

Actividad cuaternaria asociada a la falla Las Rosas, Sierras Pampeanas de Córdoba

Guillermo SAGRIPANTI¹, Diego VILLALBA¹, Gimena CASTALDI^{1,2}, Mario GIMENEZ^{2,3}, David AGUILERA⁴ y Aldo GIACCARDI⁴

¹Departamento de Geología. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto.

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

³Instituto Geofísico Sismológico Volponi (IGSV), San Juan.

⁴Departamento de Geología, Universidad Nacional de San Luis, San Luis.

E-mail:gsagripanti@exa.unrc.edu.ar

Editor: Fernando Hongn

RESUMEN

Las deformaciones que corresponden a la posición del frente de fallamiento cuaternario, en las Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis, asociadas a fallas de movimiento inverso que inclinan al este, se reconocen en escarpas ubicadas en el ambiente pedemontano y en menor proporción en la llanura circundante. Al este de las estribaciones australes de la sierra de Comechingones, entre los 33°-33°25'S y 64°20'-65°O, se encuentra una zona de fallas con actividad cuaternaria comprobada y posible, como las denominadas Las Lagunas, Las Rosas y Santa Catalina. El objetivo de esta contribución es presentar las primeras evidencias neotectónicas, morfohidrológicas y geofísicas asociadas a la falla Las Rosas para confirmar su actividad cuaternaria, su caracterización estructural y la ubicación más precisa de la traza. La metodología aplicada consistió en relevamientos y análisis neotectónico, paleosismológico, estructural, geomorfológico, hidrogeológico y geofísico. Las deformaciones dúctiles y frágiles reconocidas en sedimentos pleistocenos y holocenos, junto a las características morfohidrológicas de los arroyos del sector de estudio, entre otras, han permitido interpretar para la falla Las Rosas un movimiento inverso, buzamiento al sudeste y actividad cuaternaria asociada en al menos dos de sus secciones. Además, se han definido para esta falla cuatro secciones, denominadas Boca del Tigre, Las Vertientes, La Lagunilla y La Antonia, que suman una longitud total de aproximadamente 51 km y poseen un azimut de 040°-045°.

Palabras clave: *Trincheras, deformaciones cuaternarias, prospección geofísica.*

ABSTRACT

Quaternary activity associated with the Las Rosas fault, Sierras Pampeanas of Córdoba.

The deformations that correspond to the position of the Quaternary fault front, associated with reverse movement faults dipping to the East in the Sierras Pampeanas of Córdoba and San Luis, are recognized as escarpments located in the piedmont environment and to a lesser extent in the surrounding plain. Eastward of the southern foothills of the Comechingones mountain range, between 33°-33°25'S and 64°20'-65°W, there is a zone of faults with proven and possible quaternary activity, such as Las Lagunas, Las Rosas, and Santa Catalina. The aim of this contribution is to present the first neotectonic, morpho-hydrological, and geophysical evidence associated with the Las Rosas fault to confirm its Quaternary tectonic activity, its structural characterization, and a more accurate location of the trace. The applied methodology consisted of neotectonic, paleoseismological, structural, geomorphological, hydrogeological and geophysical surveys and analyses. The ductile and brittle structures recognized in sediments of Pleistocene and Holocene age, along with the morpho-hydrological characteristics of the streams in the study area, among other evidences, have allowed to interpret a reverse displacement for the Las Rosas fault with dip to the Southeast and associated Quaternary activity in at least two of its sections. In addition, we defined four sections named Boca del Tigre, Las Vertientes, La Lagunilla, and La Antonia for this fault, with a total length of approximately 51 km and a strike of 040°-045°.

Keywords: *Trenches, quaternary deformations, geophysical prospecting.*

INTRODUCCIÓN

Los resultados de investigaciones realizadas por varios autores (Pilger 1981, Jordan *et al.* 1983, Jordan y Allmendinger 1986, Smalley *et al.* 1993, Costa y Vita Finzi 1996, Ramos 1999, Ramos *et al.* 2002) entre otros, han permitido considerar que, el levantamiento y exhumación del basamento de las Sierras Pampeanas entre los 27°30' y 33°30' S desde el Mio-Plioceno están condicionados por la subducción subhorizontal de la placa de Nazca. Además, entre estas latitudes tanto la ausencia de actividad volcánica como la distribución de la actividad sísmica se consideran características controladas por la placa subductada (Costa y Vita Finzi 1996). La sismicidad es importante sobre zonas de subducción subhorizontal en una amplia región del antepaís, presentando una distribución bimodal, distinguiéndose la actividad sísmica de interplaca con focos localizados entre 90 y 120 km de profundidad y la cortical con focos distribuidos en los 25 km más superficiales de la corteza (Smalley *et al.* 1993, Alvarado *et al.* 2005, Richardson *et al.* 2012). Las Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis se caracterizan principalmente por la manifestación de las deformaciones neotectónicas más orientales del segmento de subducción subhorizontal Pampeano, las cuales están principalmente asociadas al levantamiento neógeno de las sierras de Córdoba y vinculadas a fallas de movimiento inverso, que inclinan al este. Las deformaciones que corresponden a la posición del frente de fallamiento cuaternario normalmente se ubican en el ambiente pedemontano y en general no presentan morfologías diagnósticas asociadas, en algunos casos existen escarpas de falla pedemontanas evidentes, y son interpretadas como corrimientos donde el bloque de basamento cristalino paleozoico sobrecorre sedimentos cuaternarios (Costa *et al.* 2000, 2014). La mayoría de las deformaciones relevadas se concentra en las escarpas próximas al frente occidental de las sierras de Córdoba y en menor proporción en sectores ubicados en la llanura circundante de las mismas (Sagripanti *et al.* 2009, 2012).

Sin embargo, en el ámbito pedemontano circundante al frente de levantamiento se-

rano se han reconocido deformaciones en sedimentos cuaternarios como pliegues en sedimentos lagunares, planos de falla desarrollados en materiales loessoides y otras generadas por el fenómeno de licuación como diques clásticos, cráteres y volcanes de arena asociadas a estructuras como las fallas Las Lagunas y Las Peñas (Sagripanti *et al.* 2012, 2014). La región pedemontana al este de las estribaciones australes de la sierra de Comechingones (Fig. 1) presenta características estructurales similares a las definidas para las Sierras Pampeanas de Córdoba, fallas inversas que inclinan al E-SE generando una morfología escalonada que disminuye de altura en esa dirección (Sagripanti *et al.* 2011). En este sector se

encuentran estructuras con actividad cuaternaria comprobada como la falla Las Lagunas, y con posible actividad, las fallas denominadas Santa Catalina y Las Rosas. Con relación a esta última falla, la misma posee escasos antecedentes sobre sus características estructurales y que confirmen su actividad durante el Cuaternario. Las características de las deformaciones asociadas a fallas con actividad cuaternaria presentes en el ámbito pedemontano y llanura, sector que ha estado sometido a un régimen compresivo neógeno-cuaternario, hace suponer que en este ámbito deben encontrarse otras fallas que han tenido actividad durante este período y que no han sido reportadas hasta el presente. El objetivo de la presente contribución es

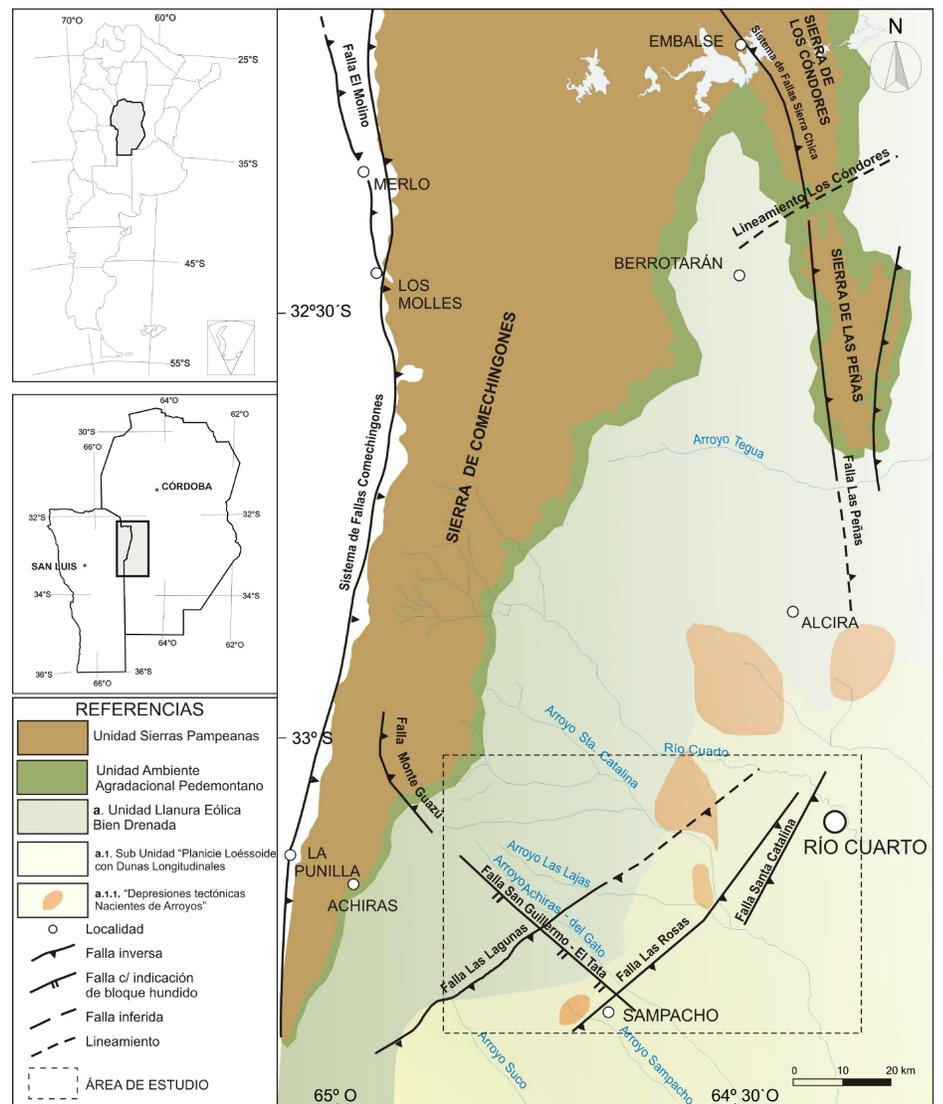


Figura 1. Mapa con las unidades geomorfológicas y las principales estructuras de la región SO de la provincia de Córdoba.

presentar las primeras evidencias neotectónicas, morfohidrológicas y geofísicas asociadas a la falla Las Rosas para confirmar su actividad cuaternaria, su caracterización estructural y la ubicación más precisa de la traza.

La zona de estudio se sitúa en el sudoeste de la provincia de Córdoba, en el departamento Río Cuarto, próxima, al noroeste de la ciudad homónima y de la localidad de Sampacho (Fig. 1).

MARCO NEOTECTÓNICO Y SISMICIDAD

Los estudios neotectónicos realizados en las Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis son numerosos, aunque principalmente están concentrados en los frentes occidentales de los sistemas de fallas Sierra Chica y Comechingones, cuyos resultados constan en los reportes de Schlagintweit (1954), Massabie (1976, 1996), Kraemer *et al.* (1988), Wagner-Manslau (1988), Massabie y Szlafsztein (1991), Szlafsztein (1991), Costa y Vita Finzi (1996), Murillo (1996), Costa *et al.* (2000, 2001, 2014), Massabie *et al.* (2006), Sagripanti *et al.* (2011, 2012, 2014) y Castaldi (2013), entre otros. Estos sectores se caracterizan por encontrarse intensamente fracturados y controlados por dos estructuras regionales que limitan el borde occidental de la sierra de Comechingones y de la Sierra Chica. Las evidencias de deformaciones cuaternarias son de escasa extensión superficial y expresan el estilo de la tectónica andina regional, que consiste en fallas inversas lítricas generalmente buzantes al este, ubicadas marginalmente a bloques levantados y basculados del basamento cristalino. El bloque elevado, paleozoico, cabalga o sobrecorre a depósitos sedimentarios de edad cenozoica (Massabie y Szlafsztein 1991, Costa, 1999, Massabie *et al.* 1999, 2006, Costa *et al.* 2001, 2014).

