficial de la escarpa rectilínea de la falla Las Lagunas, es una expresión que ofrece inmejorables condiciones para la instalación de una red geodésica que permita detectar y cuantificar los movimientos relativos recientes de la estructura (Fig. 1).

ANTECEDENTES

En general se asume que fuertes terremotos de magnitudes que superan M 5,5 generan deformaciones y rupturas en los materiales, dejando trazas (cosísmicas o pos-sísmicas), como morfológicas superficiales resultantes de la propagación de la falla (escarpas, pequeñas escarpas), como así también estructuras de deformación y licuefacción de sedimentos sueltos. Una disciplina de reciente desarrollo como la paleosismología, tiene por objetivo la búsqueda, identificación y caracterización de las deformaciones superficiales, rupturas cosísmicas, generadas por fuertes paleosismos, como así también de las deformaciones de sedimentos no consolidados (Wallace 1977, Philip y Meghraoui 1983, Pantosti 1997, Costa 2004).

Las investigaciones paleosismológicas aportan información de base sobre la paleosismicidad de una región a través de la reconstrucción de los eventos tectónicos registrados en la estratigrafía del cuaternario. En regiones de interplacas e intra-

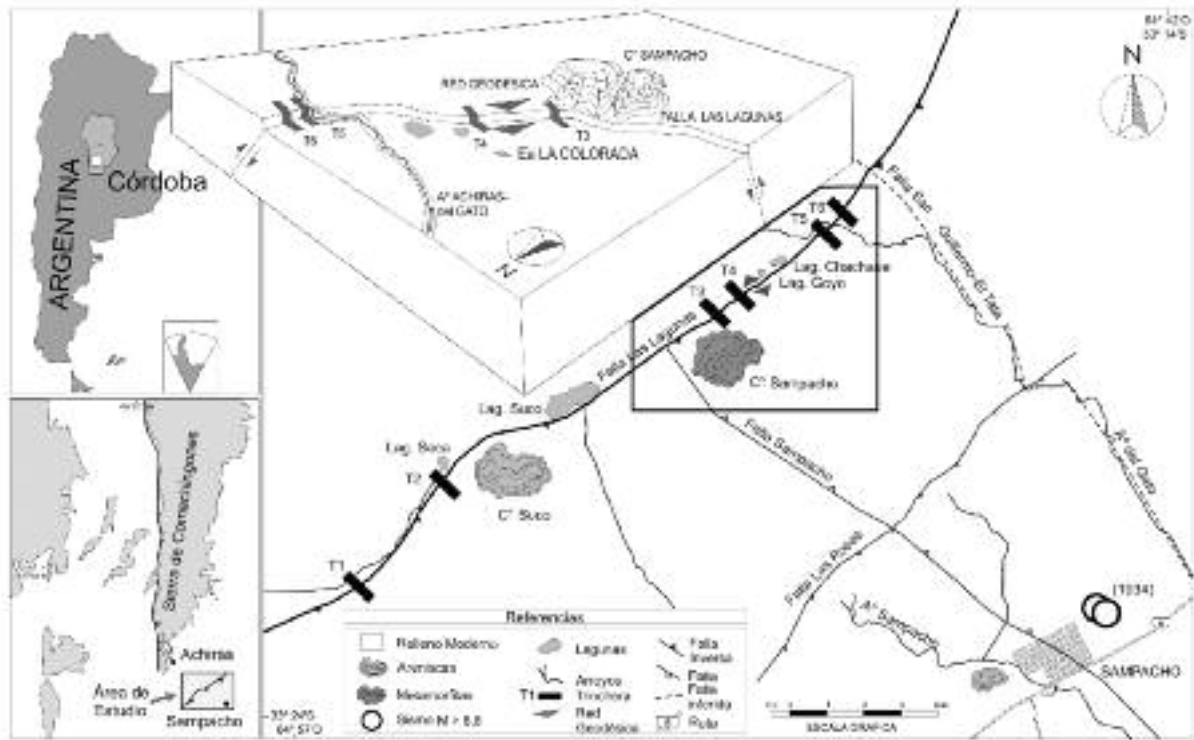


Figura 1: Mapa de ubicación área de estudio, traza de la falla Las Lagunas, epicentro del Gran Terremoto de Sampacho de magnitud M 6,0, trincheras excavadas y del emplazamiento de la red geodésica medida en el presente estudio (véase figura 4a).

placa se pueden reconocer fallas con evidencias superficiales y geológicas indicando actividad reciente. Estos rasgos cuando son valorados aportan importante información de base para la estimación de parámetros sismogénicos de una falla, de aplicación en los modernos análisis del peligro sísmico (Wallace 1977, de Polo y Slemmons 1990, Pantosti y Yeats 1993, Mc Calpin 1996, Pantosti 1997, Yeats *et al.* 1997).

Sin embargo, en regiones donde se dispone de escasos antecedentes sismológicos y donde las fallas no presentan evidencias claras de morfologías superficiales recientes, son los estudios paleosismológicos los que aportan información de base, para el análisis del peligro sísmico, como número de paleoterremotos, paleomagnitud, recurrencia, longitud de ruptura, desplazamiento por evento y tasa de desplazamiento.

La tasa de desplazamiento es uno de los parámetros fundamentales que describe la paleosismicidad de una falla y es uno de los componentes críticos en la evaluación y análisis del peligro sísmico (Mc Cal-

pin 1996).

En zonas propensas a terremotos, las fuerzas tectónicas deforman a las rocas de la corteza de modo continuo e imperceptible. Si bien las manifestaciones más obvias de estas deformaciones son montañas producidas por movimientos verticales, durante millones de años, estos movimientos lentos de la corteza hoy pueden detectarse y mensurarse a través de mediciones geodésicas, como por ejemplo, mediciones topográficas de precisión (Bolt 1995).

Normalmente en el estudio de los terremotos se utilizan tres herramientas principales, el estudio de las ondas sísmicas, la geología y la geodesia. Originalmente la geodesia fue desarrollada para medir precisamente distancias y elevaciones de la superficie terrestre, posteriormente, se arribó a que las variaciones detectadas en las mediciones geodésicas podían ser usadas en el estudio de la deformación de la Tierra, como así también en las deformaciones generadas por terremotos (Yeats *et al.* 1997).

Según Yeats *et al.* (1997) las principales

técnicas de medición geodésicas con base terrestre (triangulación, trilateración y nivelación) utilizadas en estudios tectónicos, comienzan a tener mayor aplicación a partir del año 1960 y llegan a convertirse en los principales métodos geodésicos hasta alrededor del año 1980. En esta época, es cuando tiene inicio el desarrollo y la aplicación de técnicas geodésicas con base espacial, como interferometría de líneas de base largas (VLBI), relevamiento láser satelital (SLR) y sistema de posicionamiento satelital (GPS).

