

RELATORIO DEL XIX CONGRESO GEOLÓGICO ARGENTINO



A



GEOLOGÍA DE SUPERFICIE



# NEOTECTÓNICA



Carlos H. COSTA<sup>1</sup>, Armando C. MASSABIE<sup>2</sup>, Guillermo L. SAGRIPANTI<sup>3</sup>,  
Ernesto BRUNETTO<sup>4</sup> y Mariana COPPOLECCHIA<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Geología, Universidad Nacional de San Luis, E. de los Andes 950, 5700 San Luis. [costa@unsl.edu.ar](mailto:costa@unsl.edu.ar)

<sup>2</sup>Geólogo Consultor. [gondstructural@yahoo.com.ar](mailto:gondstructural@yahoo.com.ar)

<sup>3</sup>Departamento de Geología, Universidad Nacional de Río Cuarto, Ruta Nacional 36, km 601, 5800, Río Cuarto, Córdoba. [gsagripanti@exa.unrc.edu.ar](mailto:gsagripanti@exa.unrc.edu.ar)

<sup>4</sup>CICyTTP-CONICET, Materi y España s/n. 3105, Diamante, Entre Ríos y FICH-UNL, Santa Fe. [ebrunetto@yahoo.es](mailto:ebrunetto@yahoo.es)

<sup>5</sup>SEGEMAR, Delegación Córdoba. Celso Barrios 1712. 5014, Córdoba. [mariana.coppolecchia@segemar.gov.ar](mailto:mariana.coppolecchia@segemar.gov.ar)

## RESUMEN

Las deformaciones neotectónicas descritas en la Provincia de Córdoba, están concentradas en las escarpas que marginan el frente occidental de las Sierras de Córdoba y en exposiciones aisladas en la llanura periserrana. Las estructuras neotectónicas del ambiente serrano están caracterizadas por fallas inversas cuya actividad cuaternaria ha sido fehaciente documentada, en algunos casos con rechazos decamétricos. Las deformaciones están concentradas en el ambiente pedemontano, muchas veces sin morfologías diagnósticas asociadas y se las interpreta como corrimientos en el labio bajo de la falla principal. El Sistema de Fallas de la Sierra Chica, es la estructura neotectónica más relevante en territorio cordobés, debido a su extensión, a la información obtenida hasta el presente y también debido a su significado como fuente sismogénica. El Sistema de Fallas de Comechingones y la falla de la sierra Baja de San Marcos presentan características semejantes al Sistema de Fallas de la Sierra Chica en cuanto a aspectos geométricos y evidencias de actividad tectónica. La falla Las Lagunas en el sur provincial, ha registrado actividad durante el Holoceno y ha sido asociada con la sismicidad actual de la región de Sampacho y al sismo de 1934. Asimismo, evidencias de actividad neotectónica, han sido descritas en el ámbito de la depresión de Mar Chiquita, posiblemente vinculadas con estructuras propagantes.

**Palabras clave:** Deformaciones cuaternarias, Provincia de Córdoba.

## ABSTRACT

**Neotectonics.** Quaternary deformation in the Córdoba Province, are concentrated at the bounding scarps of the Sierras de Córdoba's western hillslope. These structures are characterized by reverse faults whose Quaternary activity has been clearly documented, sometimes with decametric slips. Deformation affecting Quaternary sediments is concentrated at the piedmont environment, usually without diagnostic morphologies and is interpreted as foot-wall shortcuts of the main bounding range thrusts. The Sierra Chica Fault System is the most relevant neotectonic structure in the province, not only due to its length and the data available, but also because its significance as a seismogenic source. The Comechingones Fault System and the Sierra Baja de San Marcos fault exhibit similar characteristics than the Sierra Chica Fault System, regarding their geometry and Quaternary activity. The Holocene-active Las Lagunas fault in the southern region has been associated to the current seismicity of the Sampacho area and to the 1934 earthquake. Neotectonic evidences have been also reported in the Mar Chiquita depression, probably related to propagating faults.

**Keywords:** Quaternary deformation, Córdoba Province.

## INTRODUCCIÓN

En el territorio de la Provincia de Córdoba se manifiestan las deformaciones neotectónicas más orientales del segmento de subducción subhorizontal Pampeano, principalmente asociadas al levantamiento neógeno de las sierras de Córdoba (Fig. 1). Su identificación y análisis adquiere particular relevancia, no solo para un adecuado conocimiento de los fenómenos desarrollados en el antepaís Andino, como consecuencia del régimen de subducción actual, sino también para una adecuada caracterización del potencial sismogénico regional.

Existen en la literatura numerosas definiciones del término "Neotectónica", que implican enfoques diversos prin-

cialmente respecto a la base temporal utilizada para discriminar a este tipo de deformaciones. En este trabajo se caracterizarán como "neotectónicas" a todas aquellas estructuras que afectan a estratos cuaternarios o cuyos rasgos morfológicos permiten presumir una actividad de las mismas durante el Cuaternario. Sin embargo, debido al impreciso e insuficiente conocimiento de la cronoestratigrafía de los estratos asignados al Neógeno y/o Cuaternario *s.l.* en la Provincia de Córdoba al presente, se incluirán también aquí como "neotectónicas" a aquellas estructuras cuyo período de actividad no es satisfactoriamente conocido, pero que según la información disponible pueden atribuirse tentativamente al intervalo Plioceno-Cuaternario.

## ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

Varios trabajos pioneros han destacado la ocurrencia del tectonismo cenozoico y su importancia en la configuración morfoestructural actual de las Sierras Pampeanas en general (Rassmuss 1916, Penck 1920, González Bonorino 1950) y de las Sierras de Córdoba en particular (Bodenbender 1905, Beder 1916, 1922, Rimann 1918, Schmieder 1921, Gross 1948, Castellanos 1958, Olsacher 1972, entre otros), y trabajos posteriores han acometido con diverso detalle dicha problemática (Lencinas y Timonieri 1968, Lencinas 1971, Gordillo y Lencinas 1972, 1979). Sin embargo, son menos numerosas las contribuciones en las que las deformaciones neotectónicas han constituido el tópico central del estudio o donde las mismas hayan sido discriminadas dentro las deformaciones neógenas en general.

Las primeras descripciones detalladas de una deformación cuaternaria corresponden a las contribuciones de Schlagintweit (1954) y Castellanos (1956), referidas al aquí denominado Sistema de Fallas de la Sierra Chica en la Sección Potrero de Garay. Posteriormente Massabie (1975, 1976) aportó información sobre diversos aspectos de la neotectónica en las Sierras de Córdoba y luego de dichas contribuciones varios trabajos contribuyeron con nuevos datos sobre la ocurrencia puntual de deformaciones neotectónicas, así como sus características y distribución espacial (Massabie 1987, Kraemer *et al.* 1988, Wagner-Manslau 1988, Massabie 1993, 1996, Massabie y Slafsztein 1991, Martino *et al.* 1995, 2012, Massabie y Limarino 1996, Massabie *et al.* 1999, 2000, 2001, 2002, 2003a, 2003b, Costa 1996, 2009, 2010, Costa *et al.* 1999, 2000, 2001, 2006, Sagripanti *et al.* 2012, entre otros).

Por otra parte, los acontecimientos sísmicos que afectaron a la localidad de Sampacho y alrededores en 1934, reportados por Olsacher (1935), dieron lugar al análisis de las estructuras geológicas asociadas (Mingorance 1991, Sagripanti *et al.* 1998, 1999, 2001, 2005, 2011, Sagripanti 2006, Sagripanti y Villalba 2009, Villalba y Sagripanti 2012, entre otros). Mientras que fenómenos neotectónicos han sido asimismo reportados en la laguna Mar Chiquita y alrededores por Iriondo (1989), Kröhling e Iriondo (1999, 2003), Brunetto (2005, 2008), Brunetto e Iriondo (2007), Mon y Gutiérrez (2009) y Brunetto *et al.* (2010), y en el sureste de la Provincia de Córdoba por Pasotti (1974, 1975, 1987, 1991).

## MARCO GEOLÓGICO Y SISMOTECTÓNICO

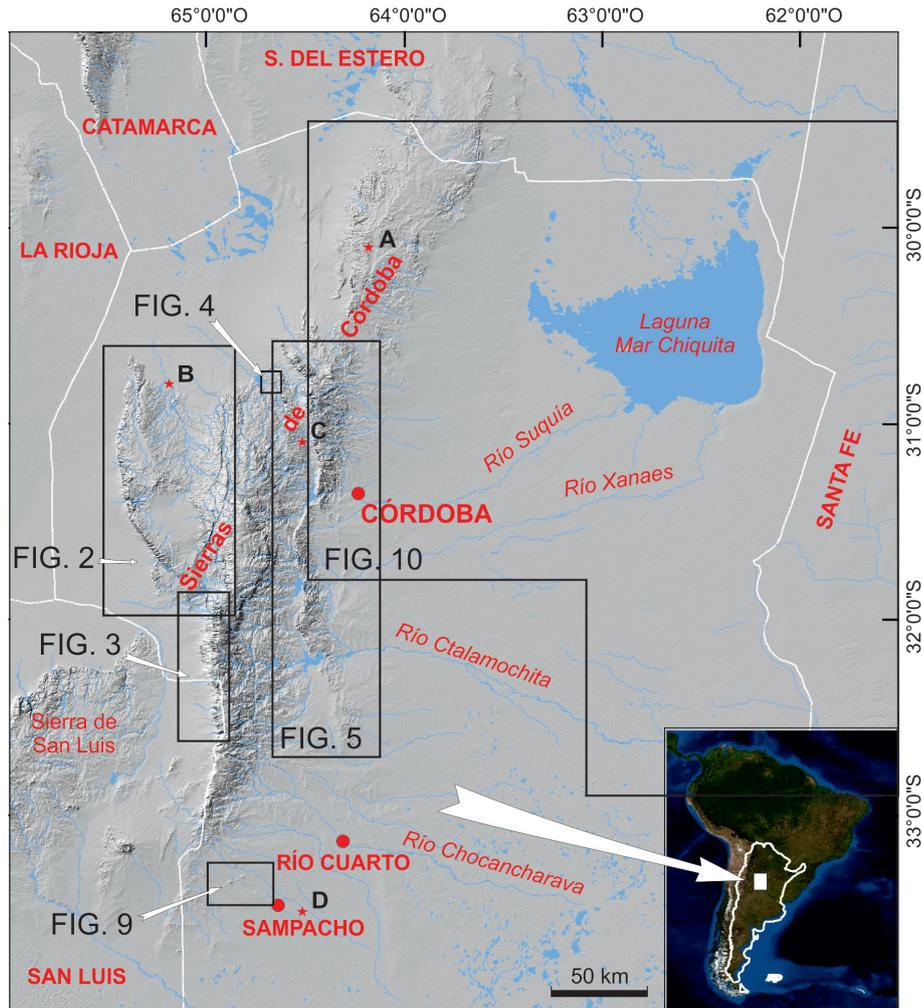
Las Sierras Pampeanas fueron consideradas por los pri-

meros estudios geológicos como una entidad geológica diferente del orógeno Andino, en cuanto su constitución y evolución. Sin embargo, las contribuciones de Jordan *et al.* (1983a, 1983b) y Jordan y Allmendinger (1986) reconocieron a las Sierras Pampeanas como una de los rasgos geológicos distintivos en superficie de la subducción subhorizontal de la placa de Nazca entre los 27° S y 33° S. Los últimos autores destacaron que aunque la definición geográfica de los Andes refiere solamente a las cordilleras occidentales del territorio argentino, la “zona orogénica Andina” incluye también desde el punto de vista geodinámico al antepaís fragmentado de las Sierras Pampeanas. Dichos conceptos proporcionaron un enfoque más propicio para comprender la ocurrencia de deformaciones neotectónicas en este tipo de contexto geológico. Se especula que la migración hacia el este del magmatismo, registrado principalmente en las sierras de San Luis y Córdoba (Kay *et al.* 1991, Kay y Abbruzzi 1996) y la propagación de la deformación en el antepaís andino durante los últimos 7–10 Ma (Yañez *et al.* 2001, Ramos *et al.* 2002), constituyen las principales causales del levantamiento neotectónico de los bloques serranos cordobeses (Ramos *et al.* 2002, Ramos 2009).

Las estructuras neotectónicas han reactivado en su mayoría discontinuidades heredadas de importantes eventos tectónicos anteriores, tales como el límite entre terrenos exóticos a Gondwana, estructuras de rift desarrolladas entre el Paleozoico superior y el Cretácico y planaridades propias de las fábricas del basamento cristalino (Schmidt *et al.* 1995, Ramos *et al.* 2002, Ramos 2009, Löbens *et al.* 2010, Martino *et al.* 2012). La importancia de estructuras preexistentes oblicuas y transversales a los cordones serranos en la distribución y características de las deformaciones neotectónicas, ha sido también destacada por Massabie (1987), Massabie *et al.* (2003) y Martino *et al.* (2012), entre otros.

Las Sierras de Córdoba constituyen los bloques pampeanos más orientales elevados sobre la llanura circundante (Fig. 1). La culminación hacia el este de dichos levantamientos parece coincidir con el sector donde se ha propuesto que la placa de Nazca cambia su angularidad y se hunde en el manto (Booker *et al.* 2004, Richardson *et al.* 2012).