Por otra parte, reportes de estudios neotectónicos realizados por Sagripanti (2006), Sagripanti y Villalba (2009, 2011), Seitz (2009), Sagripanti *et al.* (2009, 2011, 2012, 2014) y Villalba y Sagripanti (2014) entre otros, en el piedemonte y llanura circundante a estos levantamientos serranos indican la presencia de evidencias

de deformaciones neógeno-cuaternarias asociadas principalmente a dos fallas denominadas Las Lagunas y Las Peñas (Fig. 1).

En estudios neotectónicos y paleosismológicos realizados en el piedemonte circundante al sector más austral de la falla de la Sierra Chica donde se ubica la falla Las Peñas, de movimiento inverso y una orientación azimutal de 330° e inclinación de 35°E, se han relevado deformaciones de escala mesoscópica en sedimentos cuaternarios. Estas estructuras de deformación frágil corresponden a fracturas y fallas, y las dúctiles a pliegues anticlinales y sinclinales que poseen vergencia al O con la orientación de sus ejes paralela al rumbo determinado para la zona de falla. Estas deformaciones corresponderían a una reactivación de la falla durante el Holoceno (Sagripanti *et al.* 2012).

La falla Las Lagunas posee movimiento inverso con componente de rumbo dextral, y una orientación azimutal 037°-055° y plano buzante al SE, la longitud de su traza es de más de 30 km y hacia el NE podría superar los 60 km (Seitz 2009, Sagripanti *et al.* 2011). Se ubica entre el borde suroriental de las sierras de Comechingones y la localidad de Sampacho. Es considerada una de las estructuras más importantes del sur de Córdoba por su sismicidad asociada, prehistórica e histórica, ya que es la responsable del "Gran Terremoto de Sampacho" del año 1934. La morfología superficial de esta falla se expresa como una escarpa compuesta o múltiple evento y pequeñas escarpas, formadas en sedimentos loésicos. Una característica es que estas morfologías se preservan a pesar de la erosión y de la intervención antrópica por lo tanto, se considera que esta falla ejerce un control activo sobre la morfología superficial (Costa *et al.* 2001, Sagripanti *et al.* 2011, 2014).

Además, esta estructura presenta deformaciones afectando a los sedimentos cuaternarios loessoides y lagunares. Algunos parámetros sismogénicos determinados para la misma son el desplazamiento cosísmico por evento de 0,30 m, la longitud de ruptura unitaria estimada para el Holoceno de aproximadamente 34 km, la tasa de movimiento de 0,25 mm/año, el período de recurrencia entre 0,92-1,2 ka

y la paleomagnitud M 6,9-7,0 (Sagripanti 2006, Seitz 2009, Sagripanti y Villalba 2009, 2011, Sagripanti *et al.* 2009, 2011, 2012, 2014, Villalba y Sagripanti 2014).

Son escasos los antecedentes neotectónicos de la falla Las Rosas, ubicada a unos 10 km al sudeste de la falla Las Lagunas y con rumbo aproximadamente paralelo a esta última. Sólo se ha reportado hasta el presente que esta estructura tiene su bloque hundido ubicado al noroeste. La misma posee un desnivel topográfico de escasa altura, suavizado por la erosión debido a que los materiales presentes son sedimentos no consolidados. Asociados a este desnivel la red de drenaje presenta modificaciones y se supone que esta estructura tiene incidencia en el escurrimiento subterráneo ya que las lagunas temporarias y humedales alineados del sector, que conforman las nacientes del arroyo Sampacho, reciben el mayor aporte por aguas subterráneas. El reporte de un posible desplazamiento vertical de un nivel entoscado que correspondería a la Formación Pampiano (Pleistoceno medio a superior), ha permitido suponer a esta estructura con actividad cuaternaria (Sagripanti 2006, Villalba 2011).

La región de la provincia de Córdoba correspondiente al Departamento Río Cuarto posee antecedentes de sismicidad prehistórica, histórica e instrumental, cuya distribución se concentra principalmente en un área definida entre las localidades de Achiras, Sampacho y la ciudad de Río Cuarto. Resultados de estudios paleosismológicos realizados en este sector indican que, en los últimos 4.000 años, han ocurrido al menos cuatro paleoterremotos asociados a la falla Las Lagunas que habrían alcanzado la M = 7,0 (Sagripanti y Villalba 2011, Sagripanti *et al.* 2009, 2011). El registro sísmico histórico más importante, con epicentro en este sector de la intraplaca de Argentina, corresponde al Gran Terremoto de Sampacho (1934) considerado uno de los más fuertes ocurridos dentro de la Zona de Peligrosidad Reducida de Argentina (Sagripanti *et al.* 2011). La magnitud del sismo inicial fue M = 5,5 y del principal M = 6,0 y la intensidad determinada de VIII-IX grados en la escala Mercalli Modificada e hipocentro a 30 km de profundidad. Este evento se asigna a la falla Las Lagunas (Sagripanti 2006, Sagripanti *et al.* 2011).

La sismicidad cortical entre moderada y leve con epicentro en este sector es frecuente. Si bien la mayoría de los sismos registrados son de magnitud (Richter) $M \leq 3,0$, al menos seis han sido mayores a $M = 4,0$, como por ejemplo el ocurrido próximo a San José el día 29/01/1975, que alcanzó la $M = 4,1$ con hipocentro a 33 km de profundidad. Esta actividad ha sido catalogada a partir de parámetros macrosísmicos y registros instrumentales, siendo la referencia más antigua la de un sismo ocurrido en el año 1826 en la zona de Río Cuarto (Sagripanti 2006, Sagripanti y Villalba 2011, Sagripanti *et al.* 2011). Los registros instrumentales más recientes de sismos con epicentro en este sector, de $M \leq 3,0$, son: al sudeste de la localidad de Sampacho el día 02/01/2016 (hipocentro a 6,5 km), en la zona rural de la localidad de Santa Catalina el día 27/02/2011 cuya profundidad hipocentral fue de 20 km, en el entorno de la ciudad de Río Cuarto los días 12/08/2012 y 23/11/2015 con profundidad hipocentral de 35 y 15 km respectivamente y en la zona rural ubicada al sudeste de esta ciudad, el día 19/03/2016 con una profundidad hipocentral de 10 km (Fig. 2).

METODOLOGÍA

La metodología seguida es la aplicada en investigaciones neotectónicas, desarrollando distintas etapas: gabinete, campo y laboratorio. En éstas, se realizó el inventario, análisis y selección de antecedentes neotectónicos, paleosismológicos y morfológicos, de datos geofísicos de sondeos eléctricos verticales (SEV) y de perforaciones para extracción de agua, entre otras. Se han empleado técnicas de interpretación de fotos aéreas verticales (escala 1:60.000) y de lectura y análisis de cartas topográficas a escala 1:50.000 (Suco 3366-30-1, Las Vertientes 3366-24-4, Sampacho 3366-30-2 y Río Cuarto 3363-19-1) para determinar la pendiente de los arroyos. Se aplicaron metodologías neotectónicas (toma de fotos aéreas oblicuas a baja altura y con bajo ángulo de incidencia solar, entre otras), paleosismológicas (excavación y relevamiento de perfiles de trincheras), estructurales, geomorfológicas e hidrogeológicas.

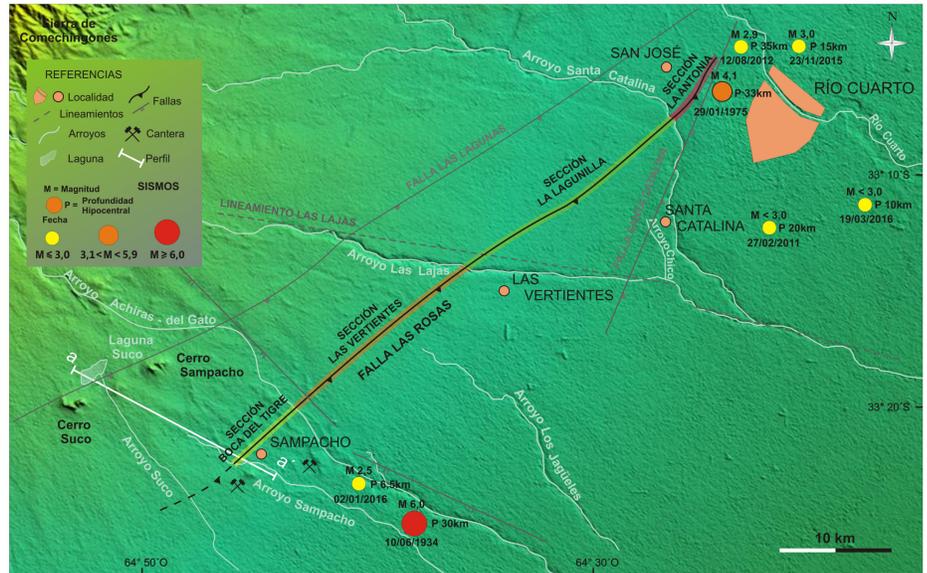


Figura 2. Mapa de ubicación de las secciones de la falla Las Rosas. Se indica la ubicación del perfil a-a' (perfil estructural esquemático de la figura 17) y los sismos con epicentro en el sector.

Se realizaron prospecciones geofísicas con georradar y gravimétrica. Para detectar deformaciones en el subsuelo y testear la potencialidad de la tecnología georradar en estudios neotectónicos sobre sedimentos cuaternarios se utilizó un equipo (MALÀ GX Geoscience) con una antena blindada de 160 Mhz, HDR (*High Dynamic Range*). Los radargramas resultantes fueron sometidos a un post procesamiento utilizando cuatro filtros (*DC, Delete Main Trace, Time Gain* y *FIR*) obteniéndose las imágenes definitivas para analizar. La prospección gravimétrica se realizó para precisar la topografía del techo del basamento en el subsuelo y la ubicación de la estructura en estudio, con un gravímetro Scintrex CG-3 de 0,05 mGal de precisión. La lectura de gravedad fue obtenida con una equidistancia promedio de 450 m y referida al valor absoluto de gravedad terrestre correspondiente a la estación Miguelete, ubicada en la provincia de Buenos Aires.

A los fines de facilitar el análisis de la información y las interpretaciones se ha dividido, desde el punto de vista descriptivo, a la traza de la estructura en varias "secciones de falla" delimitadas siguiendo algunos de los criterios propuestos por McCalpin (1996) y adecuados para esta investigación. Entre éstos se pueden citar los límites definidos por otras fallas o estructuras, presencia de diferentes ro-

cas y sedimentos sueltos, morfología de la escarpa, modificaciones en el escurrimiento superficial y subterráneo, anomalías geofísicas, cambios en la orientación de la falla, sismicidad y reconocimiento de eventos sísmicos prehistóricos.

MARCO ESTRATIGRÁFICO Y GEOMORFOLÓGICO

Las unidades estratigráficas aflorantes y características geomorfológicas generales del sector donde se ubica la traza de la falla Las Rosas se describen a continuación.

Basamento pre-cuaternario

Sedimentitas formadas por areniscas cuarcíticas de grano fino a muy fino, compactas, con estratificación no muy marcada. De color pardo claro en los niveles superiores a pardo rojizo en los inferiores. Su expresión más importante es en el cerro Suco y también aflora en las canteras de Sampacho. La edad asignada es pérmica (Sosic 1964). Se designa como Unidad A en el presente trabajo.

Formación Pampiano

Se reconoce en una amplia superficie, principalmente en el lecho de la mayoría de ríos y arroyos de la región, y existen afloramientos en caminos y altos topográficos sujetos a erosión hídrica y eólica.

Está compuesta por sedimentos finos con distintos grados de cementación asociados a facies fluviales limosas y limo arenosas finas, pardo rojizos con nódulos de cementación con hierro hasta conglomerados cementados por carbonatos, y facies eólicas conformadas por limos pardo rojizos a pardo amarillentos (Cantú 1992, Degiovanni 2008).