En general las técnicas de medición, repetidas, con base terrestre para determinar la deformación horizontal y vertical consisten en la instalación de estaciones a ambos lados de la falla, donde la posición de cada punto en relación a los otros es perfectamente conocida. Esta disposición se considera una red sensible a cualquier movimiento a través de la falla. Repetidas mediciones de precisión de la orientación y longitud de las líneas de base entre estaciones permiten reconocer si ha tenido ocurrencia algún movimiento y su magnitud (Keller y Pinter 1996).

La creciente necesidad de aumentar el conocimiento sobre el potencial sismogénico asociado a fallas con actividad cuaternaria y el riesgo sísmico a que están expuestas algunas poblaciones en la actualidad depende, en su gran mayoría, de las investigaciones paleosismológicas que se puedan realizar (McCalpin 1996, Costa 2004). Estas actividades se pueden complementar con datos actualizados, como los que aportan los relevamientos geodésicos de precisión, para lograr una mejor comprensión del comportamiento de las fallas.

Las investigaciones desarrolladas en el sector suroriental de las sierras de Comechingones, donde se ubica el área de estudio, por numerosos autores (Olsacher 1935, Mingorance 1987, 1991, Aguilera *et al.* 2002, Sagripanti *et al.* 1998a, b, 2001, 2003, 2005, Sagripanti 2006, Sagripanti y Villalba 2006, Sagripanti y Villalba 2009, Sagripanti *et al.* 2009 y Seitz 2009) se consideran importantes contribuciones que han permitido avanzar en el conocimiento de la sismicidad y neotectónica de la región. Sin embargo, no se cuenta en la región con antecedentes de registros de mediciones geodésicas de precisión con base terrestre.

MARCO GEOLÓGICO Y SISMICIDAD

En el área de estudio las principales unidades estratigráficas aflorantes son el basamento cristalino precámbrico-paleozoico inferior-medio (metamorfitas intruidas por cuerpos graníticos), sedimentitas pérmicas (areniscas cuarcíticas de grano fino a medio) y sedimentitas cenozoicas (arenas, limos y arcillas).

En esta área, que comprende el borde suroriental de la sierra de Comechingones, se reconocen fallas de orientación azimutal promedio de 030°-050°N y 120°N. Algunas de estas estructuras presentan evidencias morfológicas superficiales de actividad neotectónica. Entre estas, la falla Las Lagunas se considera la más importante por su expresión y actividad cuaternaria manifiesta (Fig. 2).

La falla Las lagunas tiene movimiento inverso y plano buzante al SE. El rumbo promedio de las secciones que la forman es entre 037°-055° N. La longitud de su expresión en superficie es de 24 km aunque se ha estimado, por métodos geofísicos, estratigráficos y paleosismológicos, que su longitud hacia el NE podría superar los 60 km (Sagripanti 2006, Seitz 2009).

La expresión morfológica superficial de esta falla es una escarpa rectilínea, formada por sedimentos loésicos, que enfrenta al noroeste alcanzando los ocho metros de altura en algunas secciones. Otras morfologías asociadas a la escarpa principal son pequeñas escarpas que poseen el mismo rumbo de la traza de la falla y que superan los 30 cm de altura. Estas expresiones se preservan claramente a pesar de la erosión y de la importante intervención antrópica a la que están sometidas. Se estima que la tasa de movimiento es mayor que la tasa de erosión (Sagripanti 2006, Sagripanti *et al.* 2009).

El área de estudio se encuentra en una región en la cual los intervalos de recurrencia de fuertes sismos normalmente superan los registros de la sismicidad histórica. Es por ello que se han realizado estudios paleosismológicos para extender el registro sísmico prehistórico. En estos estudios se ha interpretado la ocurrencia de numerosos paleoterremotos fuertes, que habrían alcanzado una Ms 7,0 durante el Cuaternario (Sagripanti 2006, Sagripanti y Villalba 2009).

Una crisis sísmica importante, acontecida en la intraplaca de Argentina, tuvo epicentro en esta región sur de la provincia de Córdoba, en el año 1934, cuando ocurrieron dos terremotos destructores considerados de los más fuertes registrados dentro de la zona de peligrosidad reducida de Argentina (Sagripanti *et al.* 2001). La magnitud del sismo inicial fue M 5,5 y del principal M 6,0, cuya intensidad alcanzó VIII-IX grados en la escala Mercalli Modificada. Estos terremotos fueron percibidos en localidades distantes ubicadas en las provincias de Córdoba, La Pampa, Santa Fe y San Luis (Olsacher 1935, Castano 1977).

La sismicidad en la zona de estudio normalmente, es moderada-leve y superficial, concentrada principalmente entre las localidades de Achiras y Sampacho. Si bien la mayoría de los sismos son de $M \leq 3,0$, se han registrado, al menos seis, que han sido mayores a M 4,0.

La actividad sísmica local, entre diciembre del año 2003 y marzo del año 2010, con epicentro en el área de estudio alcanzó magnitudes entre M 3,0 y M 3,7. Los registros instrumentales y de parámetros macrosísmicos de estos sismos se presentan en un catálogo (Cuadro 1) y la distribución de epicentros en un mapa (Fig. 2).

METODOLOGÍA

Se considera fundamental para parametrizar los movimientos de una estructura con probada actividad cuaternaria, no solo conocer y cuantificar la tasa de desplazamientos prehistóricos sino también, determinar los movimientos actuales.

Las metodologías aplicadas para obtener datos de movimientos prehistóricos y recientes de la falla Las Lagunas, comprenden un estudio paleosismológico y mediciones geodésicas de precisión.

El estudio paleosismológico consistió en la apertura y *logging* de trincheras con el propósito de detectar y relevar evidencias que permitieran cuantificar desplazamientos, presentes en los distintos niveles estratigráficos, cosísmicamente inducidos.

Las mediciones geodésicas de precisión se realizaron para detectar variaciones en longitudes horizontales, verticales y angulares asociadas a movimientos de la falla, mediante la instalación de estaciones que conforman una red geodésica y la técnica de medición topográfica de precisión usada fue la radiación.

Movimientos prehistóricos

Con el propósito de cuantificar los movimientos horizontales y verticales de la falla se realizaron seis trincheras perpendiculares a pequeñas escarpas de la estructura (Fig. 1) denominadas T1, T2, T3, T4, T5 y T6, siendo T1 y T2 trincheras de exploración y las restantes principales. Las

dimensiones de las trincheras en general son entre 10 y 30 metros de largo, de hasta 4 metros de ancho y 3 metros de profundidad (Fig. 3a y b).