La caracterización de la geometría subsuperficial de las estructuras en las que se ha concentrado la actividad neotectónica y el levantamiento de las Sierras de Córdoba, ha seguido usualmente las ideas de González Bonorino (1950). Este autor interpretó una la geometría lítrica para las fallas inversas marginales de los bloques serranos, para explicar la marcada asimetría topográfica que caracterizan a éstos. Las



**Figura 1:** Croquis de ubicación que abarca el centro-norte de la Provincia de Córdoba y en el que se indican (con referencia a las figuras respectivas) los sectores donde se han descrito las principales estructuras neotectónicas. Localización epicentral de los sismos de D. Funes-C. del Eje-Soto (A), Cruz del Eje (B), Villa Giardino (C) y Sampacho (D).

sierras están comúnmente marginadas en su flanco occidental por fallas inversas con inclinaciones variables entre  $30^\circ$  E y  $70^\circ$  E. Esta ladera serrana o escarpa de falla en sentido amplio, constituye el frente de levantamiento neotectónico de las sierras, concentrándose allí las principales manifestaciones de tectónica cuaternaria (Massabie 1987, Costa 1996, 2000, 2004, Fig. 1). No obstante, la geometría en subsuelo de estas estructuras es aún materia de especulación. Introcaso *et al.* (1987) interpretaron que estas fallas encontraban su superficie de despegue en la base de la corteza (33–34 km de profundidad). En cambio, Jordan y Allmendinger (1986) sugirieron que dichas estructuras eran asintóticas a la transición frágil-dúctil de la corteza (11–20 km de profundidad). Un resultado semejante fue obtenido por Murillo (1996) siguiendo la misma metodología en la sierra de Comechingones (10–16 km de profundidad). Otras interpretaciones han propiciado en cambio, la consideración de una geometría planar para estas estructuras (Martino *et al.* 1995). Estudios

de la sismicidad actual (Richardson *et al.* 2012), sugieren la existencia de una zona de despegue ubicada entre 15 y 25 km de profundidad.

Pese al predominio de estructuras contraccionales, la participación de la componente transcurrente en los movimientos neotectónicos puede reconocerse en las fallas de estos macizos pre-fracturados y en las estructuras oblicuas al eje de acortamiento regional, tal como fuera inicialmente sugerido por Massabie (1987). No obstante, su importancia en la deformación general de los bloques aún no ha podido ser adecuadamente cuantificada.

La sismicidad regional se caracteriza por presentar una distribución bimodal, distinguiéndose la sismicidad de interplaca localizada entre 90 km y 120 km y una sismicidad cortical distribuida en los 25 km más superficiales de la corteza (Alvarado *et al.* 2005, INPRES 2011, Richardson *et al.* 2012). La distribución en planta y en perfil de los registros sísmicos no muestra una correlación con la localización de

las fallas neotectónicas. Estudios recientes han sugerido la posible asociación de la sismicidad cortical con una estructura de vergencia oriental en el sector central de las Sierras de Córdoba, aunque no existen mayores precisiones sobre su posible manifestación en superficie (Richardson *et al.* 2012, 2013).

La sismicidad histórica registra la ocurrencia de sismos de magnitud  $M \leq 6,7$ , destacándose los eventos del 22/09/1908 en la zona de Dean Funes, Cruz del Eje y Soto ( $M$  6,5, IMM VII); 11/06/1934 en Sampacho ( $M$  6,0, IMM VIII); 16/01/1947 en Villa Giardino ( $M$  5,5, IMM VII) y 28/05/1955 en Cruz del Eje ( $M$  6,7) (Olsacher 1935, Lambert 1949, INPRES 2011). Excepto el terremoto de Sampacho, ningún evento histórico generó manifestaciones en el terreno de fenómenos primarios o secundarios asociados, ni permitió establecer la relación entre la localización de epicentros con una posible estructuras cuaternaria causativa con expresión morfológica.

## DISTRIBUCIÓN Y PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS DEFORMACIONES CUATERNARIAS

Las deformaciones neotectónicas han sido documentadas o sospechadas a lo largo de las estructuras marginales de los principales cordones serranos cordobeses y en la llanura adyacente. Pero la preservación de geoformas tectónicas primarias no es común en los frentes serranos limitados por fallas inversas, ya que su geometría es poco propicia para ello. En consecuencia, la identificación de estructuras cuaternarias mediante análisis del terreno resulta complicada o poco confiable, porque las tectoformas más recientes no están usualmente vinculadas a rasgos lineares prominentes o a escarpas bien preservadas.

El plano de falla principal está generalmente sepultado por taludes de detritos o por depósitos aluviales asociados a las quebradas serranas. Las escasas exposiciones de las zonas de deformación neotectónicas descritas hasta el presente, han sido generadas por labores antrópicas o mediante trincheras excavadas con tal fin. Asimismo las tasas de erosión y/o sedimentación son generalmente mayores que las tasas de movimiento de las fallas, lo que enmascara tanto la expresión morfológica del fallamiento cuaternario, como una correcta consideración del grado de actividad tectónica del mismo (Costa 1996, 2000).

Las deformaciones recientes no están localizadas por lo general en el quiebre topográfico principal de la escarpa serrana, sino que aparecen vinculadas a escarpas pedemonta-

nas de expresión más sutil. En muchos casos carecen incluso de morfología asociada u otras claves para su interpretación como geoformas de origen tectónico (Massabie y Szlafsztein 1991, Costa 1996, Costa *et al.* 1999, Costa 2000). El margen occidental de esta expresión neotectónica pedemontana (*piedmont foreland* o *foreberg*), corresponde a la posición del frente de fallamiento cuaternario asociado a corrimientos en el labio bajo del bloque serrano principal (*footwall shortcuts* o *down-to-the-basin thrusts*) que involucran por lo general al basamento cristalino (Costa 2000). Tal situación ha sido también descrita en contextos morfotectónicos similares (Ikeda 1983, Ishiyama *et al.* 2007).

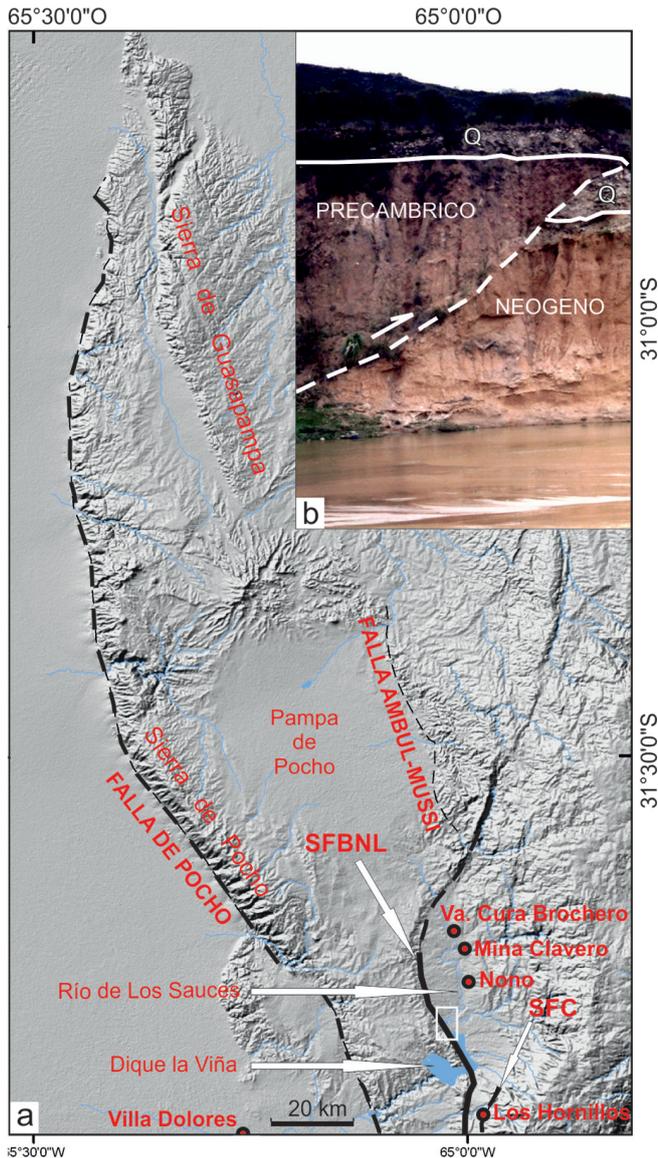
Las evidencias directas o indirectas de actividad neotectónica reportadas en los ambientes de llanuras circundantes, están asociadas a morfologías sutiles (excepto en la región de Sampacho) y a otros efectos, tales como anomalías del drenaje, pendientes anómalas, alteraciones locales en la disposición de planicies de agradación y erosivas (Pasotti 1974, 1975, 1987, 1991, Massabie 1996, Massabie *et al.* 2003a, 2003b, Degiovanni *et al.* 2005, Brunetto 2008, Brunetto *et al.* 2010).

## EVIDENCIAS DE ACTIVIDAD NEOTECTÓNICA

### Sistema de Fallas Villa Cura Brochero-Nono-Los Hornillos

Este sistema de fallas está conformado por la interacción de fracturas con orientación meridiana y noroeste, definiendo un notorio límite morfoestructural entre la Pampa de Pocho y el valle del río de Los Sauces y determinando un amplio arco cóncavo hacia el nacimiento (Fig. 2a). En la cuesta Cura Brochero, sobre la ruta provincial N° 15, Massabie (1996) describió brechas no cohesivas que correlacionó con estructuras similares presentes en los valles de Calamuchita, Los Reartes y Punilla e interpretó como evidencias indirectas de actividad cuaternaria en las mismas.

Más al sur, la mejor evidencia de actividad cuaternaria se expone en la falla Nono, sobre la barranca de la margen derecha del río Los Sauces, a unos 4 km al de la localidad de Nono (Moreno 1951, Kraemer *et al.* 1993) (Fig. 2b). Aquí, el basamento cristalino constituido por el Granito Achala, cabalga a las sedimentitas fluviales de la Formación Brochero u horizonte Brocherense (Mioceno Tardío-Plioceno Tardío) (Cruz *et al.* 2010), mediante una falla inversa de geometría lítrica a escala de afloramiento. La Formación Las Rabonas (Pleistoceno Medio-Tardío, según Kraemer *et al.* 1993), suprayace a ambas unidades. En sectores próximos a la superficie de falla, la estratificación del horizonte Brocherense



**Figura 2:** a) Ubicación del Sistema de Fallas Villa Cura Brochero-Nono-Los Hornillos (SFBNL), destacado por una escarpa topográfica con cara al este. La figura abarca a las sierras de Pocho, Guasapampa y a un sector de las Altas Cumbres de la Sierra Grande de Córdoba. También se indican las fallas de Pocho y la falla de Ambul-Mussi. Ver ubicación en la figura 1. b) Vista al noroeste de la exposición de la denominada falla de Nono en las proximidades de la localidad homónima (indicada por la flecha referente al SFBNL en la figura 2a).

adopta una disposición  $N 235^{\circ}/40^{\circ}$  NO por efecto de arrastre. La cinemática del fallamiento confirma un vector de desplazamiento oblicuo para esta estructura (Kraemer *et al.* 1993).

Al norte de Los Hornillos, en un perfil relevado en el frente de una cantera para materiales de préstamo ( $31^{\circ}52' 23,63''$  S –  $64^{\circ}58'43,90''$  O), Massabie (1996) describió un juego de fallas menores, que desplazan al basamento brechado, conformando bloques escalonados con rechazos submétricos. Esta deformación afecta al regolito edafizado y a horizontes de suelo, por lo que se ha supuesto una edad ho-

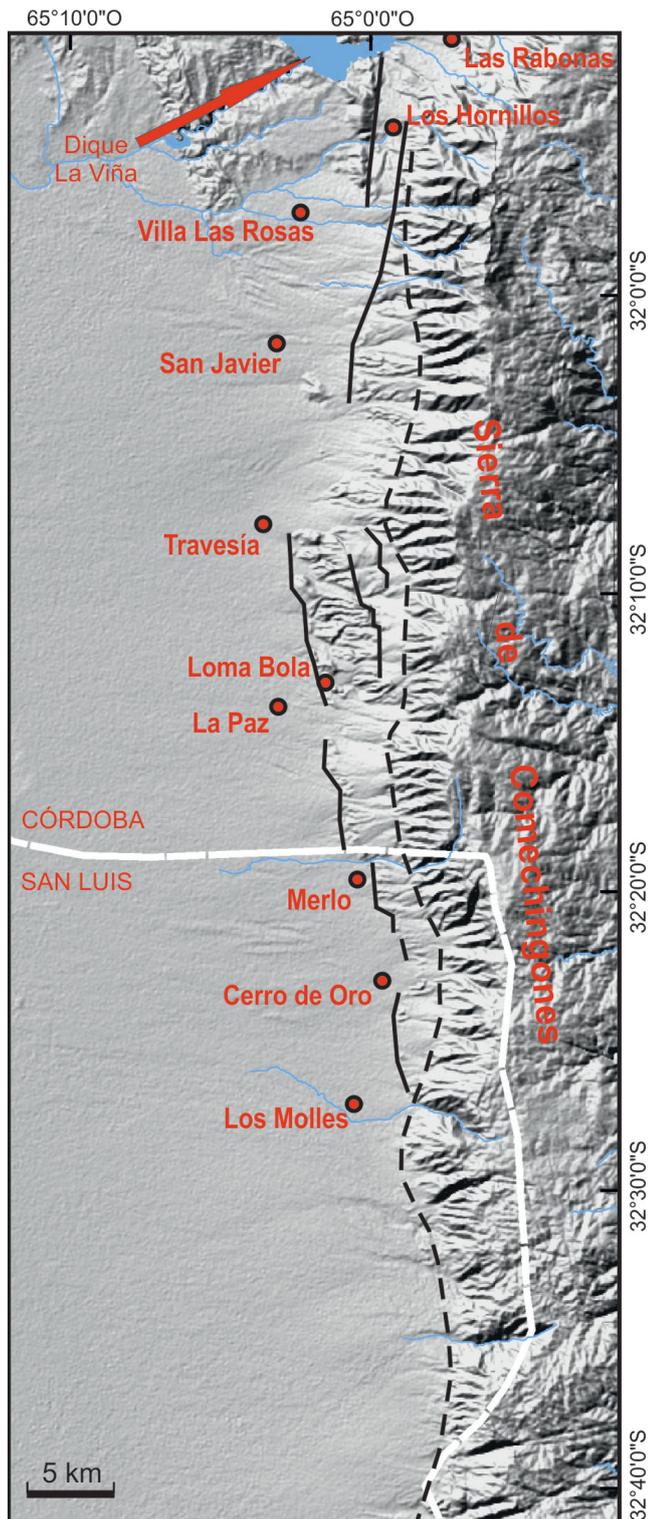
locena tardía para estos fenómenos. Las fracturas son sub-verticales con orientación  $N 40^{\circ}-90/75^{\circ}$  SE y en opinión de dicho autor responden a una cinemática transtensiva.