Se asigna esta formación al Pleistoceno Medio a Superior (Cantú 1992) y posteriormente, mediante una datación por Luminiscencia Ópticamente Estimulada (OSL) se obtuvo una edad de 106 ka (Cantú *et al.* 2006). Se designa a esta Formación como Unidad B en el presente trabajo.

Formación Chocancharava

Corresponden a esta formación distintas facies de un importante ciclo fluvial que se encuentra en el río Cuarto (Chocancharava) y principales arroyos de la provincia de Córdoba, como el Santa Catalina.

En el arroyo Santa Catalina se han reconocido sólo facies de aguas tranquilas conformadas por sedimentos limo-arenosos de color verde oliva con rizoconcreciones limolíticas verticales que pasan a un sedimento de color pardo grisáceo con alto contenido de gastrópodos. En el último nivel hay intercalado un banco de color blanco de unos 0,30 m de espesor formado por frutúsculos de diatomeas, conformando una asociación de laguna de agua dulce que pasa a un pantano de agua salobre de color oscuro conteniendo ostrácodos. Se asigna al Pleistoceno Superior (Cantú 1992). Se designa a esta Formación como Unidad C en el presente trabajo.

Formación La Invernada

Es un manto de loess que cubre grandes superficies en la llanura e incluso en las pampas de altura de las sierras de Córdoba. Está conformada por limos retransportados con gravillas y estructuras de flujo que indica que el loess serrano fue removido por procesos aluviales y gravitatorios. Cantú (1992) la asignó al Pleistoceno Superior alto a Holoceno bajo y determinaciones posteriores realizadas con el método OSL dieron como resultado 63,1 ka para la base de la formación y 12,8 ka para el techo (Cantú *et al.* 2006). Se designa a esta Formación como Unidad D en el presente trabajo.

Suelo Las Tapias

Está desarrollado sobre los sedimentos eólicos de la Formación La Invernada, tiene una distribución geográfica amplia, ya que no solo está presente en la llanura sino que también está en las pampas de altura de las Sierras Pampeanas.

La edad estimada para el desarrollo de este suelo sería para su base entre 12,8 y 9,0 ka y para el techo se establece que puede coincidir, para esta región, con el final del *Optimum Climaticum*, entre 5,2 y 4,0 ka (Cantú 1992). Se designa como Unidad E en el presente trabajo.

Formación Arroyo Las Lajas

Está conformada por sedimentos clásticos, gravas a arenas y limos arcillosos, en función del aumento de distancia a las sierras. Su origen es coluvial, fluvial y fluvio-lagunar. Se asigna al Holoceno inferior-medio (Cantú 1992). Se designa a esta Formación como Unidad F en el presente trabajo.

Formación Laguna Oscura

Esta formación es de amplia distribución en la región sur de la provincia de Córdoba. Está formada por sedimentos eólicos, arenosos muy finos y limosos. El techo o sección superior aflorante puede reconocerse edafizado o como depósitos medianosos (Cantú 1992, Degiovanni 2008). Cantú (1992) la asignó al Holoceno superior-actualidad y de acuerdo con determinaciones por OSL la edad es entre 3,7 ka y 4,2 ka (Cantú *et al.* 2006). Se designa a esta Formación como Unidad G en el presente trabajo.

Geomorfología

Desde el punto de vista geomorfológico el sector analizado se ubica de acuerdo con Degiovanni (2008), en las unidades definidas como Llanura Eólica Bien Drenada y la sub-unidad Planicie Loessoide con Dunas Longitudinales, que presenta en algunos sectores depresiones tectónicas menores (Fig. 1).

La unidad Llanura Eólica Bien Drenada comprende ambientes con fuerte ondulación en sectores próximos al piedemonte serrano y planos hacia el este, presenta buen drenaje, importante zona de aireación y escurrimientos superficiales bien marcados a excepción de algunas áreas

deprimidas localizadas. Las llanuras loesoides, con depósitos que corresponden a la Formación Laguna Oscura, son las que predominan (Degiovanni 2008).

La sub-unidad Planicie Loessoide con Dunas Longitudinales presenta un relieve con fuerte ondulación bordeando la faja periserrana que posee gradientes de pendientes entre 3 y 7 %. Hacia el Este y Sudeste gradualmente pasa a planicies suaves donde el gradiente es inferior a 1 %. La Formación Laguna Oscura aflora en todo este sector, a excepción de los bajos fluviales. Dentro de ésta se reconocen una serie de depresiones tectónicas de variada extensión superficial que forman áreas planas y anegadizas con el nivel freático próximo a la superficie o aflorando, constituyendo en algunos casos nacientes de arroyos como Chico, Sampacho, Suco, entre otros. Estos relieves deprimidos están asociados o resultan de la actividad neotectónica en esta región (Degiovanni 2008). Estas depresiones hidrohalomórficas, donde en los sectores más bajos aflora el nivel freático, en épocas de sequía, con descenso del mismo se convierten en playas donde se generan costras salinas, siendo esta superficie deflacionada en períodos secos y ventosos, al final del invierno y primavera (Blarasin *et al.* 2007).

CARACTERIZACIÓN NEOTECTÓNICA DE LA FALLA LAS ROSAS

Desde el punto de vista descriptivo se han definido cuatro secciones que conforman la falla Las Rosas, las mismas son denominadas de sudoeste a noreste, Boca del Tigre, Las Vertientes, La Lagunilla y La Antonia (Fig. 2).

Sección Boca del Tigre

La orientación azimutal de esta sección es de 040°-045°, su longitud aproximada es de 8 km y posee el bloque hundido al noroeste. Los límites que definen a esta sección son el arroyo Sampacho al sudoeste y el arroyo del Gato con la falla San Guillermo-El Tata, al noreste. En el bloque elevado de la misma se emplaza la localidad de Sampacho (Fig. 3).

La falla San Guillermo-El Tata posee un azimut de 120° y una longitud que supe-

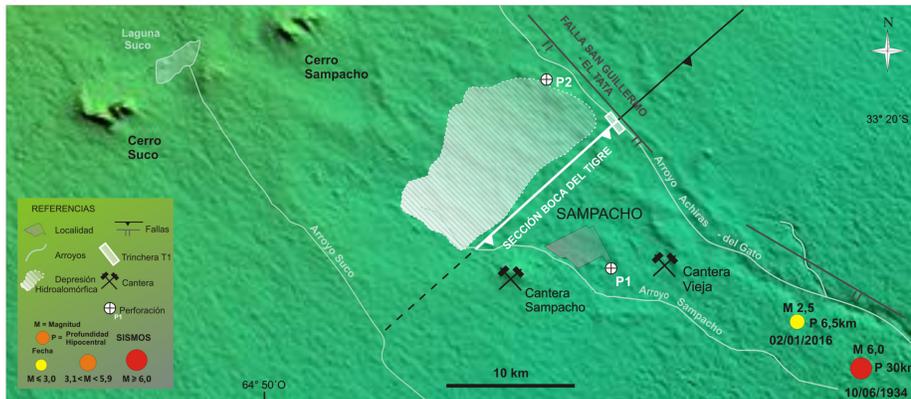


Figura 3. Sección Boca del Tigre, próxima a la localidad de Sampacho.

ra los 14 km, ejerce un importante control sobre el arroyo del Gato aguas abajo de la falla Las Lagunas, reconociéndose asociadas anomalías tanto en la red de drenaje permanente como en la no permanente. De acuerdo con la correspondencia que guardan algunos atributos y ubicación espacial de esta estructura con la falla Monte Guazú, presente en el sector austral de la sierra de Comechingones, se infiere que la misma podría ser la continuación de esta última falla en la llanura (Sagripanti 2006).

La sección Boca del Tigre presenta un rasgo morfológico correspondiente a una escarpa de escasa altura, suavizada por la erosión debido a que los materiales presentes son sedimentos no consolidados, a excepción del sector en el bloque elevado donde afloran las areniscas ortocuarcitas pérmicas correspondiente a la cantera Sampacho que genera una morfología de lomas de baja altura.

Asociados a este desnivel tectónico se identifican en el bloque hundido una serie de lagunas permanentes y humedales alineados. Estas depresiones hidrohalomórficas, donde en los sectores más bajos aflora el nivel freático, dan origen a las nacientes del arroyo Sampacho (Fig. 3).

El arroyo Sampacho, de régimen permanente, drena sobre sedimentos cuaternarios, incidiendo en algunos tramos sobre materiales cementados con carbonatos generando numerosos saltos, frentes activos de erosión retrocedente, característicos en los arroyos de este sector. Posee una pendiente de 0,45 % y una dirección de escurrimiento de 130° que después de cambiar varias veces y aumentar su sinuosidad, hasta atravesar el sector donde

se supone la presencia de la falla, se hace más rectilíneo y escurre en dirección 086° con una pendiente de 0,71 %. Además, se manifiesta una modificación en el ancho del valle, aguas arriba de la posible ubicación de la falla tiene en promedio alrededor de 40 m y aguas abajo de 30 m.

La morfohidrología del arroyo del Gato, de régimen permanente, según su diseño en planta en el tramo donde se supone atraviesa la traza de la falla Las Rosas, presenta un canal único en la mayor parte su recorrido y define un diseño rectilíneo a sinuoso. En este tramo responde parcialmente a conducciones antrópicas del siglo pasado y resultan de un rejuvenecimiento diferencial controlado por la litología. Este tramo se clasifica como recto en incisión y posee numerosos frentes activos de erosión retrocedente (Degiovanni 2008).

A escala de mayor detalle del sector donde se ubicaría la traza de la falla Las Rosas (Fig. 3), se puede constatar que el diseño del arroyo aguas arriba del sitio es ligeramente sinuoso, de lecho aluvional y el ancho del valle es de aproximadamente 50 m, mientras que aguas abajo posee un valle más angosto de 30 m de ancho, el canal es recto y erosivo, incidiendo en un material más cohesivo y cementado correspondiente a la Formación Pampiano. La dirección de escurrimiento general es de 152° y cuando atraviesa esta zona cambia varias veces para recuperar su dirección original una vez atravesado el sector. La pendiente aguas arriba y abajo del sitio es de 0,43 % y 0,80 % respectivamente.

Las investigaciones geofísicas (SEV) han hecho un importante aporte para precisar la profundidad del basamento tanto en el

bloque elevado como hundido. Estudios realizados por Blarasin *et al.* (2007) con el fin de ubicar captaciones para la extracción de agua potable y de perforaciones realizadas por la Dirección Provincial de Hidráulica han determinado la posición del techo del basamento correspondiente a las areniscas pérmicas, en el bloque elevado, en el punto denominado P1 ubicado en la localidad de Sampacho a la profundidad de 60 m y en el bloque hundido, en el punto P2, a 68 m (Fig. 3).

Se ha relevado la trinchera denominada T1, cuya orientación azimutal es 000°, oblicua a la traza de la falla Las Rosas, de dimensiones 8,00 m de longitud y 2,50 m de altura, ubicada en la margen izquierda del arroyo del Gato (Fig. 4a). Las unidades aflorantes en un perfil contiguo a esta trinchera son:

Unidad B: Sedimentos finos limosos y limo arenosos finos con distintos grados de cementación por carbonatos, de color pardo cuya potencia es de al menos 3 m y está siendo incidida por el arroyo del Gato. Se considera que estos materiales corresponden a la Formación Pampiano.

Unidad D: Sedimentos arena limosos de color pardo rojizo con concreciones de carbonatos dispersas que sobreyacen a la Unidad B. El espesor de este nivel es de 1,5 m. Se considera que estos sedimentos corresponden a la Formación La Invernada.

Unidad E: Sedimentos arena limosos con alto contenido de carbonatos, color pardo claro, que corresponderían a un horizonte Bt de un paleosuelo, de 0,5 m de espesor, presente en la parte superior de la Unidad D. Por su ubicación en el perfil estratigráfico correspondería al Suelo Las Tapias.