Si bien se realizaron algunas trincheras de exploración, paralelas al rumbo de la falla, con el objetivo de visualizar evidencias de desplazamiento de rumbo de la estructura, no se logró constatar la presencia de éstas.

Una vez finalizada cada excavación se rectificaron las paredes de las trincheras y posteriormente se instaló una grilla de 1 por 0,5 metros, de referencia para el posterior *log* fotográfico (Sagripanti 2006, Sagripanti y Villalba 2009).

Las trincheras se excavaron en sedimentos de origen eólico, fluvial y lagunar. La descripción generalizada del perfil tipo, de base a techo, de la secuencia de sedimentos expuesta en las trincheras está compuesta por: sedimentos eólicos, arenosos muy finos a limosos correspondientes a la Formación Laguna Oscura, cuya edad es entre 6.000 y 4.000 a AP. Sobreyacen a estos sedimentos tres niveles de sedimentos lagunares cuyas edades radiocarbónicas son 3.770, 2.820 y 1.780 a AP (Sagripanti 2006). Completan el perfil materiales correspondientes al relleno moderno.

Los resultados obtenidos por medio de las evidencias de deformaciones cosísmicas, de escala mesoscópica, relevadas en tres de las cuatro trincheras principales descriptas, como estructuras de deformación posdeposicionales en sedimentos no

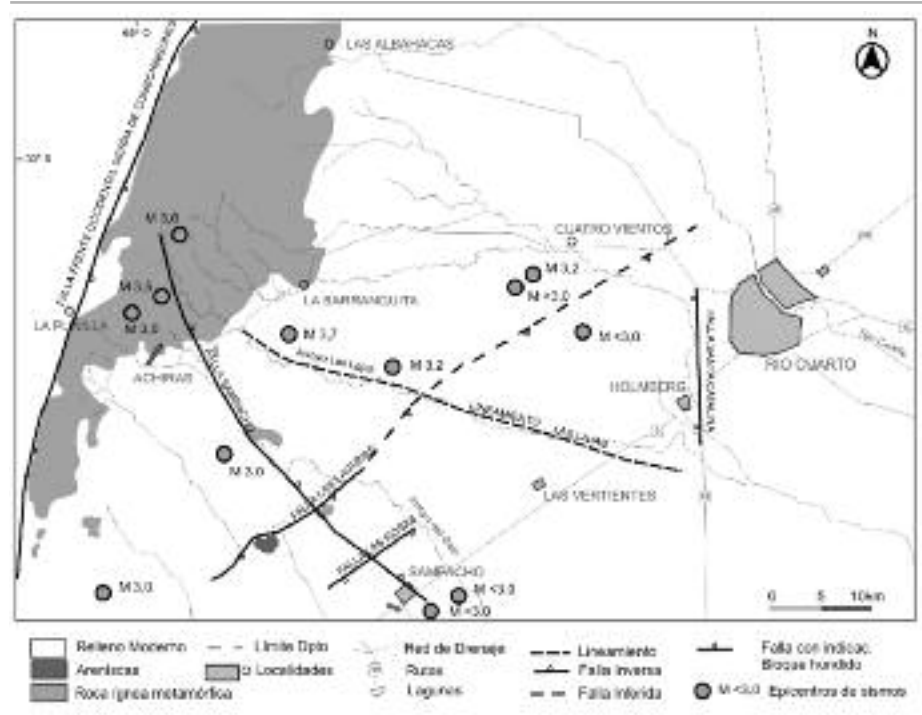


Figura 2: Mapa de las principales estructuras ubicadas en el área de estudio y de la distribución epicentral de los sismos locales ocurridos desde el emplazamiento de la red geodésica en la falla Las Lagunas hasta marzo de 2010.

consolidados, de paleolicuefacción, desplazamientos y rasgos morfológicos superficiales, han permitido interpretar la ocurrencia de fuertes paleoterremotos. Las trincheras T3 (estancia La Leona), T4 (estancia La Colorada) y T6 (estancia Vieja) (Fig. 3a y b), son las que presentan, numerosas y claras, evidencias de deformaciones frágiles y dúctiles que han permitido reconstruir con mayor certidumbre el registro de fuertes paleoterremotos con ocurrencia en el Holoceno superior. Los sedimentos no consolidados normal-

mente no preservan el plano de ruptura visible, por lo tanto es difícil reconocer su propagación hacia la superficie. Sin embargo, a partir del análisis detallado de los perfiles de las trincheras se corroboraron desplazamientos verticales (rechazo) para cada paleoterremoto que varían entre 15 y 30 centímetros (Sagripanti 2006, Sagripanti y Villalba 2009). Estos valores se determinaron en los rechazos medidos en el *log* y por medio de la potencia de cuñas coluviales, siguiendo el criterio propuesto por McCalpin (1996).

CUADRO 1: Catálogo de parámetros macrosísmicos y registros instrumentales de sismos locales ocurridos en el período Diciembre 2003 - Marzo 2010.

Nº	Lugar	Fecha	Hora GMT	Latitud Sur	Longitud Oeste	Profundidad (Km)	Magnitud Richter	Intensidad MM	Fuente
1	Sampacho	05/06/2004	06:54:11	-33,29	-64,89	33	3,0	II-III	INPRES
2	Sampacho	18/06/2004	21:47:50	-33,41	-64,44	?	<3,0	II	Param. Macrosísmicos
3	C. Vientos	27/02/2005	15:20:00	-33,11	-64,60	?	<3,0	II	Param. Macrosísmicos
4	C. Vientos	17/02/2006	01:20:00	-33,11	-64,60	?	<3,0	II-III	Param. Macrosísmicos
5	C. Vientos	15/08/2007	16:35:05	-33,15	-64,54	30	3,2	II-III	INPRES
6	Sampacho	12/03/2008	22:20:00	-33,41	-64,44	?	<3,0	II-III	D. Puntal
7	Achiras	27/04/2008	17:31:22	-33,09	-64,92	41	3,0	II-III	INPRES
8	Achiras	20/08/2008	06:25:37	-33,15	-65,00	10	3,0	II-III	INPRES
9	Achiras	03/06/2009	12:48:00	-33,1	-64,90	?	3,5	II-III	INPRES
10	Barranquita	23/10/2009	17:07:05	-33,16	-64,85	33	3,7	II-III	INPRES
11	Carolina	17/11/2009	08:50:09	-33,19	-64,75	10	3,2	II-III	INPRES
12	Suco	04/12/2009	10:14:00	-33,42	-65,00	10	3,5	II-III	INPRES

Estos desplazamientos medidos junto a las importantes estructuras de deformación relevadas en los sedimentos no consolidados, ubicadas en la zona de *ground shaking* de la falla, han permitido interpretar cuatro fuertes paleoeventos en los últimos 4.000 años, Holoceno superior. La distribución temporal de estos paleoeventos propuesta es la siguiente: el primer evento se considera que ha tenido ocurrencia con posterioridad a los 4.000 a AP, el segundo evento con posterioridad y próximo a los 2.820 a AP, el tercer paleoevento se estima fue posterior los 1.780 a AP y finalmente el cuarto evento que podría ser histórico. La tasa de movimiento determinada fue de 0,245 mm/año (Sagripanti 2006).