### Sistema de Fallas de Comechingones

El Sistema de Fallas de Comechingones constituye el frente de levantamiento andino de la sierra homónima (Fig. 3). Su trazo principal se presume localizado en la intersección de la ladera serrana con el piedemonte, aunque no se disponen de descripciones de afloramientos del mismo en la Provincia de Córdoba (Costa *et al.* 1998, 1999). Los rasgos morfotectónicos que permiten caracterizar al trazo del Sistema de Fallas Comechingones comienzan a reconocerse al sur de la latitud de  $31^{\circ}49'$  S (Nono-Las Rabonas) a lo largo de 160 km aproximadamente, hasta la localidad de La Punnilla en la Provincia de San Luis.

Esta estructura está caracterizada por diferentes secciones de fallas inversas, con una inclinación variable entre  $45^{\circ}$  E y  $55^{\circ}$  E (Costa *et al.* 1992, 1994, 1999, 2001, Costa y Morla 1996, Costa y Vita Finzi 1996, Murillo 1996) y su expresión en planta aparece controlada por la interacción de anisotropías previas con orientación dominante nornoroeste y fracturas oblicuas de mucha menor extensión y orientación noroeste y noreste. Esta situación determina un arreglo escalonado en planta (Costa y Morla 1996, Costa *et al.* 1998) (Fig. 3). Se distinguen el trazo principal o falla Comechingones, responsable de la morfogénesis serrana principal y otra estructura pedemontana asociada, de menor significación topográfica pero de mayor relevancia neotectónica, la que en la Provincia de San Luis ha sido denominada falla El Molino (Costa *et al.* 1988, Costa y Vita Finzi 1996, Murillo 1996, Costa *et al.* 1998, 2001, 2010, Costa 2010).

La disposición alineada de subafloramientos de basamento cristalino en el piedemonte asociada al trazo secundario del Sistema de Fallas Comechingones, corresponde a un *piedmont foreland* asociado a corrimientos en el labio bajo de la falla principal con idéntica geometría y cinemática que ésta (Costa *et al.* 1988, 2001, 2010, Murillo 1996). Su mejor expresión morfológica puede reconocerse desde la localidad de Travesía hasta algo más al sur de Cerro de Oro-Los Molles, en la Provincia de San Luis (Fig. 3, Costa *et al.* 1999). Esta morfoestructura es fácilmente reconocible en imágenes aéreas, pero resulta difícil analizar mayores detalles de sus rasgos neotectónicos, debido a las escasas exposiciones conocidas hasta el presente. Los bruscos cambios en la orientación de su trazo, sugieren que las fallas principales con orientación general submeridiana, han interactuado princi-



**Figura 3:** Sistema de Fallas Comechingones, donde se destaca con trazo continuo la ubicación de la escarpas asociadas al *piedmont foreland* en el ambiente pedemontano y el trazo principal de la falla Comechingones, cuya actividad cuaternaria es sospechada (con trazo discontinuo). Ver ubicación en la figura 1.

palmente con fracturas oblicuas de rumbos noroeste (al norte de la localidad de Merlo) y noreste (al sur de dicha latitud) (Costa y Morla 1996, Sequeiros 1999).

En función de los rasgos morfotectónicos que caracteri-

zan al ambiente del denominado *piedmont foreland*, Costa *et al.* (1999) distinguieron tres secciones al sur de Villa Las Rosas. En la sección Villa Las Rosas-Travesía el piedemonte está caracterizado por depósitos aluviales que cubren un basamento cristalino subyacente a escasa profundidad y del cual emergen “montes islas”. Las escarpas pedemontanas en esta sección son discontinuas y tienen pobre expresión morfológica, no habiéndose reconocido actividad neotectónica hasta el presente en las escarpas marginales. La sección Travesía-La Paz destaca el *piedmont foreland* basculado hasta  $10^\circ$  O y marginado a ambos lados por escarpas de falla con orientación paralela al frente principal. Dicha morfoestructura expone núcleos de basamento cristalino y sedimentitas continentales, con escasa cobertura de sedimentos aluviales. En Loma Bola (alrededores de La Paz) (Fig. 3) han sido reportadas exposiciones puntuales de fallas cuaternarias asociadas a la estructura marginal occidental del *piedmont foreland*. Se reconocen aquí depósitos psefíticos de aspecto fanglomerádico, cabalgados por el basamento cristalino a través de un plano de rumbo noroeste e inclinación promedio  $50^\circ$  E, con rechazo expuesto superior a 1,5 m (Sequeiros 1999).

Dentro de la citada sección, el Sistema de Fracturas de Puesto Flores (Costa *et al.* 1999, Sequeiros 1999) está constituido por fracturas subparalelas de rumbo submeridiano con escarpas rectilíneas, que marginan por el este a los subafloramientos pedemontanos del basamento cristalino. En función de estos atributos morfológicos, los citados autores han postulado una probable actividad cuaternaria para estas estructuras.

En la sección La Paz-Merlo, se encuentra la mejor exposición conocida hasta el presente de este sistema de fallamiento, localizada en la intersección de su trazo con el arroyo El Molino (Costa *et al.* 1992, 1994, Costa y Vita Finzi 1996, Murillo 1996, Costa 2010, Costa *et al.* 2010). Allí se reconoce una compleja estratigrafía asociada a la propagación de dos corrimientos con vergencias opuestas. La falla oriental (N  $350^\circ/45^\circ$  E) emplaza a rocas del basamento cristalino precámbrico sobre materiales detrítico-coluviales de pie de escarpa, mientras que el corrimiento occidental resulta en un pliegue por propagación de falla que deforma a depósitos de pendiente de lavado y fluvio-eólicos. La secuencia aflorante ha sido datada mediante técnicas de óptico-luminiscencia estimulada (OSL) y  $^{14}\text{C}$  (Costa 2010, Costa *et al.* 2010) obteniéndose edades comprendidas entre  $7,1 \pm 0,4$  ka y  $350 \pm 40$  BP. Estas exposiciones proveen evidencia de varias rupturas cosísmicas superficiales asociadas al desarrollo de

cuñas coluviales multi-evento y a cuñas de relleno. Costa *et al.* (2010) han sugerido una posible concentración (*clustering*) de la actividad sísmica y de terremotos corticales con ruptura asociada, durante al menos los últimos 7 ka, con una tasa de movimiento de  $\sim 1,13$  mm/a.

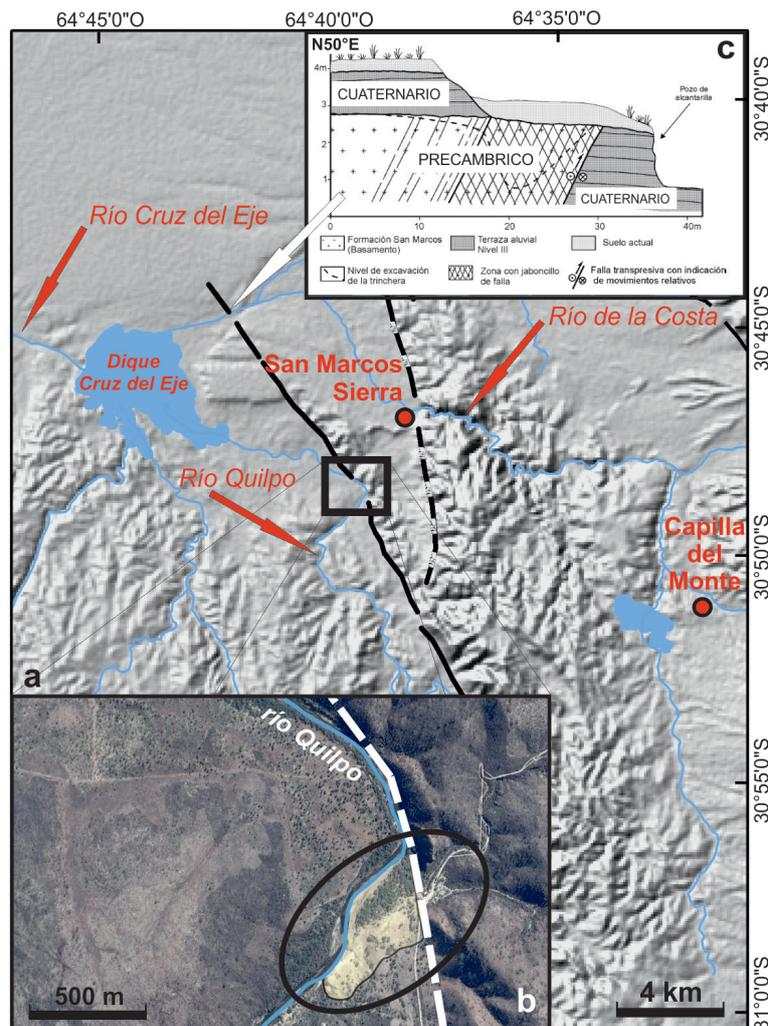
### Falla Sierra Baja de San Marcos

La Falla Sierra Baja de San Marcos es una falla inversa con componentes de desplazamiento oblicuo, de rumbo general noroeste y vergencia occidental, (Massabie 1976, 1982, 1987, Massabie *et al.* 1999, 2001, 2003a, 2003b, Fig. 4a).

Massabie (1975) ha inferido que los movimientos cuaternarios más antiguos de la falla Sierra Baja de San Marcos determinaron la desconexión casi total entre el avenamiento activo con nacientes en el cerro Uritorco y la red de drenaje existente al oeste del sistema serrano San Marcos-Cuniputo (Fig. 4a). Por tal razón, los principales cursos fluviales de

régimen permanente en la región de San Marcos Sierra-Cruz del Eje durante el Holoceno, fueron los ríos Quilpo y de la Costa. Los cambios en el nivel de base resultaron en la formación de diversos niveles de terrazas en la comarca del actual valle de San Marcos Sierra, hasta su confluencia en el río Cruz del Eje (actual Embalse Cruz del Eje) (Massabie *et al.* 2003a, 2003b).

Massabie (1976, 1982, 1987) reconoció un episodio posterior de movimientos cuaternarios, representado en el contacto tectónico entre el basamento cristalino y el denominado "Nivel II" de terrazas por dicho autor, en la escarpa occidental de la sierra (Fig. 4a). Esto habría derivado en el basculamiento hacia el naciente del "Nivel I" de terrazas, en el cual se preservan rasgos de un avenamiento desactivado. Con esta fase de movimientos neotectónicos se vincula también el endicamiento transitorio del río Quilpo (Massabie y Limarino 1996) asociado a la brusca inflexión de su cauce



**Figura 4:** a) Modelo de elevación digital del terreno donde se indica el trazo de la falla Sierra Baja de San Marcos y la brusca inflexión del río Quilpo. Ver ubicación en la figura 1. b) Depósitos de endicamiento asociados al curso del río Quilpo, reconocidos por las tonalidades claras (dentro de círculo negro). Imagen obtenida de Google Earth correspondiente al rectángulo de contorno negro de la figura 4a. c) Esquema de la trinchera efectuada por Massabie *et al.* (2002).

(Figs. 4a y 4b), cuya posible edad ha sido estimada en 4 ka BP por Massabie *et al.* (2001) y Massabie *et al.* (2003a, 2003b). Esta inferencia se basa en una estimación de 1,5 ka requeridos para la acumulación de la potencia de los depósitos fluviales y límnicos que yacen entre el basamento y el estrato portador de las conchillas datadas por  $^{14}\text{C}$  en  $2.560 \pm 120$  BP, en el sector de endicamiento (Fig. 4b).

El otro episodio de movimientos cuaternarios más reciente, está representado por el contacto tectónico entre el basamento cristalino y el “Nivel III” de terrazas definido por Massabie *et al.* (2003b), en el que se reconocieron movimientos en el Holoceno superior con cinemática transpresiva. Dichas observaciones fueron realizadas en una trinchera efectuada al noroeste del sector de endicamiento del río Quilpo (Fig. 4c), lo cual ha permitido también a dichos autores reconocer la continuidad de esta estructura.

### Sistema de Fallas de la Sierra Chica

El Sistema de Fallas de la Sierra Chica es la estructura neotectónica de mayor significación regional en la Provincia de Córdoba y se localiza en la escarpa occidental de la sierra homónima. Este accidente topográfico presenta una morfología bien impuesta en el relieve desde la ladera occidental del cerro Uritorco al norte, perdiendo paulatinamente amplitud al sur de Embalse Río Tercero. Sagripanti *et al.* (2012) han sugerido que el Sistema de Fallas de la Sierra Chica se extiende en la llanura periserrana hasta las inmediaciones del arroyo Tegua (Fig. 5).