Unidad F: En contacto erosivo sobre el paleosuelo de la Unidad E se encuentran sedimentos arenosos finos masivos con gravillas dispersas con un grado importante de compactación que lo hace muy resistente a la acción de las herramientas de mano, disminuyendo la resistencia hacia el techo del mismo. El espesor es de 1,3 m y se considera que los materiales de este nivel corresponden a la Formación Arroyo Las Lajas.

Unidad G: Sedimentos de un depósito eólico, edafizado en su parte superior, correspondiente a la Formación Laguna Oscura.

En el perfil de la trinchera (T1) se han re-

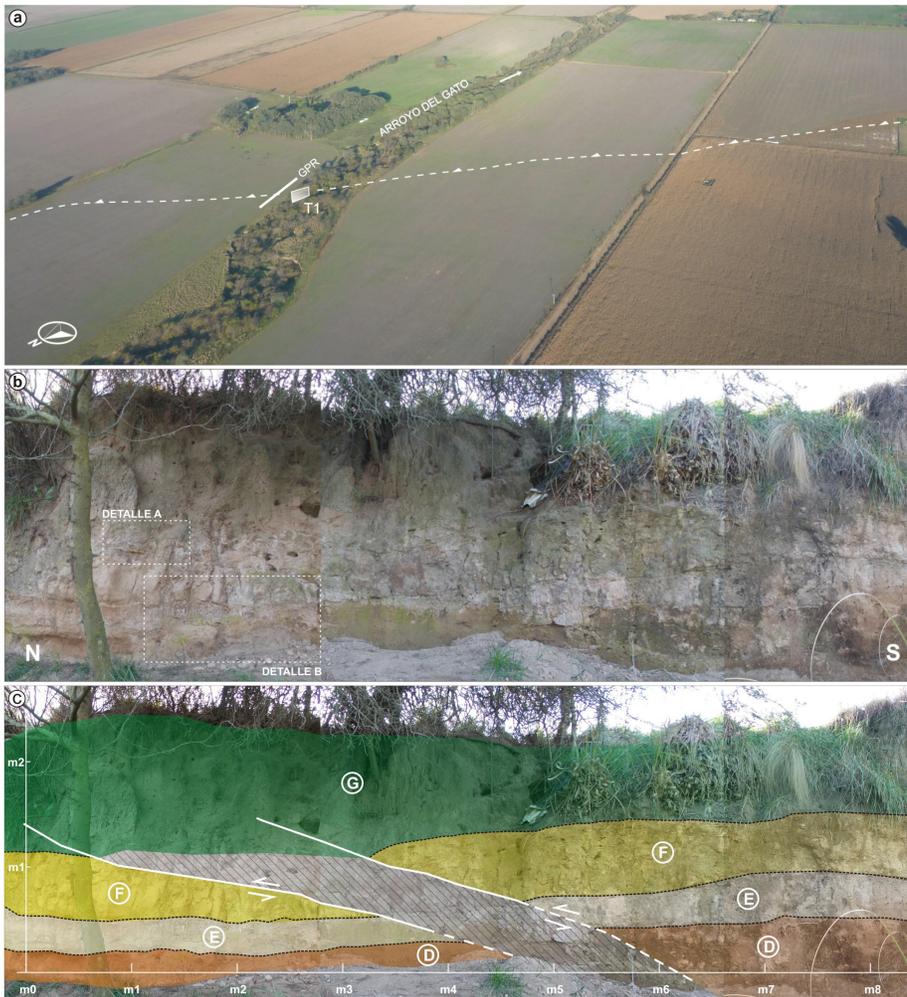


Figura 4. a) Foto aérea oblicua con la ubicación de la falla en línea de trazos, el perfil realizado con georradar (GPR) y el perfil de la trinchera T1; b) *Fotolog* de la trinchera T1. El Detalle A corresponde a la Figura 5 y el Detalle B a la Figura 6; c) *Sketch* del perfil.

conocido deformaciones frágiles, dúctiles y posibles estructuras de licuación (Fig. 4b, c). Entre el m 5 - 6 se reconocen planos de falla que poseen una orientación azimutal aproximada de 040° - 045° y buzamiento de 30° SE, que han desplazado con movimiento inverso a los materiales de las Unidades D, E y F. Se reconoce un desplazamiento vertical de 0,3 m del techo de las mismas. Se considera que la magnitud de este desplazamiento de las unidades no está expresada en su dimensión real en el perfil de la trinchera debido a que el mismo está cortando en forma oblicua al plano de falla, por lo tanto el desplazamiento medido es aparente.

En el m1 (Fig. 4, Detalle A) se relevaron estructuras lineares en el plano de falla que son interpretadas como estrías generadas por el movimiento de la falla sobre laminaciones carbonáticas (Fig. 5).

En el m 2 (Fig. 4, Detalle B), bloque hundido, se reconocen pliegues de escala mesoscópica afectando a la Unidad E cuyos ejes tienen una orientación paralela al rumbo de la falla (Fig. 6). Además, en la base del perfil de este sector, en la Unidad D se han reconocido pliegues que podrían ser originados por el fenómeno de licuación.

En el m 3,5-6,5 se reconoce deformación dúctil en la Unidad F, como un plegamiento tanto en el techo como en la base de la misma. La diferencia de cota del techo de esta unidad entre el bloque elevado y hundido es de aproximadamente 0,30 m.

En la zona de planos de falla, en el m 5-6, demarcada con líneas inclinadas, se encuentran los materiales desagregados y fracturados, y algunos límites de las unidades obliterados.

Se realizó una prospección del subsuelo con un georradar sobre el sitio donde

se relevó el perfil de la trinchera T1 (Fig. 4a), la imagen definitiva obtenida en el post-procesamiento del radargrama se presenta en la figura 7. El metro 0 indicado en esta figura coincide con el centro del perfil de la trinchera T1 (m 4, Fig. 4c). En el área que comprende el rectángulo presente en la figura se han detectado discontinuidades en los reflectores planos hasta una profundidad de 1,3 m coincidentes con las deformaciones relevadas en el perfil de la T1 en las Unidades E y F. Además, se han detectado entre los m 16-18 y 22-24 de la prospección, correspondiente al bloque elevado de la falla, reflectores planos lateralmente discontinuos y en desnivel indicando posibles deformaciones dúctiles con geometría monoclinas que poseen una altura de 0,15 m.

Sección Las Vertientes

Esta sección tiene un azimut 045° y el bloque hundido se ubica al noroeste, siendo su longitud de aproximadamente 15 km. El límite de su extremo sudoeste es el arroyo del Gato y la falla San Guillermo-El Tata, mientras que el del noreste es el arroyo Las Lajas, también denominado arroyo 630, y el lineamiento Arroyo Las Lajas (Fig. 8). En el bloque elevado de esta sección se ubica la localidad de Las Vertientes.

El lineamiento Arroyo Las Lajas posee una orientación azimutal de 100° y una longitud aproximada de 60 km, siendo probablemente el responsable del control estructural del arroyo homónimo. No se han reconocido deformaciones neotectónicas asociadas a este lineamiento, sólo en su tramo medio se identifican morfologías superficiales que corresponden al emplazamiento de médanos (Sagripanti 2006). El rasgo morfológico superficial que presenta esta sección de la falla Las Rosas es una escarpa cuya expresión es un desnivel topográfico tenue poco demarcado, discontinuo, de escasa altura, suavizado por la erosión debido a que los materiales presentes son sedimentos loessoides en su mayoría.

Las características morfohidrológicas del arroyo Las Lajas según su diseño en planta, a escala de mayor detalle en el tramo donde atraviesa la supuesta traza de la falla Las Rosas, aguas arriba del sitio es ligeramente sinuoso, el ancho de valle es

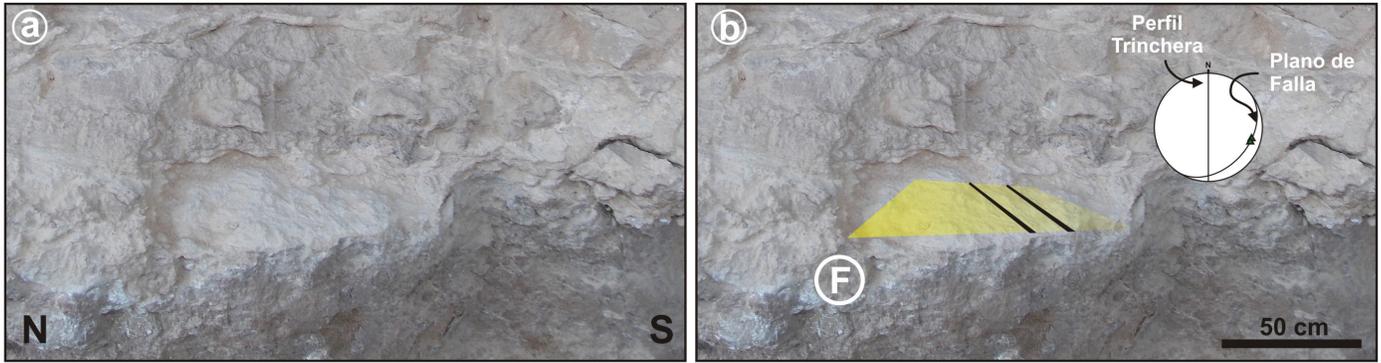


Figura 5. Estructuras lineares presentes en el plano de falla (ubicación en Fig. 4, Detalle A). a) Foto de estriás relevadas en la trinchera T1; b) Sketch de la foto.

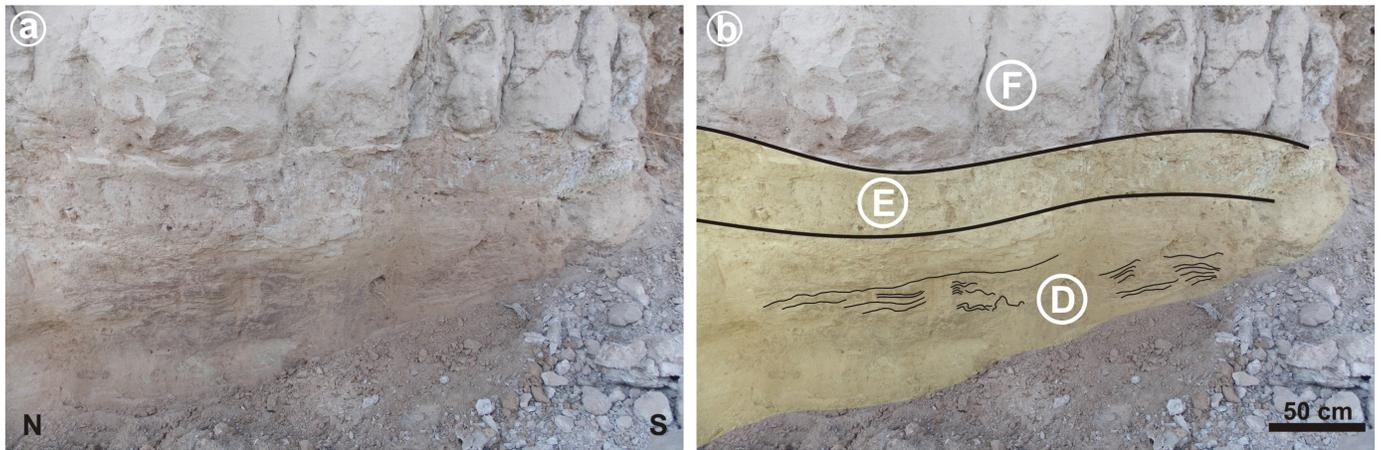


Figura 6. Pliegues de escala mesoscópica (ubicación en Fig. 4, Detalle B). a) Foto de pliegues relevados en la trinchera T1; b) Sketch de la foto.