La extensión lateral de la trinchera T6 permitió definir de forma más precisa la geometría del plano secundario de falla quedando su buzamiento comprendido entre 36° y 70° SE. Esto permitió un mejor tratamiento de los datos llegando a la discretización más precisa de los desplazamientos verticales y horizontales correspondientes a cada evento, los que son presentados en una tabla de síntesis (Cuadro 2). En esta tabla solo se indican los movimientos que se midieron con mayor precisión en cada trinchera.

La estimación de la tasa de desplazamiento se realizó considerando los desplazamientos acumulados, en el plano secundario de falla, correspondientes a los últimos cuatro eventos interpretados en las trincheras T3, T4 y T6, que han afectado sedimentos de edad aproximada 4.000 a AP y que suman un desplazamiento vertical (rechazo) de al menos 80 centímetros. Se estimó la velocidad de la falla siguiendo el criterio de McCaLpin (1996), donde: SR (*Slip Rate*) = desplazamiento total (mm)/ edad de sedimentos (años), del que resulta una tasa de desplazamiento vertical de: $SR = 800 \text{ mm}/4.000 \text{ a AP} = 0,20 \text{ mm/año}$.

La estimación de los desplazamientos horizontales al igual que los verticales se realizó considerando los desplazamientos correspondientes a los paleoeventos interpretados en las trincheras T3, T4 y T6.

El buzamiento del plano de falla adopta distintos valores entre el zócalo cristalino y los sedimentos cuaternarios, por ejemplo posee 36° SE en el zócalo modificando su actitud cuando atraviesa los sedimentos sueltos adoptando 50° SE y finalmente se verticaliza hacia arriba adoptando una inclinación de 70° SE. Es por esto que para el cálculo del desplazamiento horizontal se consideró a los dos buzamientos más altos medidos y los resultados obtenidos para las dos situaciones se presentan en el Cuadro 2.

Siguiendo el mismo criterio anterior para el cálculo de la tasa de desplazamiento:

$SR = \text{desplazamiento total (mm)}/\text{edad de sedimentos (años)}$, del que resulta una tasa de desplazamiento horizontal de: $SR = 270 - 640 \text{ mm}/4.000 \text{ a AP} = 0,07 - 0,16 \text{ mm/año}$.

Movimientos recientes

Con el objetivo de medir con precisión las variaciones en longitudes horizontales, verticales y angulares, correspondientes a movimientos de la falla, se emplazó una red geodésica en la sección Chañaritos. Se escogió este sitio por la expresión morfológica neta que presentan la escarpa de falla y las pequeñas escarpas rectilíneas que están confirmando la ubicación precisa de la traza de la falla (Fig. 4a y b). El método de relevamiento y la definición de los intervalos de tiempo para realizar las mediciones repetidas se planificó considerando dos aspectos relevantes: La velocidad de la falla (0,20 mm/año) y la precisión del equipo con que se contaba al momento de emplazar la red geodésica. Originalmente se planificó hacer una medición al emplazar la red y otra a aproximadamente 100 días con el objetivo de detectar alguna variación de origen no tectónico y debido a que los movimientos de la falla son muy lentos e imperceptibles, para asegurar lograr valores mensurables de desplazamientos, realizar mediciones cada 10 años. En caso de que se justifique hacer mediciones antes de este plazo, como por ejemplo si tienen ocurrencia episodios sísmicos con epicentro en el sector.

La disposición de las estaciones no es totalmente simétrica ya que su posicionamiento fue condicionado por dos razones. Las estaciones quedan bajo la superficie para evitar que sean destruidas por la gente (Fig. 5b) es por ello que se eligieron sitios próximos a alambrados existentes, de referencia, que permitan encontrarlas rápidamente y para que no fueran removidas accidentalmente por la maquinaria agrícola. La otra razón fue obtener la mayor precisión posible en cada medición y, si bien el alcance del equipo de medición es de hasta 2400 metros, se decidió ubicar las estaciones en un radio no mayor a 100 metros.

El método de relevamiento topográfico de precisión elegido para determinar la posición espacial (X, Y y Z) de las estaciones es el de radiación. Se realizaron mediciones a cada estación desde un punto fijo o polo de radiación, denominado P (Fig. 6). Se escogió este método debido a la proximidad que tienen las estaciones y a la rapidez con que se podría realizar el relevamiento de las mismas, evitando así la incidencia de las condiciones climáticas, es por ello que se realizaron las mediciones a aproximadamente la misma hora y con condiciones climáticas, normales, similares. Estas consideraciones, proximidad, rapidez y clima, se tuvieron en cuenta con el objetivo de que no incidan en la precisión de la estación total.

Es importante tener en cuenta que las mediciones realizadas son con el propósito de determinar la posición de las estaciones dentro de un sistema local de coordenadas y verificar los movimientos relativos entre ellas y no para determinar valores absolutos.

Con el objetivo de lograr una buena estabilidad de las estaciones, se construyeron bases con planchuelas de acero fijadas en forma de cruz a las que se anexó en forma vertical un cilindro de acero roscado en su extremo superior con rosca cónica donde se coloca el jalón porta prisma reflector, este último fue construido con un tubo de acero de 3 mm de pared (Fig. 5a). Posteriormente estas estructuras metálicas fueron colocadas dentro de un



Figura 3: a) Perfil litológico de la pared sur de la trinchera T4, estancia La Colorada. Las líneas de trazo y flechas indican la ubicación de las pequeñas escarpas paralelas al rumbo de la falla; b) Perfil litológico de la pared norte de la trinchera T6, Estancia Vieja. Se expone la disposición de la grilla de referencia utilizada en el log fotográfico y las edades de los materiales cósmicamente deformados que fueron objeto de estudio.