El Sistema de Fallas de la Sierra Chica ha recibido diversos nombres locales, principalmente en los sitios donde han sido reportadas evidencias de deformaciones cuaternarias en exposiciones puntuales y aisladas. Como otras estructuras neotectónicas pampeanas, este sistema se caracteriza por una zona de falla principal, responsable de la morfogénesis serrana y por otras fallas generalmente de menor ángulo y actividad más reciente, asociadas a un *piedmont foreland*, usualmente sin rasgos morfológicos diagnósticos en el terreno (Costa 2000). En la figura 5 solo se ha indicado esquemáticamente el trazo principal interpretado para el Sistema de Fallas de la Sierra Chica. El trazo de la falla que margina al *piedmont foreland* es solo conocido en escasas exposiciones puntuales y su discriminación cartográfica es aún incierta, por carecer de morfologías diagnósticas asociadas.

El Sistema de Fallas de la Sierra Chica presenta diversas heterogeneidades geométricas y muy posiblemente también cinemáticas. Su geometría en planta aparece dominada por trazos cóncavos al este, separados por secciones rectas de

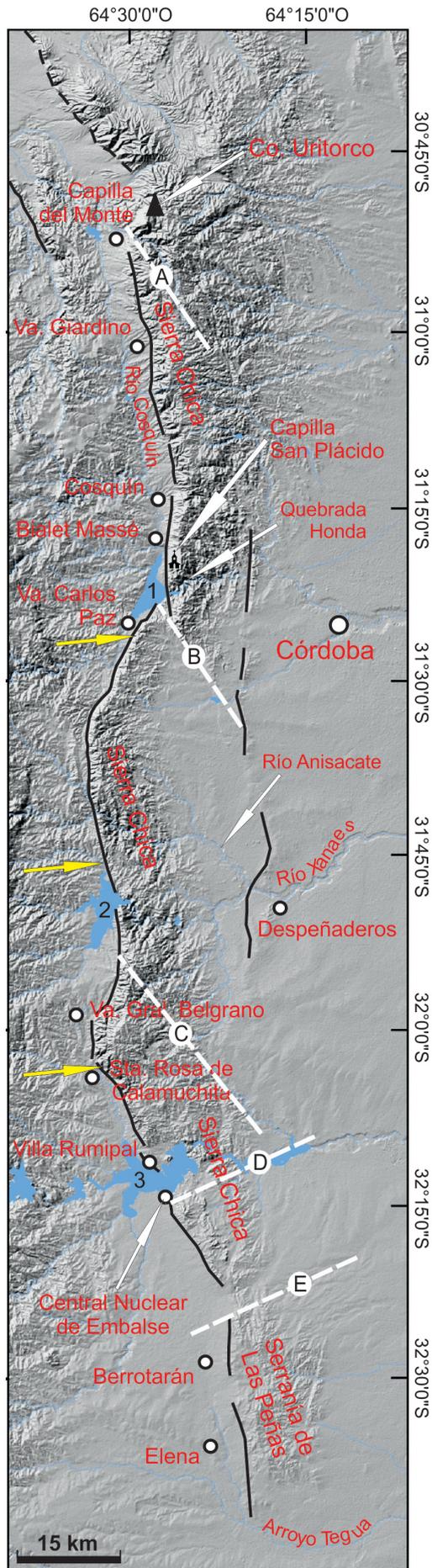
orientación submeridiana. La vinculación del acortamiento neógeno de este sistema de fallas con estructuras oblicuas a la sierra ha sido propuesta en varias contribuciones (Massabie 1987, Massabie *et al.* 1999, Martino *et al.* 2012), aunque la actividad neotectónica de las mismas (lineamientos Carapé, Cañada Honda, Soconcho, etc.) no ha sido fehacientemente documentada hasta el presente (Fig. 5).

La ladera occidental de la Sierra Chica corresponde a una escarpa de falla que presenta importantes variaciones en el desnivel topográfico definido a ambos labios de la falla principal, llegando incluso a obliterarse totalmente como rasgo morfológico (Fig. 5). Tal configuración es consistente con la geometría de pilares puente sugerida por Cuerda (1973). En función de la continuidad e imposición en la topografía de la escarpa serrana, pueden individualizarse de norte a sur cuatro unidades morfoestructurales. Las mismas se distinguen entre Cerro Uritorco-Quebrada Honda; Quebrada Honda-Embalse Los Molinos; Embalse Los Molinos-Embalse Río Tercero y el sector al sur de Embalse Río Tercero, definido por la serranía baja de Las Peñas y cerrilladas periserranas en las inmediaciones de Elena-Berrotarán.

Para la descripción de las evidencias neotectónicas reportadas hasta el presente, se han discriminado a su vez ocho secciones a lo largo de las citadas unidades morfoestructurales mayores. El concepto descriptivo de “sección”, se utiliza aquí para identificar sectores con características geométricas y morfológicas relativamente homogéneas (Costa *et al.* 2000). Dichas secciones se nombran en función de los sitios o localidades donde han sido reportadas las evidencias de actividad neotectónica más conspicuas. Pero ello no implica establecer relaciones entre las mismas respecto a su cinemática, historia de deformación o contemporaneidad de eventos de ruptura, ya que la complejidad geométrico-cinemática neógena del Sistema de Fallas de la Sierra Chica, es aún solo conocida en sus aspectos más generales.

**Sección Villa Giardino:** Esta sección se extiende desde Capilla del Monte hasta Cosquín y corresponde a un tramo de orientación general NNO de la escarpa serrana (Fig. 5).

La evidencia más septentrional de fallamiento cuaternario puede observarse a la vera del camino de acceso al Complejo Agua de Los Palos, 2,5 km al sureste de Capilla del Monte, donde el basamento cristalino con importante degradación cataclástica monta a un depósito fanglomerádico atribuible a depósitos pedemontanos (Pleistoceno Superior?). No obstante, el mal estado de las unidades afectadas, ha impedido realizar descripciones más precisas (Costa y Ninci 2003).



En adyacencias del cementerio de Villa Giardino (Fig. 5), Massabie *et al.* (2005) describieron superficies de falla asociadas a un corrimiento propagante en depósitos fanalómicos cuaternarios. Éste presenta una inclinación promedio inferior a  $30^\circ$  E, con un rechazo vertical aproximado de 2 m.

**Sección Cosquín:** La orientación meridional de la escarpa serrana distingue principalmente a esta sección que se extiende entre la localidad homónima y la quebrada Honda por el norte y sur respectivamente.

En este sector fueron descritas las primeras evidencias de tectónica cuaternaria en el valle de Punilla, complementadas por datos de perforaciones (Lencinas y Timonieri 1968, Lucero 1969). Dichos autores describieron estructuras imbricadas en el labio bajo de la falla principal de la Sierra Chica, que involucraban a los contactos de las formaciones neógenas y a depósitos cuaternarios. Estas estructuras corresponden a fallas inversas de bajo ángulo con inclinaciones al este (Kraemer *et al.* 1988, 1995) y con modificaciones angulares locales debidas al apilamiento de una cuña bajo-corrida (Kraemer y Martino 1993, Martino *et al.* 2012).

Al este del río Cosquín y de Biolet Massé, en cercanías de la capilla San Plácido, Massabie *et al.* (2006) estudiaron afloramientos cuaternarios deformados por fallamiento y plegamiento asimétrico de vergencia occidental. Las edades  $^{14}\text{C}$  obtenidas en estas sedimentitas permiten acotar una edad Pleistoceno Superior-Holoceno Inferior para la actividad del trazo del Sistema de Fallas de la Sierra Chica, aquí denominado falla San Plácido. Massabie *et al.* (2006) también postularon la ocurrencia de reactivaciones posteriores de menor magnitud, registradas en flexuras de los depósitos atribuidos por dichos autores al "Nivel de terraza Q II".

**Sección Villa Carlos Paz:** Esta sección muestra una escarpa con diseño general lobulado y orientación general noreste. Representa una de las cuatro unidades morfoestructurales de la Sierra Chica (Embalse San Roque-Embalse Los Molinos), mencionadas precedentemente.

Massabie y Szlafsztain (1991) reportaron la primer evidencia de fallamiento cuaternario en el predio del cemente-

**Figura 5:** Esquema general del trazo del Sistema de Fallas de la Sierra Chica. Se representan también a la falla de la Sierra Baja de San Marcos (arriba izquierda) y a la falla Elevación Pampeana, en el margen oriental serrano. 1. Embalse San Roque, 2. Embalse Los Molinos, 3. Embalse Río Tercero. Lineamientos Carapé (A), Quebrada Honda (B), Soconcho (C), Calamuchita (D) y Los Cóndores (E). Las flechas amarillas indican de norte a sur las exposiciones ilustradas en las figuras 6, 7 y 8. Ver ubicación general en la figura 1.

rio de la ciudad de Villa Carlos Paz, aunque las exposiciones más relevantes se exponen en una cantera en las inmediaciones del mismo (Fig. 6a, Costa 2009, 2010, Martino *et al.* 2012, Richardson *et al.* 2013). Allí puede observarse el afloramiento más completo del Sistema de Fallas de la Sierra Chica sin morfologías diagnósticas asociadas (Fig. 6b). Su trazo difiere del quiebre topográfico principal de la escarpa serrana, a lo largo del cual no se han podido constatar deformaciones cuaternarias, al menos con una tasa de movimiento superior a la de los procesos exógenos que predominan actualmente en el piedemonte serrano (Costa 2010). Dicho autor distinguió cuatro unidades sedimentarias subhorizontales en el labio bajo, sin perturbación de su geometría, excepto en una zona de 10-30 cm paralela a la superficie de corrimiento. Estas unidades corresponden a sedimentos loessoides con variable participación de gravas y arenas fluviales, cuyas edades (OSL) varían desde  $57,9 \pm 3,6$  ka hasta  $\geq 70$  ka (Owen 2009, en Costa 2010).

La zona de deformación cuaternaria muestra aquí una superficie con inclinación variable entre  $10^\circ$  E a  $20^\circ$  E ( $12^\circ$  E promedio) y un rechazo aparente del basamento cristalino sobre las unidades cuaternarias de 45,80 m (Costa 2010). Dado que el basamento cristalino no se encuentra expuesto en el labio bajo, se considera a dicho rechazo como un valor mínimo. Este sitio constituye el afloramiento con mayor desplazamiento cuaternario reportado hasta el presente en las Sierras Pampeanas.

**Sección Potrero de Garay:** Su límite septentrional se localiza en inmediaciones del cauce del río Anisacate, a partir de donde la amplitud o desnivel asociado a la escarpa de la Sierra Chica disminuye sustancialmente al sur. Las deformaciones cuaternarias no presentan macromorfologías asociadas a su trazo (Costa 2000, Costa *et al.* 2001) y por lo tanto la localización y carteo del trazo del Sistema de Fallas de la Sierra Chica es dificultosa.

En este sector fueron reportadas por primera vez deformaciones cuaternarias en el Sistema de Fallas de la Sierra Chica por Schlagintweit (1954) y Castellanos (1956), en un sector luego cubierto por el embalse Los Molinos. Dichos autores coincidieron en la existencia de este rasgo tectónico, aunque polemizaron sobre su edad y características. Un sector de esta estructura se expone ocasionalmente cuando las cotas del embalse son muy bajas en el margen oriental del mismo (Massabie y Szlafsztain 1991, Massabie *et al.* 2002).

La exposición mejor estudiada está localizada en un camino vecinal (Figs. 5 y 7, Massabie y Szlafsztain 1991, Szlafsztain 1991, Costa *et al.* 2001, Costa 2010). Allí, gneises del basamento cristalino montan a depósitos loessoides y fluviales arenosos. La superficie de corrimiento presenta una orientación variable entre  $N 332^\circ - N 290^\circ$  con inclinaciones comprendidas entre  $30^\circ$  NE y  $60^\circ$  NE, tanto en el corte expuesto en el camino como en excavaciones adyacentes. El ángulo de buzamiento de la superficie de falla disminuye hasta  $10^\circ - 15^\circ$  NE e incluso  $0^\circ$  en cercanías del contacto con



**Figura 6:** a) Vista hacia el sur de la expresión pedemontana del plano del Sistema de Fallas de la Sierra Chica (indicado por flechas), montando a depósitos pleistocenos en cercanías del cementerio de la ciudad de Villa Carlos Paz ( $31^\circ 26' 42,9''$  S -  $64^\circ 30' 00,1''$  O). El círculo indica a una persona como escala. b) Intersección del plano de falla con la superficie topográfica, donde se observa la ausencia de una escarpa u otro tipo de impronta morfológica asociada a esta estructura. Ver ubicación en la figura 5.

el suelo actual. El desplazamiento expuesto alcanza a 6,30 m representando el valor mínimo del movimiento cuaternario acumulado en este sector (Costa 2010).

En el labio bajo se reconocen sedimentos fluviales arenosos, interestratificados con depósitos pelíticos presumiblemente asociados a desbordes fluviales, con edades comprendidas en el Pleistoceno superior ( $57,5 \pm 3,8$  ka y  $> 65,4 \pm 12,2$  ka) (Owen 2009 en Costa 2010). Estas capas tienen una disposición subhorizontal, aunque pueden reconocerse evidencias de arrastre tectónico en un sector de aproximadamente 1m desde la zona de contacto (Fig. 7). Costa *et al.* (2001) y Costa (2010) interpretaron la existencia de al menos tres eventos de ruptura cosísmica durante el Pleistoceno superior en la estratigrafía preservada.