de unos 135 m y la dirección de escurrimiento es 090° . Aguas abajo presenta un canal recto y erosivo con un valle más angosto de 85 m de ancho. Antes de atravesar la zona donde se infiere la posición de la falla, el cauce cambia de dirección de escurrimiento a 130° , recuperando la dirección original una vez atravesado el sector. Además, se determinó que la pendiente del mismo es de 0,55 % aguas arriba de la posición inferida de la falla y de 0,83 % inmediatamente aguas abajo. Datos obtenidos en una prospección geofísica (SEV) realizada con el propósito de ubicar captaciones para la extracción de agua potable y la posterior perforación (com. pers. Lic. Juan Felizzia), han determinado el techo del basamento en el bloque elevado, en proximidades de la traza de la falla, a una profundidad de 78 m en el punto denominado P1 ($33^\circ 19' 16'' S - 64^\circ 41' 26'' O$) y en el punto P2 ($33^\circ 18' 5'' S - 64^\circ 37' 15'' O$) a 90 m de profundidad (Fig. 8). Se infiere que esta profundización del techo del basamento podría estar vinculada a un leve bascu-

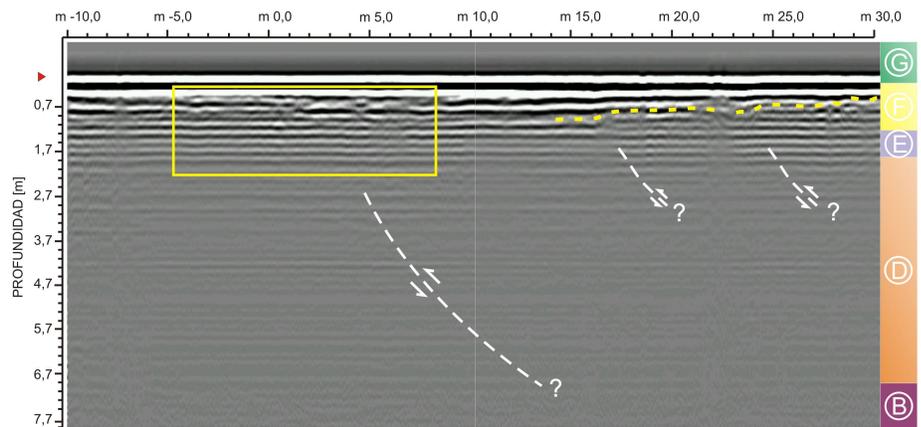


Figura 7. Radargrama obtenido sobre el perfil de la trinchera T1. El recuadro indica una zona de discontinuidad de los reflectores planos y las líneas de trazos las geometrías monoclinales detectadas y los planos de fallas supuestos.

lamiento de este bloque de la falla hacia el sudeste.

Los resultados obtenidos de la descripción de los perfiles de las trincheras denominadas T2 y T3 se describen a continuación. Estas están ubicadas en margen derecha e izquierda del arroyo Las Lajas, respectivamente, en el paso denominado Ver-

tientes (Fig. 9), tramo del arroyo Las Lajas donde se supone se ubica la traza de la falla analizada. Es oportuno aclarar que, debido a los accidentes que presenta este arroyo (altura de barrancas, vegetación, etc.) es inaccesible para realizar una descripción detallada de estos perfiles, a esto se suma que los materiales aflorantes son



Figura 8. Sección Las Vertientes, próxima a la localidad de Las Vertientes.



Figura 9. Foto aérea oblicua del paso Vertientes donde se indica la falla con línea de trazos y los recuadros blancos en perspectiva la ubicación de las trincheras T2 y T3.

sedimentos sueltos que no preservan las deformaciones, por lo que se dificulta su detección.

Las unidades aflorantes en el perfil de este sector son:

Unidad F: Sedimentos como arenas finas limosas laminadas con gravillas dispersas correspondientes a la Formación Arroyo Las Lajas, siendo el espesor aflorante de al menos 6 m. En el techo de esta unidad se encuentra un nivel que correspondería a un horizonte Bt del paleosuelo de aproximadamente 0,4 m de espesor.

Unidad G: Sobreyacen en nivel anterior sedimentos de un depósito eólico, edafizado en su parte superior, correspondiente a la Formación Laguna Oscura, que alcanza una potencia de aproximadamente 4 m.

En el perfil natural de la trinchera denominada T2 se reconocen planos de falla y discontinuidades afectando principalmente a los sedimentos de las Unidades F y G (Fig. 10a, b). La orientación aproximada de estos planos es de 040°-045° y un buzamiento de alrededor de 35° al SE.

Las fallas se han identificado como “a” y “b”. En la falla “a” ubicada en el m 14-18, se ha detectado un desplazamiento con movimiento inverso en el techo de la Unidad F, horizonte Bt de un paleosuelo, de aproximadamente 0,15 m de altura.

La falla “b” que se ubica en el m 10-18 posee una actitud similar a la anterior. Asociado a la misma se ha detectado, en el metro 17, que el horizonte Bt de un paleosuelo se encuentra desplazado con movimiento inverso, se presenta en el Detalle A (Fig. 10c, d). La diferencia de cota del techo de este horizonte, entre el bloque elevado y hundido, es de aproximadamente 0,15 m. Además, el sector entre m 16-18, donde se visualiza la zona de falla, está fracturado y en el mismo se reconocen numerosos planos de discontinuidad que están obliterando el límite entre las unidades, y cuyas orientaciones son paralelas a los planos de falla. En el m 6-15, se reconocen planos de discontinuidad bien definidos que cortan a las Unidades F y G y poseen una actitud similar a los planos de falla “a” y “b”.

En el perfil de la trinchera denominada T3, se reconocen deformaciones frágiles como dos fallas, denominadas “c” y “d”, que están cortando toda la secuencia formada por los sedimentos de las Unidades F y G (Fig. 11a, b). En la falla “c” que se encuentra en el m 5-22, se ha detectado un desplazamiento con movimiento inverso que se manifiesta como una morfología superficial, pequeña escarpa, de aproximadamente 0,2 m de altura y un desnivel de 0,2 m en el horizonte Bt del paleosuelo (metro 14). La orientación aproximada de esta estructura es de 040°-045° de azimut y un buzamiento de 35°SE.

La falla “d” que se ubica en el m13-28 posee una actitud similar a la anterior. Asociada a la misma se ha detectado, en el metro 18, una deformación en el techo de la Unidad F, horizonte Bt de un paleosuelo, que indica un movimiento inverso de la falla, que se presenta en el Detalle A (Fig. 11c, d). La diferencia de cota del techo de este horizonte, entre el bloque elevado y hundido, es de aproximadamente 0,2 m. Además, un plano de discontinuidad bien definido se ha reconocido en el m 20-30, que posee una actitud similar a los planos de falla identificados y está cortando a las Unidades F y G.

Las deformaciones frágiles correspondientes a las fallas “a”, “b” y “c”, “d” presentes en las trincheras T2 y T3 respectivamente, guardan correspondencia, poseen similar actitud y equidistancia en el perfil, están afectando a las mismas unidades presentes y sus desplazamientos asociados son de similar magnitud.

Sección La Lagunilla

La orientación azimutal de esta sección es de 045°, posee el bloque hundido al noroeste donde se ubica el paraje denominado La Lagunilla. La longitud aproximada es de 19 km y sus límites son en el extremo sudoeste el arroyo Las Lajas y el lineamiento Arroyo Las Lajas, y en el noreste el arroyo Santa Catalina (Fig. 12). La localidad de Santa Catalina se ubica en el sector oriental de esta sección.

La morfología superficial que presenta corresponde a un desnivel topográfico de escasa altura, discontinuo, siendo esta expresión poco demarcada debido a la erosión ya que los materiales aflorantes son loessoides, el mismo se hace un poco

más marcado en el extremo noreste de la sección. En el bloque hundido se reconocen una serie de depresiones hidrohalomórficas (Fig. 12) donde aflora el nivel freático y da lugar al emplazamiento de lagunas permanentes y humedales, cuyos excesos son canalizados al costado de un camino rural.

El arroyo Santa Catalina en el tramo donde se supone atraviesa la traza de la falla Las Rosas (Fig. 12), a escala de mayor detalle, presenta características morfohidrológicas tales como un diseño en planta de baja sinuosidad. Aguas arriba del sitio el valle tiene aproximadamente 110 m de ancho y dirección de escurrimiento 110° , mientras que, aguas abajo el valle es más angosto de 60 m de ancho, presenta un canal recto y erosivo, incidiendo en un material más cohesivo y cementado correspondiente a la Formación Pampiano. Una vez atravesado el sector donde se supone la presencia de la falla, el cauce adopta una dirección de drenaje de 160° . La pendiente aguas arriba y abajo del sitio es de 0,45 % y 0,71 % respectivamente. Los resultados obtenidos durante prospecciones geofísicas (SEV) realizadas con motivo de ubicar captaciones para la extracción de agua potable y posterior perforación (Fig. 12), indican que la posición del techo del basamento en el bloque

hundido estaría a una profundidad superior a 130 m en la perforación denominada P1 ($33^\circ 11' 27'' S - 64^\circ 31' 38'' O$) y en el bloque elevado de la falla se alcanzó el basamento a una profundidad de 92 m en la perforación P2 ($33^\circ 12' 53'' S - 64^\circ 26' 19'' O$) realizada en la localidad de Santa Catalina (*com. pers.* Lic. Juan Felizzia).

Se describió el perfil de una trinchera denominada T4, ubicado en el sector donde se supone pasa la traza de la falla en estudio (Fig. 13a). En este lugar tanto la vegetación presente como las paredes verticales de las barrancas hacen dificultoso el acceso hasta el perfil, y por lo tanto, realizar una descripción detallada del mismo. Las unidades aflorantes en el perfil de la trinchera T4 son:

Unidad B: Sedimentos limosos y limo arenosos finos pardo rojizos, cementados por carbonatos, de entre 0,6 y 0,8 m de espesor correspondientes a la Formación Pampiano.

Unidad C: Sobreyacen a la unidad ante-

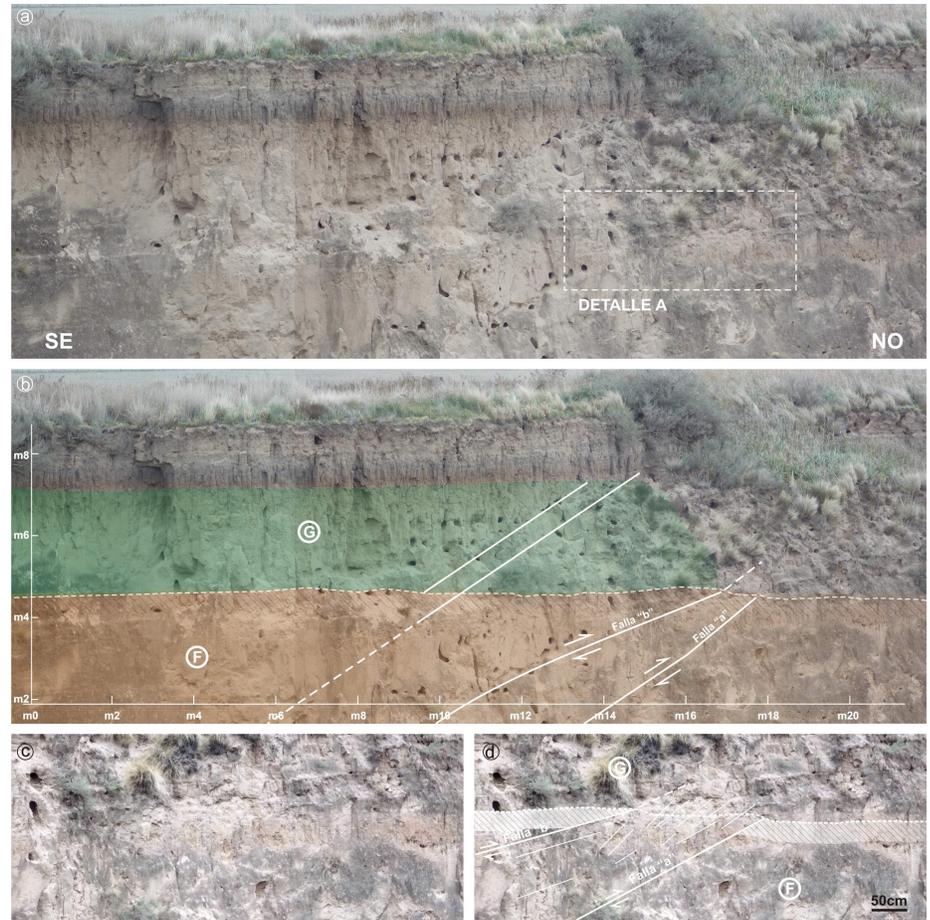


Figura 10. a) Perfil trinchera T2, margen derecha del arroyo Las Lajas; b) Sketch del perfil relevado donde se indican las estructuras detectadas; c) Zona de deformación frágil (Detalle A); d) Sketch de la foto (Detalle A).

rior limos arenosos de color verde oliva de aproximadamente 0,7 m de espesor que pasan a un sedimento de color pardo grisáceo de 3 m de espesor laminado en los primeros 0,4 m, en el techo de este nivel se reconocen materiales oscuros pertenecientes a un depósito lagunar de 0,5 m de espesor. Estos sedimentos corresponden a la Formación Chocancharava.