Figura 4: a) Vista oblicua que presenta la escarpa de la falla Las Lagunas y el emplazamiento de las estaciones que forman la red geodésica; b) Vista de frente de la escarpa y pequeña escarpa de la falla. Las flechas indican la traza de las morfologías superficiales.

molde cónico y rellenas con cemento. La altura aproximada de cada base es de 70 cm. El jalón porta reflector cuenta en su extremo inferior con una rosca cónica para asegurar el perfecto ajuste con la base y en su parte superior con un dispositivo móvil que permite girar libremente el prisma para ser colimado por el sistema de puntería de la estación total electrónica utilizada (Fig. 5c). La red geodésica está formada por 6 estaciones ubicadas de a tres (denominadas E1, E2, E3, E4, E5 y E6) formando dos triángulos, uno emplazado en el bloque hundido y el otro en el levantado (Fig. 4a). Para emplazar las estaciones se excavó hasta 1 metro de profundidad se compactó el sedimento y se colocaron las bases, quedando las roscas a aproximada-

CUADRO 2: Resumen de los rechazos verticales y horizontales correspondientes a cada paleoevento interpretado con mayor certidumbre en tres de las trincheras excavadas.

	Trinchera 3	Trinchera 4	Trinchera 6	Eventos	Edad	
Movimientos	RV	15 cm		Evento 4	100 aAP	
	RH	5 - 12 cm		Evento 3		
	RV	15 cm		Evento 2	1.780 aAP	
	RH	5 - 12 cm		Evento 1		
	RV	20 cm			2.820 aAP	
	RH	7 - 16 cm				
	RV		30 cm	30 cm	Evento 1	4.000 aAP
	RH		10 - 24 cm	10 - 24 cm		

mente 25 cm de profundidad, posteriormente se compactaron los sedimentos removidos tratando de lograr que cada base quede perfectamente verticalizada (Fig. 5b).

Las mediciones de precisión fueron realizadas con una estación total electrónica, marca Sokkia Set 610 cuya señal es LED

infrarrojo. Algunas de sus características técnicas son: lectura mínima de pantalla para medición de ángulos es de 1", la precisión es de 6" con un tiempo de medición menor a 0,5 segundos. La lectura de pantalla para la medición de distancias con prisma estándar (1-2.400 m) es de 0,001 m y la precisión ± (2+2 ppm) y el

tiempo de medición 2,8 segundos.

Las mediciones se efectuaron para determinar: a) cambios en la longitud de las líneas entre estaciones (L1-2, L1-3, L2-3, L4-5, L4-6 y L5-6) que forman los triángulos de control, b) cambios en la longitud de las diagonales L1-5 y L2-6 que corresponden al polígono elegido dentro de la red geodésica formado por las líneas L1-2, L2-5, L5-6 y L6-1 (Fig. 6), y c) variaciones en los valores de los ángulos denominados A, B, C y D (Fig. 6).

También se han relevado otros datos complementarios como la velocidad del viento, temperatura, actividad sísmica, etc. En el período entre los meses de diciembre y marzo de los años 2003 y 2010 respectivamente se realizaron cuatro mediciones, las que abajo se detallan.

La primera medición se realizó el día 26 de diciembre de 2003, bajo condiciones climáticas normales, los datos obtenidos se presentan en el cuadro 3.

Como ya se mencionó, se realizó la segunda medición planificada el 15 de abril de 2004, con el objetivo de controlar detalladamente la posición vertical de las bases y corroborar algún asentamiento propio de los sedimentos en los primeros meses (período de lluvias) y también la precisión con que se realizan las mediciones, los datos correspondientes se presentan en el cuadro 3.

La tercera medición se realizó el 12 de agosto del año 2004, casi cuatro meses después de la anterior. Se decidió realizar la misma antes del plazo previsto debido a que el sector fue epicentro de dos sismos de magnitud ($M 3,0$ y $M < 3,0$) superior a la de los frecuentes microsismos que tienen epicentro en el entorno de la localidad de Sampacho, con el fin de comprobar alguna anomalía en las dimensiones de la red geodésica. Los datos obtenidos en la medición se presentan en el cuadro 3.

La cuarta medición se realizó el 10 de marzo del año 2010 aproximadamente 68 meses después de la anterior. Si bien esta medición no estaba planificada se tomó la decisión de realizarla debido a un incremento en la actividad sísmica local con

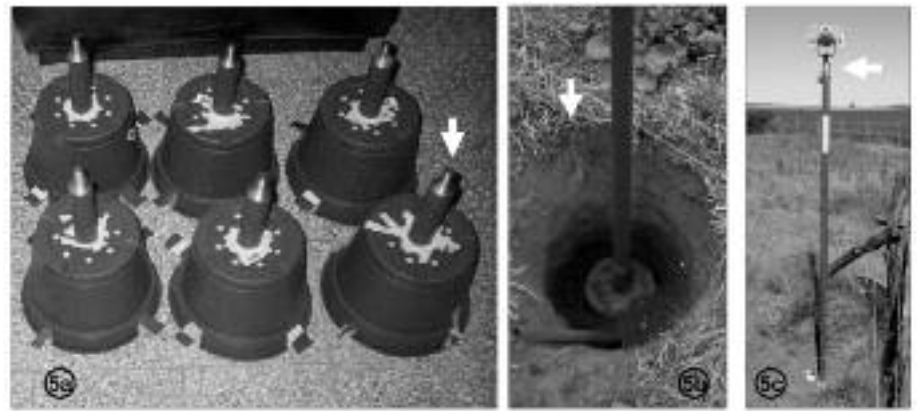


Figura 5: a) Base de Estaciones de hormigón y metal componentes de las estaciones de la red geodésica, la flecha indica la rosca cónica; b) Ubicación de la base a aproximadamente 1 m de profundidad, la flecha indica la superficie del suelo; c) Jalón y prisma montado en la base estación, la flecha indica el dispositivo que permite el giro del reflector.

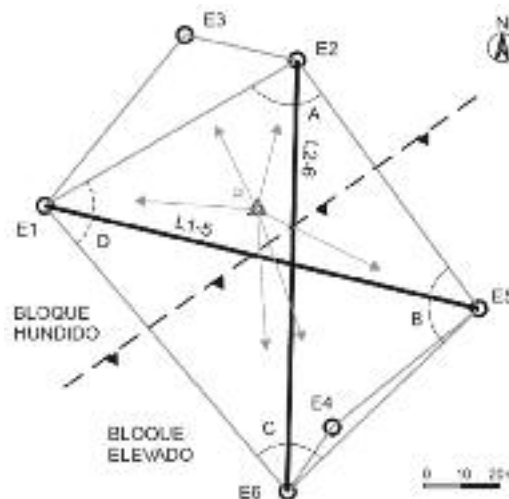


Figura 6: Esquema que presenta la ubicación de las estaciones que componen la red geodésica (E1, E2... E6), los triángulos de control (E1-E2-E3 y E4-E5-E6), el polígono (E1-E2-E5-E6-E1) y las diagonales elegidas para determinar las variaciones (L1-5 y L2-6), y se indican los ángulos usados en el análisis (A, B, C y D). P es el punto fijo o polo de la radiación. Se indica la posición de la traza de la falla y del bloque hundido y elevado.

epicentro en el entorno de la red geodésica y a la ocurrencia de un mega terremoto en la costa chilena. En la zona ocurrieron un total de 10 sismos superficiales cuya magnitud fue entre $M 3,0$ y $M 3,7$, como así también tuvo ocurrencia el megaterremoto del 27 de febrero de 2010 en Chile, que alcanzó una $M 8,8$. La distancia de la zona de estudio al epicentro es de alrededor de 850 km, con un rumbo aproximado entre el epicentro y la falla Las Lagunas de 060° - 065° N. Los datos relevados se presentan en el cuadro 3. Los resultados obtenidos mediante el análisis de los datos relevados en cada medición se lograron comparando los datos entre mediciones sucesivas con el fin de detectar alguna variación en los valores angulares y en la longitud de las líneas diagonales escogidas.