La disposición oblicua de esta sección respecto al trazo principal del Sistema de Fallas de la Sierra Chica, sugiere que la participación de la componente transcurrente en los movimientos neotectónicos debe haber tenido importante participación en el rechazo total, aunque la misma no ha podido aún ser cuantificada.

**Sección Villa General Belgrano:** Esta sección se extiende desde el embalse Los Molinos con un trazo general cóncavo hacia el oeste hasta Villa General Belgrano, donde un tramo rectilíneo con orientación norte define una “saliente” en el

trazo de esta estructura (Martino *et al.* 2012). Castellanos (1956) observó la zona de cizalla principal del Sistema de Fallas de la Sierra Chica en las proximidades del centro urbano del dique Los Molinos, indicando una inclinación de  $35^\circ$  E. Dicho autor refiere un “alero” de gneis en el labio elevado, montando a “*estratos postpampeanos y más aún de Pampeano*” en el labio hundido. Pero curiosamente no asignó esta peculiar disposición a un fenómeno tectónico. En función de esta descripción, es posible suponer la existencia de actividad cuaternaria en este sector también para la zona de cizalla principal del Sistema de Fallas de la Sierra Chica.

Sobre la ruta provincial N° 5 en Villa General Belgrano ( $31^\circ 58' 39,9''$  S –  $64^\circ 32' 51,4''$  O), se expone el basamento cristalino con notoria degradación mecánica montando a sedimentos psefíticos de color marrón-grisáceo y procedencia mayoritariamente coluvial (Costa 2000, 2009). El rechazo expuesto aquí es de 6,30 m y el contacto tectónico se destaca por un cinturón de arcillas rojizas de 20 cm promedio de espesor en la zona de falla. La angularidad del plano varía de  $30^\circ$  E en la base del afloramiento hasta  $0^\circ$  en la sección superior e incluso llega a invertirse con inclinaciones al oeste, debido a fenómenos de reptación de pendiente (Costa 2009).

Una exposición similar se encuentra 2 km al sur, a la vera de la misma ruta, en el acceso a una cantera de áridos y en un terreno aldeaño (Costa 2009, 2010). La actitud espacial



**Figura 7:** Vista hacia el norte de la exposición rectificada en un corte vial del plano de falla (indicado con flechas) del Sistema de Fallas de la Sierra Chica, en la sección Potrero de Garay ( $32^\circ 21' 30,75''$  S -  $64^\circ 58' 57,77''$  O). El basamento cristalino constituido por gneises y aplo-pegmatitas con importante desagregación mecánica deforma a depósitos del Pleistoceno superior. Se reconocen allí unidades arenosas fluviales y depósitos con predominio de limos de disposición subhorizontal y perturbados por arrastre en la zona de deformación. No se observa expresión topográfica directa asociada a esta deformación cuaternaria. Modificado de Costa (2010). Ver ubicación en la figura 5.

promedio del corrimiento presenta un rumbo de N 342° y una inclinación variable del piso a la parte superior del afloramiento entre 30° E y 18° E. Fuera de la zona de deformación, el basamento cristalino está compuesto por gneises, migmatitas y diques granitoides de colores pardo grisáceos. En la zona de deformación, esta litología presenta una notable alteración mecánica y foliación cataclástica. Los materiales sobrecorridos corresponden a materiales coluviales marrones sobreyaciendo a depósitos limosos de aspecto loessoides, permeados por carbonatos de colores marrón claro a rosados. Las unidades sobrecorridas asignadas al Cuaternario, se encuentran postdatadas por una capa de depósitos de ladera de potencia menor al metro. Estas exposiciones permiten reconocer un rechazo expuesto en los depósitos cuaternarios comprendido entre 6–8 m a la fecha de realización de las observaciones (Costa 2009, 2010).

**Sección Santa Rosa de Calamuchita:** Entre las localidades de Santa Rosa de Calamuchita y Villa Rumipal, la escarpa serrana muestra un trazo general rectilíneo con orientación nor-noroeste. Frente a la intersección de la ruta provincial N° 5 con uno de los accesos a Santa Rosa de Calamuchita, un corte artificial expone al basamento cristalino montando a depósitos asignados al Plioceno (Massabie 1987, Wagner-Manslau 1988, Kraemer *et al.* 1988, Massabie y Szlafsztein 1991, Costa *et al.* 2001, Martino *et al.* 2012, entre otros, Fig. 8). La actitud del corrimiento en este afloramiento presenta

un rumbo concordante con la orientación general de la escarpa (N 340°) e inclinaciones que fluctúan entre 40° E en la parte inferior del afloramiento hasta 27° E en la parte superior. El bloque colgante exhibe gneises con degradación cataclástica acentuada hacia la zona de falla, la que también aparece demarcada por arcillas rojo-verdosas con planaridad paralela al contacto tectónico. Los sedimentos sobrecorridos corresponden a fanglomerados de colores pardo-amari-llentos y una grosera estratificación que permite reconocer su yacencia subhorizontal. La geometría deposicional se preserva inclusive en cercanías de la zona de deformación, donde las modificaciones de su fábrica están insinuadas por clastos rotados, imbricados y también con disposición del eje máximo de los mismos en forma paralela o subparalela a la superficie de falla. Este afloramiento expone un rechazo aparente de 13,5 m (Costa *et al.* 2001).

**Sección Las Peñas:** Al sur de la Central Nuclear de Embalse, la amplitud de la escarpa de la Sierra Chica disminuye notoriamente y el trazo del Sistema de Fallas de la Sierra Chica se ramifica en planta, desapareciendo la linearidad del frente serrano. Según Sagripanti *et al.* (2012), la sección Las Peñas del Sistema de Fallas de la Sierra Chica se extiende desde el lineamiento Los Cóndores al Norte, hasta el arroyo Tegua al Sur, con actitud espacial promedio de N 350°/36° E (Fig. 5) y posee un movimiento inverso con componente sinistral. La longitud de su traza alcanza 37 km, aunque dichos autores



**Figura 8:** Vista hacia el sur de la exposición más conocida del Sistema de Fallas de la Sierra Chica, en un corte vial frente a la localidad de Santa Rosa de Calamuchita (32°03'35,63" S - 64°32'19,48" O). El basamento cristalino de coloración oscura sobrecorre a depósitos pefíticos de edad presumiblemente pliocena y disposición subhorizontal. Véase el cartel vial del extremo derecho de la fotografía como escala. Ver ubicación en la figura 5.

consideran que la misma continúa al sur del arroyo Tegua en la llanura periserrana.

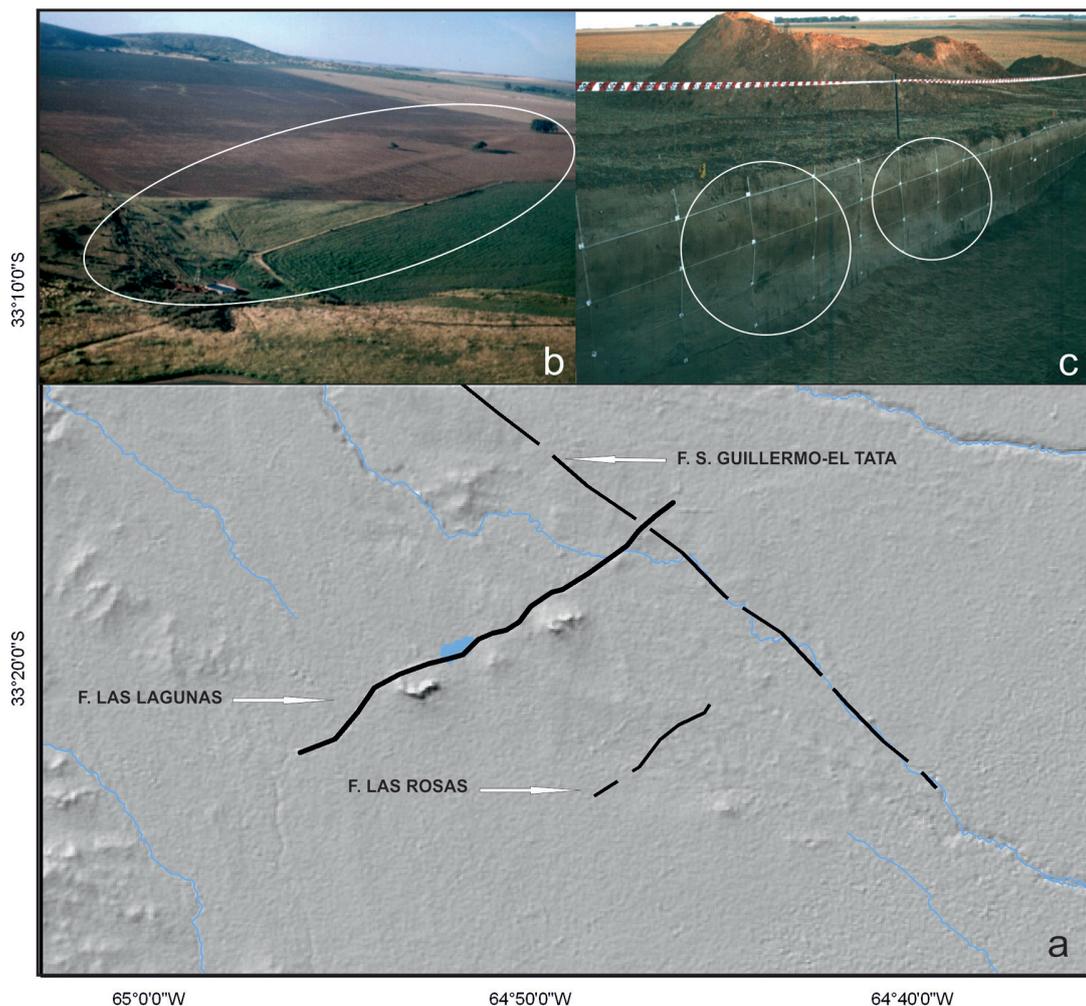
La morfología superficial asociada que presenta, corresponde a pequeñas escarpas desarrolladas en sedimentos holocenos, que miran al oeste y cuyas alturas varían entre 0,30 m y 0,90 m (Gallo 2011, Sagripanti *et al.* 2012). Los últimos autores interpretaron la ocurrencia de pliegues con vergencia al oeste y fallas afectando a sedimentos finos (Pleistoceno Superior y Holoceno Superior) de origen lagunar, eólico y fluvial. Dichas contribuciones han estimado asimismo una componente vertical del desplazamiento cosísmico de 0,35 m y una posible longitud de ruptura holocena de 17,6 km en función de lo que estimaron magnitudes  $M_s$  6,7 y  $M_w$  6,8 para ese posible paleoevento.

### Falla Las Lagunas

Esta falla expone evidencias de deformaciones neotec-

tónicas en el terreno por una longitud de 34 km, con un rumbo variable entre N 37°–N 55° (Fig. 9a) (Sagripanti *et al.* 1999, Costa *et al.* 2001, Sagripanti 2006, Villalba 2011, Sagripanti *et al.* 2011), aunque se ha estimado que su longitud total podría superar los 60 km (Sagripanti 2006, Seitz 2009, Sagripanti *et al.* 2011). La falla Las Lagunas es el rasgo neotectónico más importante del sur de Córdoba. Manifiesta una sostenida actividad sísmica moderada a leve, normalmente de magnitud  $M \leq 3,0$ , aunque se han registrado sismos de  $M \geq 4,0$ . El episodio sísmico histórico más relevante asignado a esta estructura es el denominado “Gran Terremoto de Sampacho” del año 1934  $M$  6,0 (Olsacher 1935, Sagripanti y Villalba 2009, Sagripanti *et al.* 2011).

Desde el año 2003 se han realizado repetidas mediciones de precisión sobre un polígono geodésico emplazado sobre la falla Las Lagunas. Sagripanti y Villalba (2011) y Villalba (2011) han reportado movimientos con componente dextral



**Figura 9:** a) Localización de la falla Las Lagunas destacada por la alineación de cuerpos de agua. Ver ubicación en la figura 1. b) Vista aérea oblicua tomada hacia el sureste, donde puede reconocerse la preservación de escarpas rectilíneas, pese al laboreo agrícola (Sagripanti 2006). c) Vista mirando al suroeste de la pared de una trinchera excavada sobre la falla Las Lagunas, donde la disposición espacial de las unidades de color oscuro (círculos blancos) sugieren la existencia de deformaciones monoclinales asociadas a fallas propagantes.

del orden de 0,20 mm/a, con errores de  $\pm 0,05$  milímetros. Una medición sobresaliente, en términos de movimiento, es la que se realizó con posterioridad al terremoto  $M_w$  8,8 de Maule, Chile (2010), donde el desplazamiento medido fue de 37 mm con componente sinistral.

La expresión morfológica dominante corresponde a una escarpa compuesta rectilínea con cara al noroeste que se desarrolla en depósitos loessoides holocenos (Fm Laguna Oscura, 6.000–4.000 ka) (Fig. 9b), con una amplitud que alcanza hasta 8 m de altura en algunas de sus secciones. Asociadas a la escarpa principal se reconocen pequeñas escarpas de  $\geq 0,30$  m de altura, que persisten a pesar de la importante actividad antrópica y de la erosión eólica y fluvial. Este rasgo sugeriría un control activo de la falla sobre la morfología (Villalba 2011, Sagripanti *et al.* 2011, Villalba y Sagripanti 2012).

Estudios paleosismológicos han permitido interpretar deformaciones en el Holoceno tardío, asociadas a mesoestructuras de licuefacción (dúctiles y frágiles). Dichas deformaciones están concentradas en sedimentos finos lagunares, limos loésicos y arenas finas de origen fluvial, destacándose diques clásticos, volcanes y cráteres de arena, pliegues, grietas de tensión, además de planos de falla de origen cosísmico (Fig. 9c, Sagripanti 2006, Sagripanti *et al.* 2011).