Unidad G: Sedimentos loessoides de la Formación Laguna Oscura, en los que se reconoce el desarrollo del suelo actual.

En la trinchera T4 se han reconocido estructuras de deformación dúctil principalmente, como flexuras y pliegues de escala mesoscópica que están afectando a la facies de color verde oliva de la Unidad C en el m 2-5 del perfil (Fig. 13b). Además, en el sector colindante al extremo sudeste de la trinchera, se han reconocido pliegues desarrollados en los sedimentos de la Unidad B (Fig. 13c). La orientación de los ejes de los mismos es paralela a rumbo de la falla Las Rosas.

Sección La Antonia

Esta sección posee un azimut de 040° , el bloque hundido al noroeste y una longitud aproximada de 9 km. El límite de su extremo sudoeste es el arroyo Santa Catalina y se infiere que la misma podría alcanzar al río Cuarto en su extremo noreste (Fig. 14). La ciudad de Río Cuarto se encuentra emplazada en el bloque elevado de esta sección.

El rasgo morfológico superficial que se reconoce asociado a la posible traza de la falla en esta sección es una escarpa enfrentando al noroeste, que genera un resalto topográfico suavizado, desarrollada en sedimentos finos holocenos.

Hacia el sector noroeste de este desnivel, dentro del bloque hundido, se encuentran depresiones hidrohalomórficas (Fig. 14) donde aflora el agua subterránea que da origen a lagunas permanentes y humedales alineados que conforman las nacientes de un escurrimiento permanente de dirección 200° que desemboca en el

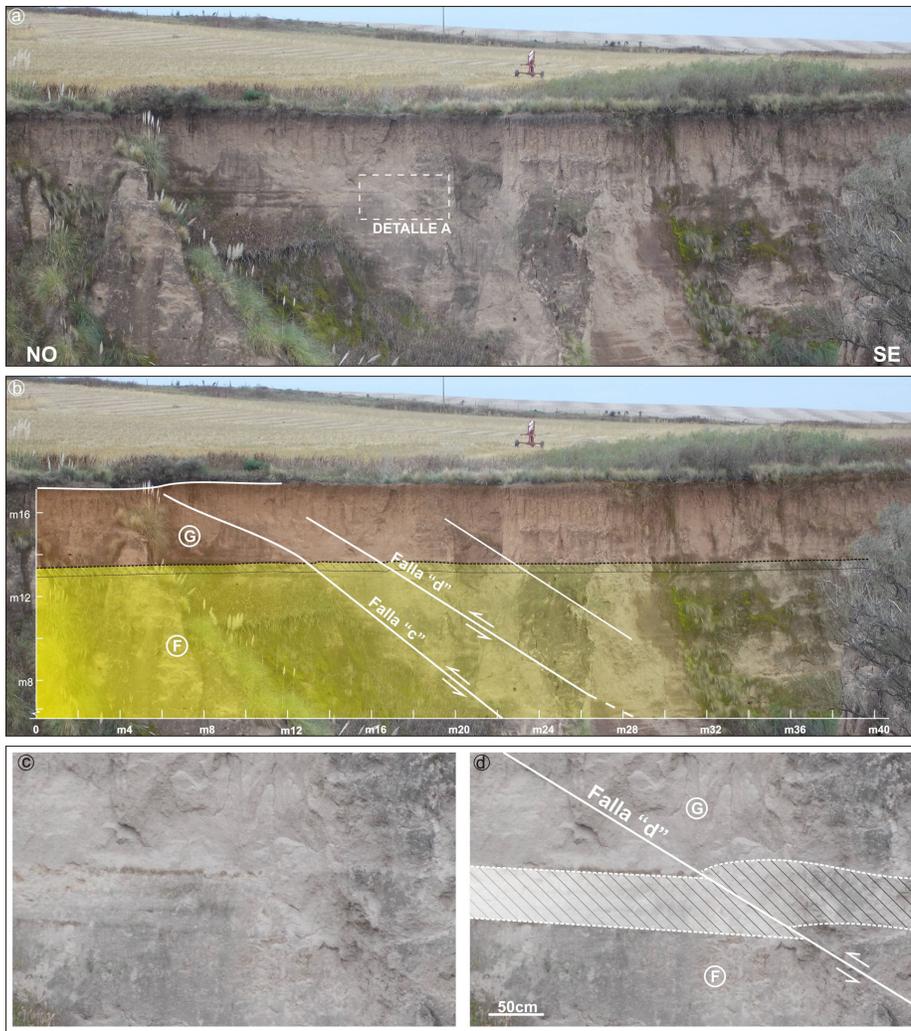


Figura 11. a) Perfil trinchera T3, margen izquierda del arroyo Las Lajas; b) Sketch del perfil relevado donde se indican las estructuras detectadas; c) Paleosuelo desplazado por la falla "d" (Detalle A); d) Sketch de la foto (Detalle A).

estar controlada por la actitud del basamento que se interpreta con un leve basculamiento hacia el Este-Sudeste en este sector.

En la prospección gravimétrica realizada aproximadamente perpendicular a la traza de la sección La Antonia, sobre la ruta N°30 (Fig. 14) se obtuvieron datos que, a partir del análisis e interpretación de las curvas que resultan de éstos, Gradiente Horizontal, Señal Analítica y Anomalía Residual de Bouguer, se han detectado cambios de pendientes en las mismas que indican la presencia de varias estructuras. Además, se realizó una modelización de la Anomalía Residual de Bouguer (Fig. 16a, b) para apoyar la ubicación de las estructuras principales presentes en el sector.

En la modelización se han detectado resaltos e inclinaciones en el techo del basamento, que posiblemente han sido generados por el desplazamiento de las fallas presentes (Fig. 16b). Sobre la base de la posición geográfica de los resaltos, junto con las expresiones morfológicas superficiales que éstos generan y de antecedentes sobre la ubicación de las fallas Las Lagunas y Santa Catalina (Degiovanni 2008, Seitz 2009) se ha definido que la posición de las estructuras principales, como las fallas Las Lagunas, Las Rosas y Santa Catalina, es la indicada en la figura 16b.

arroyo Santa Catalina. La presencia de esta estructura posiblemente tiene incidencia en el escurrimiento subterráneo generando estos humedales. Los resultados obtenidos de una serie de SEV realizados por Blarasín (2003) con el fin de determinar la profundidad del basamento, indican un nivel de mayor resistividad que podría corresponder al techo de la Formación Pampiano, en condiciones de alta cementación, cuya profundidad aumenta de Oeste a Este. De la serie de sondeos realizados sólo se han analizado los denominados 2, 1 y 7, dispuestos de O a E, y ubicados en el bloque elevado de la falla cubriendo una longitud de 631 m (Fig. 14). En el análisis de las gráficas y datos obtenidos en los sondeos se ha visualizado que en una de las electrocapas defi-



Figura 12. Sección La Lagunilla, próxima a la localidad de Santa Catalina.

nidas se incrementa la resistividad así también su profundidad de Oeste a Este (Fig. 15). Por lo tanto, se supone que la profundización de este nivel podría

DISCUSIÓN

La mayoría de las secciones presenta una pequeña escarpa de falla poco de-

marcada, suavizada y de escasa altura desarrollada en sedimentos holocenos. La expresión morfológica de esta escarpa sutil de baja altura puede estar condicionada tanto por la tasa de movimiento que puede poseer la estructura, que se supone muy baja, como por la tasa de erosión que puede ser importante en los sedimentos sueltos de este sector. Con relación a la primera, se puede tomar como referencia la tasa de movimiento holocena estimada por Sagripanti *et al.* (2011), para la falla Las Lagunas ubicada próxima y al Noroeste de la falla Las Rosas, que es de 0,25 mm/año.

Entre las evidencias recolectadas asociadas al desnivel tectónico generado por la presencia de la falla Las Rosas se pueden citar a las depresiones hidrohalmórficas que están ubicadas en el bloque hundido de la misma, al menos, en tres de sus secciones. Éstas se manifiestan por medio de una serie de lagunas permanentes y humedales alineados, donde en los sectores más bajos aflora el nivel freático dando origen a las nacientes de arroyos.

La morfohidrología que caracteriza a los arroyos del sector, de régimen permanente y que atraviesan en forma aproximadamente perpendicular a las secciones de la falla, en general, presenta mayor sinuosidad en el bloque hundido, con lecho aluvional, mayor ancho de valle y menor pendiente, experimentando un cambio en la dirección de escurrimiento en el sector donde atraviesan a las distintas secciones. En el bloque elevado normalmente se reconoce en éstos un canal recto y erosivo con frentes de erosión retrocedente, menor ancho de valle y mayor pendiente. Algunas de estas características también han sido analizadas y reportadas por Degiovanni (2008) para otros tramos del arroyo del Gato.

Las variaciones que presenta la morfohidrología de los arroyos que atraviesan la falla Las Rosas tienen correspondencia con los bloques estructurales del sector. Estas, que están presentes en tramos de corta longitud, permiten considerar a éstos como segmentos morfológicamente anómalos, evidencias concretas sobre el control activo que la actividad neotectónica ejerce sobre algunos parámetros como la sinuosidad, pendiente y ancho de valle, entre otros. Por otra parte, segmentos

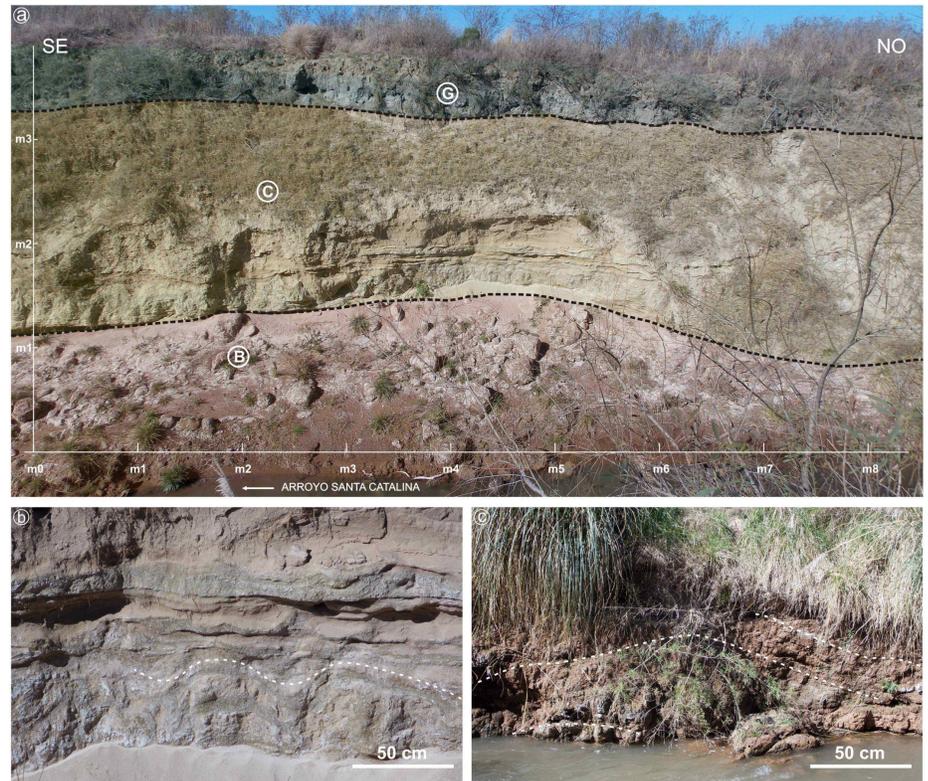


Figura 13. a) Perfil trinchera T4, margen derecha arroyo Santa Catalina; b) Pliegues de escala mesoscópica en la Formación Chocancharava indicados con línea de trazos; c) Plegamiento en la Formación Pampiano indicado con línea de trazos.