Con el objetivo de establecer un marco comparativo entre las cotas de las seis estaciones, en las sucesivas mediciones, se estableció como estación de referencia a la E4, asignándole una cota arbitraria de 100 m. A partir de esta se determinan las cotas de las otras estaciones en cada medición. Analizando los datos obtenidos entre la primera y segunda medición se puede apreciar que las distancias entre las estaciones que forman los triángulos de base (que deberían ser constantes) se mantienen o varían (aleatoriamente) en el orden de las décimas de milímetro considerando que las mismas pueden ser asignadas a variaciones propias de la manipulación del equipo. Comparando las relaciones entre los triángulos (variaciones que deberían responder al movimiento entre bloques), se puede apreciar que los ángu-

CUADRO 3: Tabla de datos (longitud, cota, ángulos, estado del tiempo meteorológico, etc.) relevados en las cuatro mediciones realizadas en la red geodésica en un período de seis años.

	Línea			Estación			Ángulos			Observaciones
	Ident.	Longitud (m)	Diferencia con medic. anterior	Ident.	Cota (m)	Diferencia con medic. anterior	Ident.	Dimensión	Diferencia con medic. anterior	
26 Dic. 2003	L1 - 2	76,7939		E1	92,656		A	96° 12' 35"		Período: Hora: 08:45 Temperatura: 27° Estado del tiempo: sol Viento: moder. - fuerte N - S Actividad sísmica local: no
	L1 - 3	58,2172		E2	91,242		B	97° 29' 41"		
	L2 - 3	30,3187		E3	90,336		C	86° 37' 07"		
	L4 - 5	49,6730		E4	100,000		D	79° 40' 36"		
	L4 - 6	20,7719		E5	99,426					
	L5 - 6	69,8490		E6	100,264					
	L2 - 6	113,7941								
15 Abr. 2004	L1 - 5	117,6307								Período: 111 días, 3,7 meses Hora: 10:00 Temperatura: 15° Estado del tiempo: nublado Viento: moderado NE - SO Actividad sísmica local: no
	L1 - 2	76,7948	0,0009	E1	92,657	0,002	A	96° 12' 34"	(-) 00° 00' 01"	
	L1 - 3	58,2179	0,0007	E2	91,242	0,000	B	97° 29' 42"	00° 00' 02"	
	L2 - 3	30,3189	-0,0002	E3	90,336	0,000	C	86° 37' 10"	00° 00' 03"	
	L4 - 5	49,6730	0,0000	E4	100,000	0,000	D	79° 40' 34"	(-) 00° 00' 02"	
	L4 - 6	20,7710	-0,0009	E5	99,427	0,001				
	L5 - 6	69,8481	-0,0009	E6	100,264	0,002				
12 Agos. 2004	L2 - 6	113,7943	0,0002							Período: 119 días, 3,9 meses Hora: 10:55 Temperatura: 17° Estado del tiempo: sol Viento: leve NE - SO Actividad sísmica local: si
	L1 - 5	117,6313	0,0006							
	L1 - 2	76,7947	-0,0001	E1	92,655	-0,002	A	96° 12' 07"	(-) 00° 00' 27"	
	L1 - 3	58,2164	-0,0015	E2	91,240	-0,002	B	97° 29' 49"	00° 00' 07"	
	L2 - 3	30,3188	0,0001	E3	90,333	-0,003	C	86° 37' 07"	(-) 00° 00' 03"	
	L4 - 5	49,6743	0,0013	E4	100,000	0,000	D	79° 40' 57"	00° 00' 23"	
	L4 - 6	20,7700	-0,0019	E5	99,427	0,000				
10 Mar. 2010	L5 - 6	69,8484	-0,0030	E6	100,262	-0,002				Período: 2039 días, 68 meses Hora: 10:55 Temperatura: 27° Estado del tiempo: sol Viento: moderado NO - SE Actividad sísmica local: si
	L2 - 6	113,7948	0,0005							
	L1 - 5	117,6234	-0,0079							
	L1 - 2	76,7939	-0,0008	E1	92,657	0,002	A	96° 13' 39"	00° 01' 32"	
	L1 - 3	58,2166	0,0002	E2	91,242	0,002	B	97° 29' 00"	(-) 00° 00' 49"	
	L2 - 3	30,3189	0,0001	E3	90,330	-0,003	C	86° 37' 50"	00° 00' 43"	
	L4 - 5	49,6730	-0,0013	E4	100,000	0,000	D	79° 39' 31"	(-) 00° 01' 26"	
L4 - 6	20,7676	-0,0024	E5	99,423	-0,004					
L5 - 6	69,8449	-0,0035	E6	100,262	0,000					
L2 - 6	113,7578	-0,0370								
L1 - 5	117,6241	0,0007								

los de A, B, C y D varían en el orden de 0° 00' 01" y la variación de la longitud de las diagonales L1-5 y L2-6 es del orden de 0,1 mm. Sobre la base de estos datos y de la comprobación que la estabilidad y verticalidad de las estaciones se mantienen, se puede interpretar que las mismas no sufrieron asentamientos ni modificaciones por reptación de ladera. Por lo tanto, se interpreta que el orden de magnitud en las variaciones de las diagonales y las cotas es el esperado, considerando la velocidad de la falla de 0,20 mm/año. En el análisis entre la segunda y tercera medición se ha detectado una variación en los valores angulares entre triángulos según: Los ángulos A y C disminuyen 0°