Sagripanti *et al.* (1999), Sagripanti (2006) y Sagripanti *et al.* (2011) han estimado para esta estructura una tasa de movimiento de 0,25 mm/a, con períodos de recurrencia de terremotos con deformación superficial asociada durante los últimos 6 ka–4 ka de alrededor de 1,2 ka. La componente cosísmica vertical promedio estimada es de 0,30 m y la longitud unitaria de ruptura holocena de 34 kilómetros. En función de lo anterior, dichos autores han interpretado posibles magnitudes de  $M_s$  6,6 y  $M_w$  6,6 para los paleoterremotos identificados en las trincheras, estimando que para futuros eventos, las mismas podrían ser de  $M_s \geq 7,0$  y  $M_w \geq 7,0$ .

La presencia de rupturas cosísmicas primarias postuladas por Mingorance (1991) durante el terremoto de 1934 no han podido ser corroboradas por estudios posteriores en el sitio propuesto por dicho autor (Sagripanti *et al.* 2011). No obstante Sagripanti *et al.* (2011) y Villalba y Sagripanti (2012) han sugerido la presencia de rupturas asociadas con el referido terremoto en otros sectores de la falla Las Lagunas (Fig. 9c).

La falla Las Rosas es una estructura con disposición paralela a la falla Las Lagunas localizada al SE de la misma (Fig. 9a), cuyo trazo se destaca por un desnivel topográfico donde en el sector deprimido se concentran humedales alineados correspondientes a las nacientes del arroyo Sam-

pacho. Se ha interpretado que esta estructura podría afectar a la Fm Pampeano (Sagripanti 2006, Villalba 2011).

### Sistema de Fallas Tostado-Selva

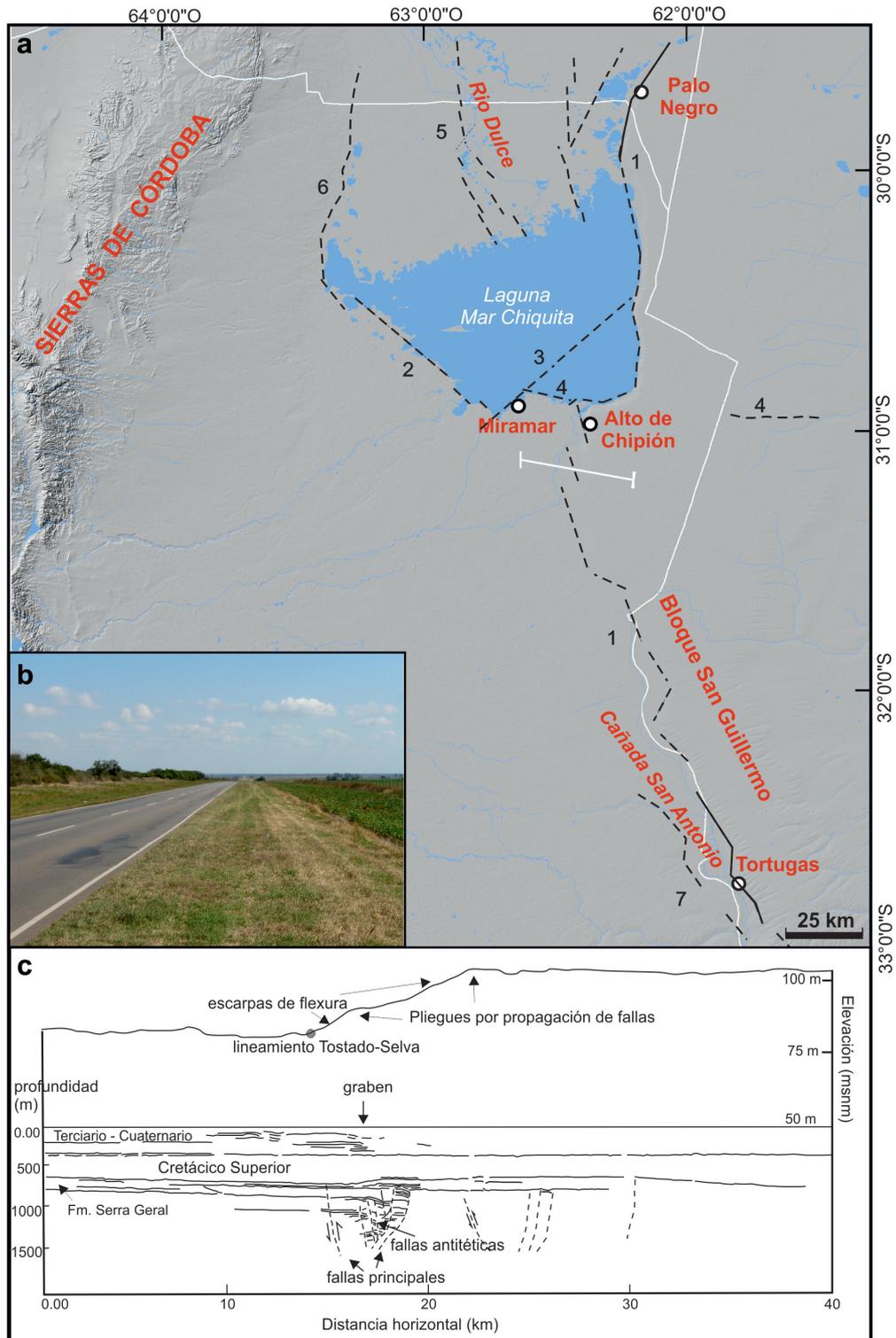
Los principales rasgos morfológicos que han permitido identificar evidencias indirectas de deformaciones neotectónicas en la llanura pampeana de Córdoba, corresponden a las escarpas rectilíneas del Sistema de Fallas Tostado-Selva (Pasotti y Castellanos 1963, Pasotti, 1975, Iriondo 1989, Kröhling e Iriondo 2003, Brunetto *et al.* 2010). Este sistema de orientación general meridiana está formado por segmentos de 10–30 km de longitud y puede reconocerse a lo largo de 400 km, conformando el margen occidental del bloque San Guillermo (Kröhling e Iriondo 2003, Fig. 10a).

Las deformaciones neotectónicas atribuidas a la actividad cuaternaria del SFTS han sido vinculadas con suaves flexuras monoclinales en superficie, reveladas por las pendientes anómalas del terreno cuyas longitudes de onda oscilan entre 3–5 kilómetros (Figs. 10b y 10c). Brunetto (2008), Brunetto *et al.* (2010) y Brunetto y Giménez (2012) interpretaron a dichas escarpas como la expresión en superficie resultante de la propagación de fallas inversas. Una visión diferente respecto a la cinemática de estas estructuras fue propuesta por Dávila *et al.* (2010), para quienes el área elevada del bloque de San Guillermo es el resultado del movimiento de fallas normales, debido a la flexura litosférica generada por la carga tectónica de la Sierras Pampeanas Orientales.

Brunetto (2008), Kemp *et al.* (2004) y Brunetto *et al.* (2010), han descrito la presencia de depósitos de paleolagunas temporarias y paleo-suelos hidromórficos, emplazados actualmente sobre las pendientes anómalas de las escarpas de flexura vinculadas con el Sistema de Fallas Tostado-Selva, con edades OSL que oscilan entre 70 ka y 178 ka. Según Brunetto (2008), ello indica una modificación posterior del paisaje por acción tectónica y también sugiere las edades máximas de dichos acontecimientos. Sobre estos depósitos, que corresponden a relieves originalmente planos o deprimidos, se apoya el loess de la Formación Tezanos Pinto en discordancia erosiva, definiendo un hiato de 30–150 ka entre ambas unidades (Brunetto *et al.* 2010).

Se ha estimado para el Pleistoceno tardío (~100 ka) una componente vertical de la tasa de movimiento en dos segmentos de esta estructura variable entre 0,14–0,20 mm/a (Brunetto 2008 y Brunetto *et al.* 2010) y una tasa de acortamiento de 0,11 mm/a (Brunetto 2013),

En la barranca de la Lagunilla del Plata ubicada al sur de la laguna Mar Chiquita, han sido descritos sedimentos



**Figura 10:** a) Modelo de elevación digital del terreno donde se destacan las estructuras reconocidas en el área de la laguna Mar Chiquita y noreste de Córdoba: 1. Sistema de fallas Tostado Selva (SFTS); 2. Falla Lagunilla del Plata; 3. Lineamiento Balnearia; 4. Lineamiento Brinkmann-Sunchales; 5. Lineamiento del Río Dulce; 6. Lineamiento de Mar Chiquita; b) Vista hacia el oeste donde se observa la flexura topográfica en el SFTS, cerca de Alto de Chipión (ver localización del perfil con línea blanca en la figura 10a); c) Interpretación del estilo y cinemática del SFTS en sección oeste-este a la altura de Alto de Chipión (línea sísmica 42104-YPF) (tomado de Brunetto, 2008).

muy finos que corresponden a la Formación Lagunilla del Plata, de edad ~45 ka, e interpretados como depósitos distales de un paleo-abanico fluvial (Kröhling e Iriondo 1999). El ambiente de depositación de estos sedimentos indica su

formación en zonas de topografía deprimida. La localización actual de dichos sedimentos, en una posición elevada sobre la escarpa asociada a la falla Lagunilla del Plata, sugeriría, según Brunetto (2013), que el bloque ubicado al suroeste de

Mar Chiquita ha experimentado un levantamiento relativo durante el Pleistoceno tardío. Según dicho autor, los depósitos de los abanicos distales de los ríos Suquía y Xanaes migraron hacia el oeste y el este respectivamente por efecto de la deformación de dicho bloque.

### Estructuras con probable actividad neotectónica

**Falla de Pocho:** La rectilinearidad de la escarpa occidental de la sierra homónima permite sospechar la ocurrencia de actividad cuaternaria a lo largo del trazo de esta estructura. En cercanías de Los Túneles puede observarse a depósitos asignados al Grupo Paganzo deformados en cercanías de esta falla.

**Falla Ambul-Mussi:** Esta estructura está ubicada en el margen oriental de la depresión de Pocho y afecta a depósitos piroclásticos asignados por Gordillo y Linares (1981) al Mioceno Superior-Plioceno Inferior. En base a ello, Bonalumi *et al.* (1999) sospechan de su actividad durante el Plioceno-Pleistoceno y refieren también a la probable actividad neotectónica de fallas secundarias antitéticas asociadas a la falla Ambul-Mussi, que podrían estar vinculadas con la falla de Guasapampa.

**Falla Pajarillo-Copacabana-Maza:** Massabie *et al.* (2003b) la referencian como una estructura con actividad cuaternaria, aunque sin establecer precisiones al respecto.

**Lineamientos oblicuos a la Sierra Chica:** Varios autores han llamado la atención sobre la existencia de estructuras principalmente con orientación general noroeste y el control que éstas ejercerían sobre las deformaciones neotectónicas, tales como los denominados lineamientos Deán Funes, Cruz del Eje, Los Cóndores y Río Cuarto (Massabie 1976, 1987, Massabie *et al.* 1999), Carapé, Quebrada Honda y Soconcho (Martino *et al.* 2012). Sin embargo, no existen reportadas a la fecha información de campo que atestigüe sobre la actividad neotectónica de estos rasgos lineares.

**Falla Elevación Pampeana:** Esta morfoestructura se insinúa como un sutil dorso topográfico en la planicie periserrana desde las inmediaciones de La Calera-Malagueño hasta el Sur de Despeñaderos (Bodenbender 1929, Gordillo y Lencinas 1979, Fig. 5). Martino *et al.* (2012) indican que se trataría de una falla normal con inclinación al naciente, posiblemente invertida durante la orogenia Andica. Giambas-

tiani (1991) mencionó que en cercanías del supuesto trazo de esta estructura sedimentos más jóvenes que la Formación Saldán aparecen deformados por una falla inversa de orientación meridional. La culminación meridional de la falla Elevación Pampeana muestra asociadas anomalías del curso del río Xanaes y desniveles altimétricos de 3 m de amplitud en las terrazas altas de dicho cauce en las inmediaciones de la localidad de Despeñaderos (Sanabria y Argüello 2003, Costa 2009). La naturaleza tectónica de estos rasgos morfológicos no ha podido ser comprobada, ya que no se han reportado evidencias conclusivas de un control de estructuras activas durante el Cuaternario en el relieve. Una trinchera efectuada en esta escarpa, no ha revelado evidencias o indicios de deformaciones neotectónicas en los 3 m superiores de la estratigrafía holocena (Costa 2010).

**Falla San Guillermo-El Tata:** Su traza se presenta perpendicular a la Falla Las Lagunas (Fig. 9a) y aunque ejerce un control estructural sobre el drenaje, su expresión geomorfológica superficial es pobre (Sagripanti 2006). Villalba (2011) ha asignado una posible edad holocena para el último movimiento de esta estructura, aunque dicho autor destaca que es necesaria mayor información para corroborar esta interpretación.

**Estructuras del sur de la depresión de Mar Chiquita y zonas aledañas:** En el límite sur de la depresión de Mar Chiquita, han sido reportadas como posibles deformaciones neotectónicas escarpas rectilíneas con cara al norte y noreste, correspondientes a las estructuras denominadas Lagunilla del Plata, Balnearia y Sunchales-Brinckmann (Kröhling e Iriondo 1999, Brunetto 2008, Kröhling *et al.* 2013). Una posible evidencia de la actividad cuaternaria de dichas deformaciones corresponde a la presencia de depósitos fluviales infrayaciendo a una unidad loessoide evolucionada en ambiente palustre. Esta unidad fue datada por OSL en ca. 110 ka (Iriondo 2010), dentro de la Fosa Tectónica de San Antonio (Pasotti 1963, 1987) o Depresión Tectónica de la Cañada de San Antonio (Kröhling 1998). Los taludes correspondientes a las escarpas del Sistema de Fallas Tostado-Selva y de la falla San José del Salteño (Pasotti 1987), constituyen los márgenes oriental y occidental respectivamente de dicha depresión.