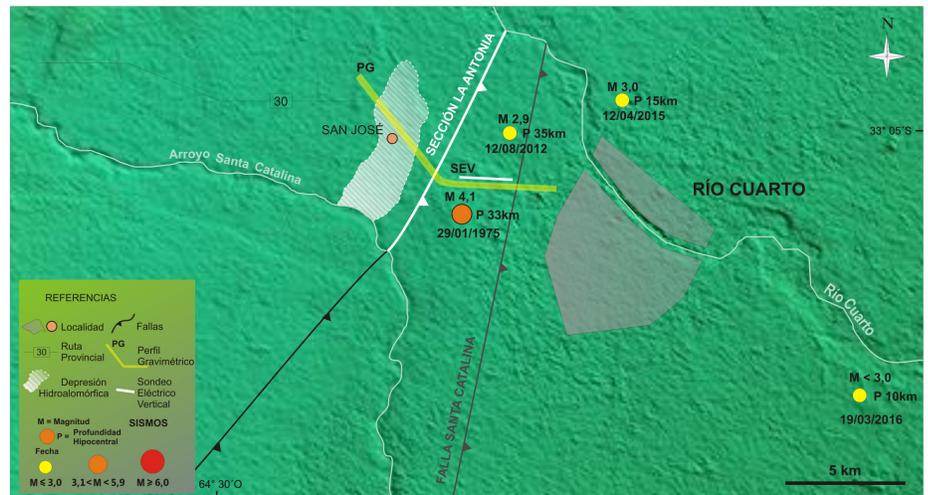


Figura 14. Sección La Antonia, próxima a la ciudad de Río Cuarto.

morfológicamente anómalos, de similares características, resultado de un control activo han sido reconocidos en los arroyos del Gato y Las Lajas cuando atraviesan a la falla Las Lagunas (Seitz 2009, Sagripanti *et al.* 2011). Los datos aportados por las perforaciones y las prospecciones geofísicas indican una mayor profundidad del techo del basamento en el bloque hundido de al-

gunas de las secciones, permitiendo ubicar de forma más precisa a la traza de la falla Las Rosas y también en el caso de la sección Las Vertientes, inferir un leve basculamiento del bloque elevado hacia el sudeste. En las secciones Boca del Tigre y Las Vertientes se han reconocido deformaciones frágiles, dúctiles y de licuación, de escala mesoscópica, en sedimentos finos no con-

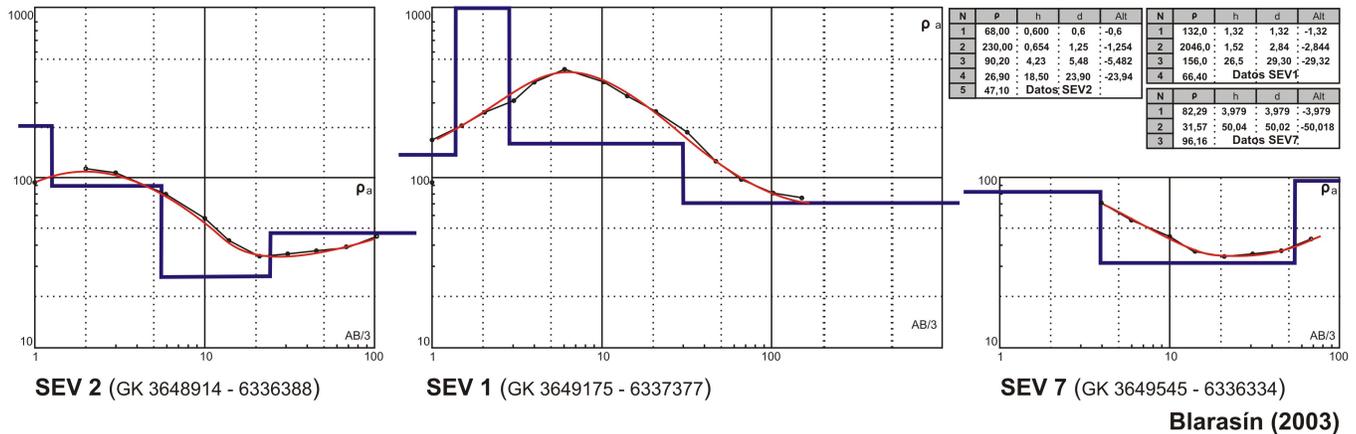


Figura 15. Curvas y datos de los sondeos eléctricos verticales, tomados de Blarasín (2003). Curvas de color: azul (valores de resistividad verdadera y espesores reales), negro (Resistividad aparente, ρ_a) y rojo (Resistividad interpretada). Las unidades en el eje "x", metros y en el eje "y", Ω/m . AB/3 distancia entre electrodos. Las columnas en la tabla de datos indican "N" número de electrocapas, "p" Resistividad, "h" espesor de las electrocapas, "d" y "Alt" profundidad de las electrocapas.

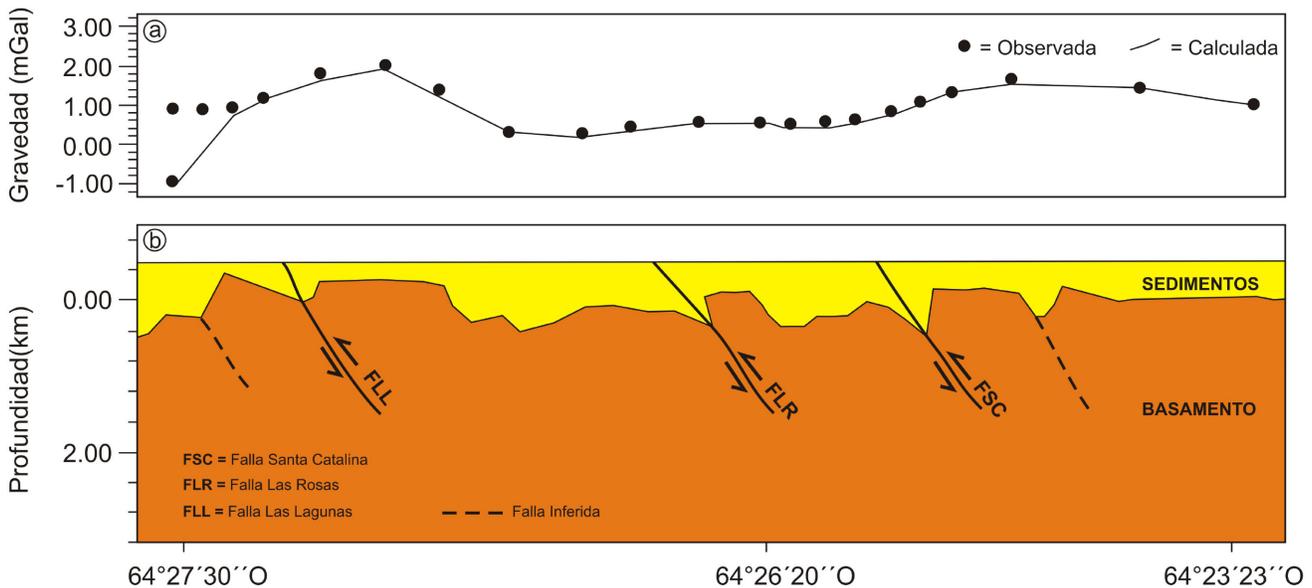


Figura 16. a) Curva de la gravedad observada y calculada; b) Modelización de la Anomalia Residual de Bouguer, donde se indican las estructuras interpretadas y la litología. Las densidades utilizadas en la modelización: Basamento $2,70 \text{ g/cm}^3$ y Sedimentos $2,25 \text{ g/cm}^3$.

solidados de edad pleistocena y holocena. Entre las deformaciones frágiles se pueden citar planos de falla secundarios de la estructura principal, falla Las Rosas, en los que se ha detectado e interpretado un movimiento inverso para las mismas con un desplazamiento vertical para algunas unidades sedimentarias afectadas de hasta 0,3 m. En uno de estos planos se han reconocido estructuras lineares que podrían estar indicando un desplazamiento de rumbo dextral para la sección Boca del Tigre. En este sector, entre los planos de falla se reconocen a los materiales fracturados y desagregados. Además, los pliegues reconocidos en la Unidad E tienen

sus ejes con orientación paralela al rumbo de la falla, como también los pliegues generados por licuación en la Unidad D. Sobre estos últimos, se considera que los mismos podrían ser resultado de la agitación generada por un paleoterremoto y también que estas estructuras junto con las otras relevadas en la trinchera T1 se encontrarían en la zona de *ground shaking* de la falla Las Rosas. Por otra parte, en las trincheras T2 y T3, afectando a las Unidades F y G, se han reconocido planos de falla secundarios que poseen un desplazamiento con movimiento inverso, de hasta 0,2 m, que se reconoce en un paleosuelo y que han ge-

nerado una morfología superficial como una pequeña escarpa de 0,2 m de altura. Estas estructuras frágiles y dúctiles desarrolladas en sedimentos no consolidados son una evidencia concreta de la actividad cuaternaria de la falla, al menos, de estas dos secciones. Las características de estas deformaciones como también la magnitud de los desplazamientos y la posible componente de rumbo dextral interpretada para la falla, son similares a las relevadas e interpretadas en trincheras abiertas en las fallas Las Lagunas y Las Peñas. Los desplazamientos cosísmicos que se han determinado para la primera de estas fallas es un rechazo vertical entre 0,15 y

0,30 m para paleosismos ocurridos en la última mitad del Holoceno (Sagripani y Villalba 2011, Sagripani *et al.* 2011, 2012). Además, en el perfil de la trinchera T4 ubicada en un sector donde se supone se encuentra la traza de la falla Las Rosas, se han reconocido estructuras dúctiles como pliegues cuyos ejes son paralelos al rumbo de la falla. Si bien no se puede precisar el origen de los mismos (tectónico, carga, licuación), si éstos han sido generados por el fenómeno de licuación indicarían que este sector podría haber sido el *ground shaking* de la falla durante alguna reactivación de la misma en el Cuaternario. Las características de estas deformaciones son similares a las relevadas e interpretadas en trincheras abiertas en la falla Las Lagunas (Sagripani 2006, Seitz 2009, Sagripani *et al.* 2011). Los resultados obtenidos en la prospección geofísica realizada con el georradar indican que en el post-procesamiento del radargrama se ha detectado una anomalía en los reflectores planos coincidentes con las deformaciones relevadas en la zona de falla del perfil de la trinchera T1, como así también en el bloque elevado se han detectado reflectores planos lateralmente discontinuos y en desnivel con geometría monoclinial. Estas modificaciones en los reflectores planos se corresponden con las deformaciones relevadas en el perfil, por lo tanto se considera que la utilización de esta tecnología en este ámbito y en este tipo de materiales es recomendable. Por otra parte, los resultados obtenidos del perfil gravimétrico han permitido detectar la presencia de varias estructuras y precisar la ubicación de la falla Las Rosas.

La información obtenida en el relevamiento de las secciones de la falla, en particular de la sección Boca del Tigre, analizada en forma integrada con los antecedentes y atributos que se cuenta de la falla Las Lagunas ubicada a unos 10 km al noroeste de la falla Las Rosas (Sagripani 2006, Seitz 2009, Sagripani y Villalba 2009, 2011, Sagripani *et al.* 2009, 2011, 2012, 2014, Villalba y Sagripani 2014), han permitido elaborar la propuesta de un perfil estructural esquemático (Fig. 17), en el que se indica la posible geometría de estas fallas en profundidad, a la latitud de la localidad de Sampacho.