00' 27" y 0° 00' 03" respectivamente, mientras que B y D aumentan 0° 00' 07" y 0° 00' 23" en ese orden. En las variaciones de la longitud de las diagonales L1-5 y L2-6 se verifica en la primera un acortamiento de 7,3 mm y en la segunda un alargamiento de 0,7 mm. Integrando las variaciones angulares y de las diagonales se interpreta una tendencia dextral en el movimiento de la falla. Las variaciones de los valores de cota están en el orden de lo esperado, indicando que las estaciones E1 y E2, ubicadas en el bloque hundido, están 2 mm más abajo. Realizando el análisis de los datos obtenidos en la cuarta medición y comparados con los de la tercera, resulta una variación

en los valores angulares que se distribuye de la siguiente forma. Los ángulos que aumentan su valor son el A (0°01'32") y el C (0°00'43"), mientras que los ángulos que disminuyen son B (0°00'49") y D (0° 01'26"). Estos valores son sensiblemente mayores a los obtenidos anteriormente. Las variaciones en las longitudes de las diagonales son para L1-5 un alargamiento de 0,7 mm, mientras que la L2-6 presenta un acortamiento de 37 mm. Analizando en forma integral las variaciones angulares y la longitud de las líneas diagonales se interpreta para la falla un movimiento con componente de rumbo sinistral. Las variaciones en los valores de cota no

son importantes comparados con el movimiento horizontal. En las estaciones ubicadas en el bloque hundido se ha detectado un aumento de cota de 2 mm mientras que en el bloque elevado la cota de la estación E5 disminuyó 4 mm, siendo este valor el más alto registrado.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La Falla Las Lagunas es reconocida como una estructura inversa con probada actividad cuaternaria. Por medio de las investigaciones paleosismológicas se ha definido que la tasa de movimiento verticales de 0,20 mm/año y horizontal hasta 0,16 mm/año. Si bien estos valores indican un movimiento lento de la estructura, son significativos para una falla de intraplaca. Se interpreta que estos valores podrían estar influenciados por un período de mayor actividad de la falla en el Holoceno superior. Por otra parte se reconoce que los rasgos morfológicos superficiales rectilíneos de la falla (escarpa y pequeñas escarpas) se preservan a pesar de la erosión e intensa actividad antrópica, por lo que se considera que la tasa de movimiento vertical es mayor que la de erosión-sedimentación, poniendo de manifiesto que la falla ejerce un control activo sobre la escarpa.

La mayoría de las repetidas mediciones topográficas de precisión han permitido cuantificar las casi imperceptibles variaciones en los movimientos de la falla cuya tendencia se mantiene, por lo que se interpreta que corresponderían al normal comportamiento de la estructura, pudiendo aseverar que posee una componente de rumbo y que la misma responde a una cinemática dextral.

El análisis y la comparación entre los datos obtenidos en la tercera y cuarta medición, permitió verificar que las variaciones angulares son, en algunos casos, de al menos el doble que los registros anteriores y que el acortamiento de la diagonal L2-6 alcanza los 37 mm. Estas variaciones permiten interpretar un cambio, temporal, en el sentido de movimiento, don-

de el mayor desplazamiento corresponde a la componente de rumbo, pasando de una tendencia dextral a otra sinistral.

Se analizó si esta variación importante en la longitud de la diagonal L2-6 y en los ángulos considerados podría estar vinculada con fenómenos naturales como *creep* de la falla, a la evolución de la escarpa, a la actividad sísmica local o a un evento natural único o excepcional como un fuerte terremoto.

Si se considera que la sección de la falla en estudio podría estar en una etapa, intersísmica, de acumulación de energía de deformación elástica, se podría suponer que las variaciones angulares y los valores de desplazamiento, tan bajos obtenidos y que indican un movimiento lento, podrían corresponder al *creep* de la falla o deslizamiento asísmico. Sin embargo, no se puede suponer lo mismo con las variaciones angulares mayores 1' y con el valor de desplazamiento de 37 mm, detectados en la cuarta medición. Este último valor, significativo, excede la tasa de movimiento prehistórica definida para la falla. Por lo tanto, se descarta que esta deformación este vinculada a una acumulación de energía elástica intersísmica.

Se analizó la posibilidad de que el evento natural que generó las variaciones significativas en los movimientos, fuese un deslizamiento debido a la evolución de la pendiente de la escarpa. Dado que no se observó generación de rasgos morfológicos diagnósticos (cicatrices de despegue, etc.), que las modificaciones de la distancia original entre las estaciones que forman los triángulos de control se mantiene dentro de las tolerancias aceptadas y que la verticalidad de las mismas no se ha modificado, se descartó también esta posibilidad.

Por otra parte, se analizó también la incidencia que podría haber tenido la sismicidad local, en las variaciones observadas, ocurrida durante el último período de medición. La misma fue de carácter leve y casi la totalidad de los sismos seguramente están asociados a otras fallas de la región. Si bien es difícil establecer el grado de incidencia que pueden haber teni-

do estos sismos en el movimiento de la falla, de acuerdo a su distribución epicentral es válido suponer que debe haber sido inapreciable, como así también se considera que la energía que pudo liberar esta actividad microsísmica es insuficiente para generar el desplazamiento medido y más aún, modificar temporalmente el sentido del mismo.

Se analizó también la incidencia que podría haber tenido, en las variaciones relevadas, la ocurrencia de un evento natural único como un fuerte terremoto de fuente lejana. Es oportuno comentar que en el último período de medición tuvo ocurrencia, en el mes de febrero de 2010, un fuerte terremoto que alcanzó la M 8,8 en Chile. Algunos argumentos que se han tenido en cuenta para fundamentar este análisis son: a) Si se alinea la zona epicentral de este terremoto con la zona de emplazamiento de la red geodésica, se define un rumbo aproximado de 060°-065° N que es casi paralelo al rumbo de la falla en estudio. b) Que la energía que liberó este megaevento fue extremadamente alta y que la intensidad y oscilaciones asociadas, con que se percibió el movimiento en la región de Sampacho y Río Cuarto, fue significativa. c) Los acortamientos que fueron medidos y reportados después del terremoto, tanto al Oeste como al Este de Argentina. Estos argumentos se consideran razones suficientes que permiten que sea más factible aseverar que la magnitud del desplazamiento fue debido a este megaevento.

Se concluye entonces que las variaciones en los valores angulares mayor a 1' y en el desplazamiento de al menos 37 mm y la modificación temporal en el sentido del movimiento de rumbo en la falla Las Lagunas, tienen una relación directa con un evento natural único como podría ser el fuerte terremoto de Concepción, Chile, de M 8,8.

Si se considera que la estructura tiene un ciclo sísmico propio, surge la pregunta de cuánto puede haber modificado, a su ciclo natural, el empuje adicional inducido por este evento único?

Finalmente se considera apropiado con-

tar a futuro con al menos dos estaciones, una en cada triángulo de control, georreferenciadas con GPS para obtener valores de coordenadas absolutos que permitan realizar otro tipo de análisis de los movimientos entre los bloques de la falla, como así también vincular a esta red local con alguna red geodésica regional.