Al norte de la depresión han sido señalados los lineamientos de Mar Chiquita (Mon y Gutiérrez 2005) y del Río Dulce (Brunetto 2005) (Fig.10a). No hay evidencias estratigráficas que indiquen actividad reciente en estas estructuras, pero el estudio de la evolución de las redes de drenaje



permite suponer que las modificaciones en las mismas son muy recientes.

**Falla Bajos del Saladillo:** Este rasgo linear fue identificado por Pasotti (1991) a partir del reconocimiento de paleocauces divagantes del Río Saladillo, los que según dicha autora fueron abandonados por interrupción del escurrimiento debido al “hundimiento muy reciente de bloques tectónicos”. (Degiovanni *et al.* 2005) interpretaron que este rasgo está asociado al límite occidental del denominado bloque de Viadonte-Laboulaye (Cantú y Degiovanni 1984) y según dichos autores ejerce controles en el escurrimiento superficial de ese sector. Presenta asociado un desnivel topográfico de alrededor de 6–8 m (Degiovanni, com. pers.) y se localiza en el margen oriental de una zona deprimida donde se emplazan los Bajos del Saladillo y un sistema de lagunas alineadas (La Chanchera, La Brava y Santa Ana). Los mencionados autores también han interpretado un origen tectónico para las modificaciones y controles en el sentido de escurrimiento de los sistemas fluviales pleistocenos asociados a la traza de la misma, por lo que postularon reactivaciones neotectónicas para la falla Bajos del Saladillo.

**Falla del Tigre Muerto:** Degiovanni y Cantú (1993) infirieron para este rasgo linear de rumbo meridiano-submeridiano ubicado al este de las ciudad de Río Cuarto, un movimiento inverso con labio hundido al oeste. Posteriormente, Degiovanni *et al.* (2005) lo identificaron como el límite occidental del denominado bloque General Levalle. Dichos autores han mencionado el control que ejerce este rasgo linear sobre el cauce del arroyo Santa Catalina y destacan reactivaciones neógenas que han acentuado su expresión topográfica, aunque no se han identificado las posibles evidencias diagnósticas de actividad neotectónica.

**Falla General Levalle:** Constituye el límite oriental del bloque de General Levalle propuesto por Cantú y Degiovanni (1982), quienes infirieron para este lineamiento de rumbo meridiano-submeridiano, un carácter inverso y labio hundido al este. Degiovanni *et al.* (2005) han interpretado que los fenómenos de inversión tectónica que afectaron a la cuenca de General Levalle, pudieron haber actuado también en esta estructura durante el Neógeno.

**Lineamiento Rayo Cortado-Pampayasta-Alejandro:** Este lineamiento, fue descrito por Pasotti (1974) quien lo indicó como el desnivel topográfico que divide a los bloques deno-

minados por dicha autora como “Pampa Elevada” y “Pampa Hundida”. Massabie (1987) y Degiovanni *et al.* (2005) también han mencionado a dicho rasgo, el cual para los últimos autores corresponde a una estructura de carácter inverso resultante de los procesos de inversión tectónica andina durante el Neógeno.

## CONSIDERACIONES FINALES

Las deformaciones neotectónicas en el territorio de la Provincia de Córdoba están principalmente localizadas en las laderas occidentales de los bloques serranos y también se expresan en forma aislada en las llanuras circundantes. Estas manifestaciones corresponden a las deformaciones en superficie más orientales del segmento de subducción subhorizontal Pampeano, por lo que su estudio adquiere particular relevancia para un mejor conocimiento de los procesos asociados. Asimismo, la información neotectónica es esencial para el adecuado conocimiento del potencial sismogénico de dichas estructuras.

Muchas de las deformaciones neotectónicas descriptas asociadas a los frentes serranos, carecen de expresión morfológica diagnóstica y generalmente no están localizadas en el pie de la escarpa principal. Corresponden a la incipiente propagación de corrimientos en el labio bajo de las fallas responsables de la morfogénesis principal de los bloques serranos. Las desfavorables condiciones de preservación de las escarpas de fallas inversas, el moderado a bajo ángulo en superficie de estas manifestaciones y la importante degradación mecánica que exhibe el basamento cristalino en el labio elevado, determinan que existan muy pocos afloramientos de deformaciones cuaternarias y que dichas exposiciones hayan sido alumbradas en su gran mayoría por labores antrópicas.

En la región de Sampacho y en la depresión de Mar Chiquita, los rasgos lineares vinculados con estructuras neotectónicas pueden reconocerse en principalmente en función de las morfologías asociadas y rasgos anómalos en el drenaje. En el primer caso, estudios detallados han puesto de manifiesto la existencia de deformaciones holocenas, algunas de las cuales han sido vinculadas con terremotos históricos.

En la región de Mar Chiquita, evidencias indirectas resultantes de información estratigráfica y morfológica, indican la actividad cuaternaria de estructuras subyacentes a la cubierta sedimentaria moderna.

El Sistema de Fallas de la Sierra Chica es destacado como la estructura neotectónica más importante en el territorio

provincial, considerando la extensión de su trazo y la cantidad de exposiciones conocidas. Debido a la cercanía de esta estructura a numerosos asentamientos urbanos y obras de infraestructura, la adecuada caracterización de su potencial sismogénico es imperativa.

La información neotectónica recopilada principalmente durante las últimas cuatro décadas, ha permitido avances significativos en la caracterización de la geometría y cinemática de estas deformaciones. Sin embargo, este conocimiento está mayormente basado aún en datos puntuales de afloramientos, destapes y evidencias indirectas. El escaso conocimiento de las edades y/o falta de adecuada preservación de las relaciones estratigráficas de los sedimentos vinculados con las zonas de deformación cuaternaria, ha impedido hasta el presente estimar adecuadamente los parámetros sismogénicos en la mayoría de estas estructuras (tasa de movimiento, recurrencia, terremoto potencial máximo, etc.). Asimismo, es importante analizar en forma crítica la aplicación al contexto de las Sierras de Córdoba de las diferentes relaciones empíricas utilizadas en otros ambientes sismotectónicos para la caracterización de dichos parámetros (Stirling *et al.* 2013 y otros allí citados). Este aspecto es vital para la adecuada incorporación de los datos neotectónicos en el análisis de la amenaza sísmica.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece la revisión crítica del manuscrito realizada por J. Cortés, las observaciones de los editores y los comentarios e información aportados por D. Kröhling y C. Carignano. Los autores expresan también su reconocimiento a los numerosos colegas con quienes han tenido la oportunidad de compartir trabajos e intercambiar ideas y opiniones sobre la neotectónica de la Provincia de Córdoba a lo largo de varios años.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Alvarado, P., Beck, S., Zandt, G., Araujo, M. y Triep, E. 2005. Crustal deformation in the south-central Andes backarc terranes as viewed from regional broad-band seismic waveform modelling. *Geophysical Journal International* 163 (2): 580–598.
- Beder, R. 1916. Estudios geológicos e hidrogeológicos en los alrededores de Villa Dolores. Dirección Nacional de Minas, Geología e Hidrología, Boletín 14: 1–37. Buenos Aires.
- Beder, R. 1922. Estudios geológicos de las sierras de Córdoba, especialmente de las calizas cristalino-granulosas y sus fenómenos de metamorfismo. Dirección General de Minas, Geología e Hidrología, Boletín 33.
- Bodenbender, G. 1905. La Sierra de Córdoba. Constitución geológica y productos minerales de aplicación. *Anales del Ministerio de Agricultura de la Nación*, 1(2): 1–150.
- Bodenbender, G. 1929. Triásico y Terciario en la falda oriental de la Sierra de Córdoba. *Boletín Academia Nacional de Ciencias de Córdoba* 31: 73–139.
- Bonalumi, A., Martino, R., Baldo, E., Zarco, J., Sfragulla, J., Carignano, C., Kraemer, P., Escayola, M. y Tauber, A. 1999. Hoja Geológica 3166-IV, Villa Dolores. Provincias de Córdoba, La Rioja y San Luis. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 250, 123 p. Buenos Aires.
- Booker, J., Favetto, A. y Pomposiello, M.C. 2004. Low electrical resistivity associated with plunging of the Nazca flat slab beneath Argentina. *Nature* 429: 399–403.
- Brunetto, E. 2005. Mapa de lineamientos morfológicos de la cuenca inferior del Río Dulce, Laguna Mar Chiquita y Bloque San Guillermo. 16° Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 545–552. La Plata.
- Brunetto, E. 2008. Actividad neotectónica en el sector oriental de la cuenca inferior del río Dulce, laguna Mar Chiquita y bloque San Guillermo. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Córdoba (inédita), 306 p. Córdoba.
- Brunetto, E. 2013. Estudio integral del paisaje de la Cuenca del Río Salado del Norte en la Provincia de Santa Fe aplicado al manejo del recurso hídrico y edáfico. Influencia de la neotectónica. Informe de Avance Inédito para el CAID+O/2012. Universidad Nacional del Litoral, 30 p.
- Brunetto, E. y Gimenez, M.E. 2012. Características de la deformación cuaternaria en el centro de la llanura pampeana. 15° Reunión de Tectónica, Resúmenes: 36–37. San Juan.
- Brunetto, E. e Iriondo, M.H. 2007. Neotectónica en la Pampa Norte (Argentina). *Revista de la Sociedad Geológica de España* 20 (1-2): 17–29.
- Brunetto, E., Iriondo, M.H., Zamboni, L. y Gottardi, M.G. 2010. Quaternary Deformation around the Palo Negro area, Pampa Norte, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 29: 627–641.
- Castellanos, A. 1956. Rasgos geomorfológicos del Valle de los Reartes. Sociedad Argentina de Estudios Geográficos. *Anales*. Tomo 10.
- Castellanos, A. 1958. Nota preliminar sobre nuevos restos de mamíferos fósiles del Brocherense del valle de Los Reartes (Provincia de Córdoba, Argentina). 20° Sesión Congreso Geológico Internacional México 7: 217–233.
- Costa, C. 1996. Análisis neotectónico en las Sierras de San Luis y Comehingones: Problemas y métodos. 13° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 285–300. Buenos Aires.
- Costa, C. 1999. Tectónica Cuaternaria en las Sierras Pampeanas. En: Caminos, R. (ed.) *Geología Argentina, Anales* 29 (24), Sección 2B: 779–784. SEGEMAR, Buenos Aires.
- Costa, C. 2000. Quaternary deformation at the central Andes Orogenic Front and Foreland regions of Argentina: Proceedings of the International Symposium and School on Active Faulting, p. 59–64. Japan.
- Costa, C. 2004. Microtectónica en el Cuaternario?: Métodos y aplicaciones de la Paleosismología. Asociación Geológica Argentina, Publicación Especial 7: 9–19. Buenos Aires.
- Costa, C. 2009. Proyecto Central Nuclear Embalse. Project Report N°1: Field observations for trench site location, Central Nuclear Embalse (Provincia de Córdoba). D'Appolonia Private Report, 13 p.
- Costa, C. 2010. Proyecto Central Nuclear Embalse. Project Report N°8: Summary & Conclusions. Private Report to D'Appolonia, AECL Canada and Fundación UNSL, 58 p. San Luis.
- Costa, C. y Morla, P. 1996. Algunos rasgos estructurales de la depresión del río Conlara, provincias de San Luis y Córdoba. 13° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 283. Buenos Aires.
- Costa, C. y Ninci, C. 2003. Relevamiento de exposiciones de deformaciones cuaternarias entre Capilla del Monte y Villa Carlos Paz, para