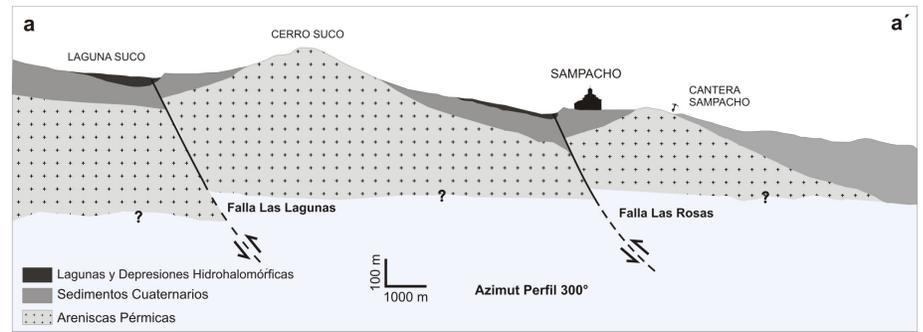


Figura 17. Perfil estructural esquemático, presentando la posible geometría en profundidad de las fallas Las Rosas y Las Lagunas.

CONCLUSIONES

Sobre la base de los datos y evidencias recolectadas (estructurales, neotectónicas, morfohidrológicas y geofísicas) se concluye que la falla Las Rosas es una falla de movimiento inverso y buzamiento al sudeste, coincidiendo con el estilo tectónico definido para esta región. Esta estructura posee una orientación entre 040°-045°, buzando 35°SE y su longitud es de, al menos, 51 km.

Sobre la base de las evidencias y resultados obtenidos a través de la aplicación de distintas técnicas neotectónicas y paleosismológicas, y en particular de las deformaciones de escala mesoscópica detectadas e interpretadas, en sedimentos no consolidados de edad pleistocena y holocena, se concluye que, al menos, dos secciones de la falla Las Rosas han tenido actividad durante el Cuaternario.

Debido a que, la magnitud de los desplazamientos relevados en la falla en estudio son similares a los detectados en otras fallas presentes en este ámbito, como en la falla Las Lagunas, donde sobre la base de desplazamientos cosísmicos y la longitud de ruptura holocena se ha determinado una magnitud M 6,5-7,0 para fuertes paleoterremotos, que es superior a los registros históricos, se considera prioritario avanzar con estudios paleosismológicos de mayor detalle para tener un conocimiento más preciso sobre el potencial sísmogénico asociado a la falla Las Rosas y que permitan hacer una evaluación más aproximada del riesgo sísmico. A esto se suma que, esta falla está ubicada próxima a importantes centros urbanos, como la ciudad de Río Cuarto con casi 200.000 habitantes y, en la cual, es dudosa la apli-

cación de las normas de sismo-resistencia en las construcciones.

AGRADECIMIENTOS

Al editor temático Dr. Fernando Hongn, al revisor Dr. Víctor Hugo García y al revisor anónimo, por su predisposición, lectura crítica del manuscrito y sugerencias que han permitido mejorar significativamente este artículo. A los integrantes del Departamento de Geología (UNRC), Lic. Juan Felizzia por su invaluable aporte de resultados de prospecciones geofísicas (SEV) y perforaciones, y a la Dra. Adriana Cabrera por su lectura crítica del manuscrito que ha ayudado mejorar el mismo.

REFERENCIAS

- Alvarado, P., Castro de Machuca, B. y Beck, S. 2005. Comparative seismic and petrographic crustal study between the Western and Eastern Sierras Pampeanas region (31°S). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 60: 787-796.
- Blarasin, M. 2003. *Geohidrología Ambiental del Sur de Córdoba, con Énfasis en la Ciudad de Río Cuarto y su Entorno Rural*. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Río Cuarto (inédita), 377p., Río Cuarto.
- Blarasin, M., Cabrera, A. y Matteoda, E. 2007. *Exploración Hidrogeológica para la Ubicación de Captaciones de Agua en la Localidad de Sampacho y Alrededores*. Córdoba. Informe Técnico Universidad Nacional de Río Cuarto (inédito), 35p., Río Cuarto.
- Cantú, M.P. 1992. *El Holoceno en la provincia de Córdoba*. *Holoceno de la República Argentina*. *Cadina* 1: 1-16.
- Cantú, M., Schiavo, H., Becker, A., Zhou, L. y

- Grumelli, M. 2006. Pleistoceno superior tardío-Holoceno de la cuenca media del arroyo Santa Catalina, provincia de Córdoba, Argentina. 3° Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, Actas 2: 777-786, Córdoba.
- Castaldi, G.S. 2013. Relevamiento y caracterización de las deformaciones neógenas-cuaternarias asociadas a la falla El Molino, sierra de Comechingones. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Río Cuarto (inédita), 112 p., Río Cuarto.
- Costa, C.H. 1999. Rasgos estructurales del territorio argentino, tectónica cuaternaria en las Sierras Pampeanas. En: Caminos, R. (ed.), Geología Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico y Minero Argentino, Anales 29: 779-784.
- Costa, C.H. y Vita Finzi, C. 1996. Late holocene faulting in the southeast Sierras Pampeanas of Argentina. *Geology* 24: 1127-1130.
- Costa C.H., Machette, M.N., Dart, R., Bastias, H., Paredes, J., Perucca, L., Tello, G., y Haller, K. 2000. Map and Database of Quaternary Faults and Folds in Argentina. International Lithosphere Program, USGS. Open-file report 00-0108, 81p.
- Costa, C.H., Murillo, V., Sagripanti, G.L. y Gardini, C. 2001. Quaternary intraplate deformation in the southeastern Sierras Pampeanas, Argentina. *Journal of Seismology* 5: 399-409.
- Costa, C., Massabie, A., Sagripanti, G., Brunetto, E. y Coppolecchia, M. 2014. Neotectónica. En: Martino, R y Guerreschi, A. (eds.), 19° Congreso Geológico Argentino, Relatorio 2: 725-746, Córdoba.
- Degiovanni, S., 2008. Análisis Geoambiental del Comportamiento de los Sistemas Fluviales del Sur de Córdoba, en especial del Arroyo Achiras-del Gato, como base para una Gestión Sustentable. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Río Cuarto (inédita), 597 p., Río Cuarto.
- Jordan, T. y Allmendinger, R.W. 1986. The Sierras Pampeanas of Argentina; a modern analogue of Rocky Mountain foreland deformation. *American Journal of Science* 286: 737-764.
- Jordan, T., Isacks, B., Allmendinger, R., Bremer, J. y Ramos, V. 1983. Andean Tectonics related to geometry of subducted Nazca Plate. *Geological Society of America Bulletin* 94: 341-361.
- Kraemer, P., Martino, R., Giambastiani, M. y Sfragulla, J. 1988. Análisis dinámico cinemático preliminar de la falla Santa Rosa, Departamento de Calamuchita, Provincia de Córdoba. 5° Reunión de Microtectónica, Actas 1: 107-114, Córdoba.
- Massabie, A. 1976. Estructura tectónica cenozoica entre Charbonier y Cosquín, provincia de Córdoba. 6° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 109-123, Buenos Aires.
- Massabie, A. 1996. Fallamiento neotectónico en las Sierras Pampeanas Orientales. Implicancias aplicadas a diferentes escalas. *Actas Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería* 10: 187-198.
- Massabie, A. y Szlafstein, C.F. 1991. Condiciones geomecánicas y edad del fallamiento neotectónico en las Sierras Pampeanas Orientales, Córdoba, Argentina. *Actas Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería* 6: 154-168.
- Massabie, A., Mutti, D., Nestiero, O. y Sanguinetti, A. 1999. Control múltiple del fallamiento neotectónico en las Sierras Pampeanas Orientales, Provincias de Córdoba, San Luis y Santiago del Estero. *Revista de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente* 13: 117-123.
- Massabie, A., Cegarra, M. y Sanguinetti, A. 2006. Estructura y edad de fallamiento cuaternario a la latitud de Bialet Massé, Sierra Chica de Córdoba. 12° Reunión sobre Microtectónica y Geología Estructural. Asociación Geológica Argentina, Publicación Especial 9: 107-112, Salta.
- Murillo, M.V. 1996. Neotectónica del flanco occidental de la sierra de Comechingones, entre los arroyos Piedra Blanca y San Miguel (provincia de San Luis). Trabajo Final de Licenciatura, Universidad Nacional de Buenos Aires (inédito), 135 p., Buenos Aires.
- McCalpin, J.P. 1996. *Paleoseismology*. Academic Press Inc., 587 p., California.
- Pilger, R. 1981. Plate reconstructions, aseismic ridges, and low-angle subduction beneath the Andes. *Geological Society of America, Bulletin* 92: 448-456.
- Ramos, V. 1999. Rasgos estructurales del territorio argentino. En: Caminos, R. (ed.), Geología Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico y Minero Argentino, Anales 29: 715-784, Buenos Aires.
- Ramos, V., Cristallini, E. y Pérez, D. 2002. The Pampean flat-slab of the Central Andes. *Journal of South American Earth Sciences* 15: 59-78.
- Richardson, T., Gilbert, H., Anderson, M. y Ridgway, K.D. 2012. Seismicity within the actively deforming Eastern Sierras Pampeanas, Argentina. *Geophysics* 188: 408-420.
- 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. 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: 417-428.
- Sagripanti, G.L. y Villalba, D. 2011. Movimientos prehistóricos y recientes en la intraplaca argentina a la latitud 33°S, falla Las Lagunas, Sampacho, Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 68: 491-501.
- Sagripanti, G.L., Villalba, D., Bettiol, 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 al Ambiente* 23: 45-53.
- Sagripanti, G.L., Schiavo, H.F., Felizzia, J., Villalba, D., Aguilera, D., Giaccardi, A. y Membrives, J. 2011. Fuertes paleosismos de intraplaca y sus retornos vinculados a la falla Las Lagunas, Sierras Pampeanas de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 68: 52-70.
- Sagripanti, G.L., Villalba, D. y Villegas, M. 2012. Nuevas evidencias de deformaciones cuaternarias asociadas a la falla Sierra Chica. Sierras Pampeanas de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 69: 624-639.
- Sagripanti, G.L., Villalba, D., Villegas, M., Castaldi, G., Benito, E. y Muratore, N. 2014. Avances en la Valoración del Peligro Sísmico en Fallas con Actividad Cuaternaria. Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis. *Revista de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente* 32: 93-105.
- Schlagintweit, O. 1954. Una interesante dislocación en Potrero de Garay (valle de Calamuchita) y observaciones sobre la Sierra Chica y Grande de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 9: 135-154.
- 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.
- Smalley, R. Jr., Pujol, J., Regnier, M., Chiu, J.-M., Chatelain, J.-L., Isacks, B. L., Araujo, M., y Puebla, N. 1993. Basement seismicity beneath the Andean Precordillera thin-skinned thrust belt and implications for crustal and lithospheric behavior. *Tectonics*, 12: 63-76.
- Sosic, M., 1964. Hoja Geológica 24h, Sierra del Morro, San Luis y Córdoba. Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín 95, 53 p., Buenos Aires.
- Szafarsztein, C. 1991. Aspectos geológicos de los alrededores de Potrero de Garay (Provincia de Córdoba). Universidad Nacional de Buenos Aires, Trabajo Final de Licenciatura, (inédito), 86 p., Buenos Aires.
- Villalba, D., 2011. Estudio neotectónico y geodésico tendiente a comprobar movimientos prehistóricos y recientes de la falla Las Lagunas, Sampacho. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Río Cuarto (inédita), 142 p., Río Cuarto.
- Villalba, D. y Sagripanti, G.L. 2014. Análisis morfológico de escarpas asociadas a una falla de intraplaca con actividad cuaternaria: falla Las Lagunas, Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 71: 86-95.
- Wagner-Manslau, A. 1988. Estudio geológico-estructural del valle de Calamuchita entre Villa General Belgrano y Santa Rosa de Calamuchita. Provincia de Córdoba. Trabajo Final de Licenciatura, Universidad Nacional de Buenos Aires (inédito), 73 p., Buenos Aires.

Recibido: 21 de diciembre, 2017

Aceptado: 10 de junio, 2018