AGRADECIMIENTOS

A los árbitros Dr. Carlos Gardini, Ing. Jorge Sisterna y al editor temático Dr. Carlos Costa por su predisposición, lectura crítica del manuscrito y sugerencias que han permitido mejorar significativamente este trabajo.

A la Esp. Mónica Villegas y al Dr. Osvaldo Campanella por su invalorable lectura crítica del manuscrito, opiniones vertidas y sugerencias que han permitido mejorar y enriquecer el mismo.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Aguilera, D., Jiménez, M., Sagripanti, G.L., Daga, R.B., Grosso, M.V. y Villalba, D. 2002. Métodos gravimétricos aplicados en el estudio de la falla Las Lagunas, Sampacho, Córdoba, Argentina. 4º Congreso de Geofísica de la Sociedad Cubana de Geología, Actas CD: 36-41, La Habana.
- Bolt, B.A. 1995. Earthquakes. W. H. Freeman and Co, 331 p., New York.
- Castano, J.C. 1977. Zonificación sísmica de la República Argentina. Instituto Nacional de Prevención Sísmica. Publicación Técnica 5, 42 p., San Juan.
- Costa, C.H. 2004. ¿Microtectónica en el Cuaternario?: Métodos y aplicaciones de la paleosismología. Asociación Geológica Argentina, Serie D, Publicación Especial 7: 9-19, Buenos Aires.
- Costa, C.H. y Vita Finzi, C. 1996. Late Holocene faulting in the Southeast Sierras Pampeanas of Argentina. *Geology* 24: 1127-1130.
- De Polo, C.M. y Slemmons, D.B. 1990. Estimation of earthquake size for seismic hazards. *Geological Society of America* 3: 1-22.
- Keller, E.A. y Pinter, N. 1996. Active tectonics, earthquake, uplift and landscape. Prentice-Hall, 337 p., New Jersey.
- Mc Calpin, J.P. 1996. Paleoseismology. Academic Press, 587 p., California.
- Mingorance, F.A. 1987. Operativo sísmológico móvil con motivo del sismo ocurrido el 24 de Marzo de 1987 en Sampacho, Córdoba. Instituto Nacional de Prevención Sísmica, Publicación Técnica, 14 p., San Juan.
- Mingorance, F.A. 1991. Análisis y evaluación del tectonismo reciente asociado a la falla Sampacho, provincia de Córdoba, Argentina Central. Instituto Panamericano de Geofísica e Historia 35: 13-39, Ciudad de México.
- Olsacher, J. 1935. El terremoto de Sampacho, Provincia de Córdoba. *Revista del Museo de Ciencias Naturales* 1: 1-19.
- Pantosti D. 1997. Modern Approaches in Paleoseismology. En Giardini, D. y Balassanian, S. (eds.) Historical and prehistorical earthquakes in the Caucasus, NATO-ASI series, Kluwer Academic Publications, 147-167, Dordrecht.
- Pantosti, D. y Yeats, R.S. 1993. Paleoseismology of great earthquakes of the late Holocene. *Annali di Geofísica* 36: 237-257.
- Philip, H. y Meghraoui, M. 1983. Structural analysis and interpretation of the surface deformations of the El Asnam earthquake of October 10, 1980. *Tectonics* 2(1): 17-49.
- Ramos, V.A. 1999. Rasgos estructurales del territorio argentino. En Caminos, R. (ed.) *Geología Argentina*, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales 29: 715-784, Buenos Aires.
- Reiter, L. 1988. Earthquake hazard analysis. Columbia University, 241 p., Columbia.
- Sagripanti, G.L. 2006. Neotectónica y peligro sísmico de la región de Sampacho, departamento Río Cuarto. Provincia de Córdoba. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Río Cuarto (inédita), 300 p., Río Cuarto.
- Sagripanti, G.L. y Villalba, D. 2006. Estructuras deformacionales en sedimentos no consolidados asociadas a terremotos prehistóricos. Falla Las Lagunas, Sampacho. Córdoba. 3º Congreso Nacional de Cuaternario y Geomorfología, Actas 1: 377-386, Córdoba.
- Sagripanti, G.L. y Villalba, D. 2009. Paleosismicidad y estimación del intervalo de recurrencia de fuertes terremotos asociados a fallas de intraplaca a la latitud de 33° S: Falla Las Lagunas, Sampacho, Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 65(3): 417-428.
- Sagripanti, G.L., Origlia, H.D. y Campanella, R.O. 1998a. Historic and present seismology of the Sampacho area, Córdoba province, Argentina. *Environmental & Engineering Geoscience* 4(2): 270-275.
- Sagripanti, G.L., Origlia, H.D. y Campanella R.O. 1998b. Sismicidad de una región de intraplaca, departamento de Río Cuarto, Provincia de Córdoba. Argentina. Conferencia Internacional "Sistemas modernos de preparación y respuesta ante riesgos sísmicos, volcánicos y tsunamis", Actas 1: 281-293, Santiago.
- Sagripanti, G.L., Costa, C.H., Origlia, H.D. y Schiavo, H.F. 2001. Avances en la caracterización del peligro sísmico en el departamento Río Cuarto, Córdoba. Argentina. 4º Congreso de Geología y Minería de la sociedad Cubana de Geología, Actas CD: 77-88, La Habana.
- Sagripanti, G.L., Villalba, D., Grosso, M.V. y Daga, R.B. 2003. Análisis morfológico de escarpas, aplicado a la reconstrucción de la sismicidad prehistórica de la falla Las Lagunas, Sampacho, Córdoba. 2º Congreso Nacional de Cuaternario y Geomorfología, Actas 1: 369-377, Tucumán.
- Sagripanti, G.L., Schiavo, H.F., Costa, C.H., Villalba, D., Daga R.B. y Rodríguez, M.C. 2005. Paleoterremoto en el sector sudeste de las Sierras Pampeanas Orientales, revelado por deformaciones de depósitos lagunares Holocenos. 16º Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 457-462, La Plata.
- Sagripanti, G.L., Villalba, D., Bettioli, A. y Seitz, C. 2009. Sismicidad y paleosismicidad en la región sur de la provincia de Córdoba. Análisis del peligro y riesgo sísmico asociado. *Revista de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería y Ambiente* 23: 45-53.
- Seitz, C. 2009. Relevamiento neotectónico de nuevas secciones de la falla Las Lagunas, sur de Córdoba. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Río Cuarto (inédita), 102 p., Río Cuarto.
- Wallace, R.E. 1977. Profiles and ages of young fault scarps, north-central Nevada. *Geological Society of America Bulletin* 88: 1267-1281.
- Yeats, R., Sieh, K. y Allen, C. 1997. The geology of earthquakes. Oxford university, 568 p., Oxford.

Recibido: 19 de julio, 2010.

Aceptado: 28 de abril, 2011.