- localización de trincheras. Informe Inédito Proyecto Ciencia y Técnica Universidad Nacional de San Luis 340303, 17 p. San Luis.
- Costa, C. y Vita-Finzi, C. 1996. Late Holocene faulting in the Southeast Sierras Pampeanas of Argentina. *Geology*, 24(12): 1127–1130.
- Costa, C., Gardini, C. y Giaccardi, C. 1992. Fallamiento moderno en la Sierra de Comechingones, Provincia de San Luis. 8° Reunión de Microtectónica, Resúmenes 7, San Carlos de Bariloche.
- Costa, C., Murillo, M., Vita-Finzi, C. y Gardini, C. 1994. Quaternary faulting and perspectives for paleoseismological studies in the south-eastern Pampean Ranges, Argentina. En: Prentice, C., Schwartz, D., and Yeats, R. (eds.), *Workshop on Paleoseismology: United States Geological Survey Open-File Report 94-568*: 39–40.
- Costa, C., Ortiz Suárez, A., Gardini, C., Chiesa, J., Ojeda, G., Strasser, E., Escayola, M., Kraemer, P., Ulacco, H., Morla, P., Almandoz, G. y Coniglio, J. 1998. Hoja Geológica 3366-II, Santa Rosa, provincias de San Luis y Córdoba, Escala 1:250.000. SEGEMAR, Boletín 373, en CD.
- Costa, C., González Díaz, E., Murillo, M., Gardini, C., Giaccardi, A., Sequeros, J. y Bea, S. 1999. Morfotectónica del frente de levantamiento andino de la sierra de Comrechingones. 14° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 32.
- Costa, C., Machette, M.N., Dart, R.I., Bastías, H.E., Paredes, J.D., Perucca, L.P., Tello, G.E. y Haller, K.M. 2000. Map and database of Quaternary faults and folds in Argentina. *United States Geological Survey Open-file report 00-0108*, 76p. one map.
- Costa, C., Murillo, V., Sagripanti, G. y Gardini, C. 2001. Quaternary intraplate deformation in the southeastern Sierras Pampeanas, Argentina. *Journal of Seismology* 5: 399–409.
- Costa, C., Audemard, F., Becerra, F., Lavenu, A., Machette, M. y París, G. 2006. An Overview of the Main Quaternary Deformation of South America. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 61(4): 461–479. Buenos Aires.
- Costa, C., Ricci, W., Owen, L., Johnson, W., Halperin, A. y Ahumada, E. 2010. Holocene paleoearthquake clustering along a Sierras Pampeanas (Argentina) bounding fault? *American Geophysical Union Fall Meeting*, San Francisco. T42A-05.
- Cruz, L.E., Fernicola, J.C. y Carignano, C.A. 2010. El “Horizonte Brocherense” del Valle de San Alberto, Córdoba, Argentina. Consideraciones taxonómicas e implicancias bioestratigráficas. 10° Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía y 7° Congreso Latinoamericano de Paleontología, Actas: p. 151.
- Cuerda, A.J. 1973. Sierras Pampeanas, una nueva interpretación de su estructura. *Revista Asociación Geológica Argentina* 28(3): 293–303. Buenos Aires.
- Dávila, F.M., Lithgow-Bertelloni, C. y Giménez, M. 2010. Tectonic and dynamic controls on the topography and subsidence of the Argentine Pampas: The role of the flat slab. *Earth and Planetary Science, Letters* 295: 187–194.
- Gallo, M. 2011. Estudio neotectónico de la falla Sierra Chica en la sección Las Peñas-Los Cóndores. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Río Cuarto (inédita), 103 p. Río Cuarto.
- Giambastiani, M. 1991. Estudio de las deformaciones recientes en el sector occidental de la ciudad de Córdoba. Trabajo Final, Universidad Nacional de Córdoba (inédito), 34 p. Córdoba.
- González Bonorino, F. 1950. Algunos problemas geológicos de las Sierras Pampeanas. *Revista Asociación Geológica Argentina* 16(1-2): 61–106.
- Gordillo, C.E. y Lencinas, A.N. 1972. Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis. *Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias de Córdoba*, Tomo 1.
- Gordillo, C. y Lencinas, A. 1979. Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis. En Turner, J.C. (Ed.): 2° Simposio de Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, 1(2): 577–650. Córdoba.
- Gordillo, C. y Linares, E. 1981. Geocronología y petrografía de las vulcanitas del Departamento Pocho, Provincia de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 36(4): 380–388. Buenos Aires.
- Gross, W. 1948. Cuadro tectónico del valle de Punilla. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 3: 73–132. Buenos Aires.
- Ikeda, Y. 1983. Thrust-front migration and its mechanism: Evolution of intraplate thrust fault systems. *Bulletin of the Department of Geography, University of Tokyo* 15: 125–159.
- INPRES 2011. Instituto Nacional de Prevención Sísmica. Listado de terremotos históricos. [www.inpres.gov.ar](http://www.inpres.gov.ar)
- Introcaso, A., Lion, A.L. y Ramos, V. 1987. La estructura profunda de las Sierras de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 13(1-2): 177–187. Buenos Aires.
- Iriondo, M. 1989. Major fractures of the Chaco-Pampa plain. In Mörner N. (Ed), *Bulletin of the International Union for Quaternary Research, Neotectonics Commission* 12: 42–46.
- Iriondo, M.H. 2010. Geología del Cuaternario en la Argentina. Museo Provincial de Ciencias Naturales Florentino Ameghino, 437 p. Santa Fe.
- Iriondo, M.H. 2012. Aguas subterráneas y superficiales de la Provincia de Santa Fe. 2da. Ed. Museo Provincial de Ciencias Naturales Florentino Ameghino, 288 p. Santa Fe.
- Ishiyama, T., Mueller, K., Sato, H. y Togo, M. 2007. Correction to “Co-seismic fault-related fold model, growth structure, and the historic multisegment blind thrust earthquake on the basement-involved Yoro thrust, central Japan”. *Journal of Geophysical Research* 112: doi: 10.1029/2007JB005078. ISSN: 0148-0227.
- Jordan, T.E. y Allmendinger, R.W. 1986. The Sierras Pampeanas of Argentina: A modern analogue of Rocky Mountain foreland deformation. *American Journal of Science* 286(10): 737–764.
- Jordan, T.E., Isacks, B.L., Allmendinger, R.W., Brewer, J.A., Ramos, V.A. y Ando, C.J. 1983a. Andean tectonics related to geometry of subducted Nazca plate. *Geological Society of America Bulletin* 94 (3): 341–361.
- Jordan, T.E., Isacks, B.L., Ramos, V.A. y Allmendinger, R.W. 1983b. Mountain building in the Central Andes. Episodes: 20–26.
- Kay, S.M. y Abbruzzi, J.M. 1996. Magmatic evidence for Neogene lithospheric evolution of the central Andean “flat-slab” between 30° and 32° S. *Tectonophysics* 259: 15–28.
- Kay, S.M., Mpodozis, C., Ramos, V.A. y Munizaga, F. 1991. Magma source variations for mid-late Tertiary magmatic rocks associated with a shallowing subduction zone and thickening crust in the Central Andes (28°–33° S). En Harmon, R.S., Rapela, C.W. (Eds.). *Andean Magmatism and its Tectonic Setting*. Geological Society of America Special Paper 26: 113–127.
- Kemp R.A., Toms P.S., King M. y Kröhlhling D.M. 2004. The pedosedimentary evolution and chronology of Tortugas, a Late Quaternary type-site of the northern Pampa, Argentina. *Quaternary International* 114(1): 101–112.
- Kraemer, P. y Martino, R. 1993. La falla de la Sierra Chica: Cabalgamiento de basamento sobre una cuña sedimentaria imbricada, Cosquín, Córdoba. 9° Reunión de Microtectónica, Resúmenes: 11–12. Mendoza.
- Kraemer, P., Martino, R., Giambastiani, M. y Sfragulla, J. 1988. Análisis dinámico-cinemático preliminar de la falla de Santa Rosa, Departamento Calamuchita, Provincia de Córdoba. 5° Reunión de Microtectónica, Actas: 107–115. Córdoba.
- Kraemer, P., Tauber, A., Schmidt, Ch. y Rame, G. 1993. Análisis cinemático de la “Falla de Nono” Evidencias de actividad neotectónica, Valle San Alberto, Provincia de Córdoba, 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Explotación de Hidrocarburos, Actas 3: 277–281.
- Kraemer, P., Escayola M. y Martino, R. 1995. Hipótesis sobre la evolución

- tectónica neoproterozoica de las Sierras Pampeanas de Córdoba (30°40' LS - 32°40' LS). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 50(1-4): 47-59. Buenos Aires.
- Kröhling, D.M. 1998. Geomorfología y Geología del Cuaternario de la cuenca del río Carcarañá, desde la confluencia de los ríos Tercero y Cuarto, provincias de Córdoba y Santa Fe. Tesis Doctoral, Carrera del Doctorado en Cs. Geológicas de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba (inédita). 224 p. Córdoba
- Kröhling, D.M. e Iriondo, M.H. 1999. Upper Quaternary Paleoclimates of the Mar Chiquita area, North Pampa, Argentina. *Quaternary International* 57-58: 149-163.
- Kröhling, D.M. e Iriondo, M.H. 2003. El loess de la Pampa Norte en el Bloque de San Guillermo. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología* 10(2): 137-150. Buenos Aires.
- Kröhling, D.M., Costa, C., Carignano, C., Brunetto, E., Piovano, E. y Córdoba, F. 2013. Guía de Campo del Curso de Postgrado de Entrenamiento de Campo y Taller del Sam-Geo-Quat. Int. Focus Group "From the Pampean Ranges to the North Pampa: Tectonic and Climatic Forcing on the Late Quaternary landscape evolution of Central Argentina", 80 p.
- Lambert, L. 1949. Informe sobre el sismo del 16 de Enero de 1947 en el valle de la Punilla (Córdoba): Buenos Aires, Argentina, Ministerio de Industria y Comercio de la Nación, Informe inédito, 57 p.
- Lencinas, A. 1971. Geología del valle de Punilla entre Bialet Massé y La Cumbre. Provincia de Córdoba. *Boletín de la Asociación Geológica de Córdoba* 1: 61-70. Córdoba.
- Lencinas, A. y Timonieri, A. 1968. Algunas características estructurales del valle de Punilla, Córdoba. 3° Jornadas Geológicas Argentinas, Actas: 107-115.
- Loebens, S., Bense, F., Wemmer, K., Dunkl, I., Costa, C., Layer, P. y Siegesmund, S. 2011. Exhumation and uplift of the Sierras Pampeanas: Preliminary implications of K-Ar fault gouge dating and low thermal geochronology in the Sierra de Comechingones (Argentina). *International Journal of Earth Sciences (Geol. Rundsch.)*, 100(2-3): 671-694. DOI 10.1007/s00531-010-0608-0.
- Lucero, H.N. 1969. Descripción geológica de las Hojas 16h "Pozo Grande" y 17h "Chuña Huasi". Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín N°107, 41 p. Buenos Aires.
- Martino, R.D., Kraemer, P., Escayola, M., Giambastini, M. y Arnosio, M. 1995. Transecta de las Sierras Pampeanas de Córdoba a los 32° S. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 50(1-4): 60-77. Buenos Aires.
- Martino, R.D., Guerreschi, A.B. y Carignano, C.C. 2012. Influencia de la tectónica preandina sobre la tectónica andina: el caso de la falla de la Sierra chica, sierras pampeanas de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 69(2): 207-221. Buenos Aires.
- Massabie, A. 1975. Investigaciones geológicas entre Charbonier y Cosquín, Provincia de Córdoba, República Argentina. Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires (inédita), 143 p. Buenos Aires.
- Massabie, A. 1976. Estructura tectónica cenozoica entre Charbonier y Cosquín, Provincia de Córdoba: 6° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 109-123.
- Massabie, A. 1982. Geología de los alrededores de Capilla del Monte y San Marcos, Provincia de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 37(2): 153-173. Buenos Aires.
- Massabie, A. 1987. Neotectónica y Sismicidad en la región de las Sierras Pampeanas Orientales, Sierras de Córdoba, Argentina, 10° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 271-274.
- Massabie, A. 1993. La fase neotectónica Córdoba, Sierras Pampeanas Orientales, Argentina. 9° Reunión de Microtectónica, Resúmenes, p. 12. Mendoza.
- Massabie, A. 1996. Fallamiento neotectónico en las Sierras Pampeanas Orientales. Implicancias aplicadas a diferentes escalas. *Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería*, Actas 10: 187-198.
- 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 Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente* 13: 117-123.
- Massabie, A.C., Cegarra, M., Idoyaga, M., Mutti, D., Nestiero, O. y Sanguinetti, A. 2000. Neotectonic faulting zoning in the Eastern Sierras Pampeanas, central Argentine. 8° Congress of the International Association for Engineering Geology and the Environment. 6: 4231-4238, A.A. Balkema, Rotterdam.
- Massabie, A.C., Limarino, C., Panarello, H., Cordero, R. y Bertels, A. 2001. Late Holocene tectonic damming in the Eastern Sierras Pampeanas, Córdoba, Argentina. 3° Simposio Sudamericano de Geología Isotópica, *Revista Comunicaciones Universidad de Chile*, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Geología. 52: 108. Pucón.
- Massabie, A., Cegarra, M., Sanguinetti, A. y Lo Forte, G. 2002. Actividad neotectónica del fallamiento andino en la región pedemontana de San Marcos Sierra, Córdoba, Argentina. En: Cabaleri N., Cingolani, C.A., Linares, E., López de Luchi, M.G., Ostera, H.A. y Panarello, H.O. (eds.). 15° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 529-534. El Calafate.
- Massabie, A., Panarello, H., Cegarra, M., Cordero, R., Lo Forte, G., Sanguinetti, A. y Valencio, S. 2003a. Isotope constraints and radiocarbon age applied to Late Holocene landscape evolution due to San Marcos Fault activity, Córdoba, Argentina. 4° South American Symposium on Isotope Geology, Actas 1: 215-218.
- Massabie, A.C., Sanguinetti, A., Lo Forte, G. y Cegarra, M. 2003b. La actividad neotectónica en la sierra Baja de San Marcos-Cruz del Eje, flanco occidental de las Sierras Pampeanas Orientales. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 58(4): 653-663. Buenos Aires.
- Massabie, A.C., Cegarra, M. y Sanguinetti, A. 2005. Nuevas evidencias de fallamiento cuaternario en el Valle de Punilla, Villa Giardino, Provincia de Córdoba. 16° Congreso Geológico Argentino, Actas 6: 85-100. La Plata.
- 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.
- Massabie, A. y Limarino, C. 1996. Facies de endicamiento en el Río Pintos y su relación con la evolución neotectónica de la sierra de San Marcos, Córdoba. 6° Reunión Argentina de Sedimentología, Actas: 237-241. Bahía Blanca.
- Massabie, A. y Szlafsztajn, C. 1991. Condiciones geomecánicas y edad del fallamiento neotectónico en las Sierras Pampeanas Orientales, Córdoba, Argentina. *Revista de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería* 6: 154-168.
- 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. México.
- Mon, R. y Gutiérrez A. 2005. The neotectonic origin of the natural dam of Mar Chiquita, Córdoba, Argentina. Abstract in: *Holocene environmental catastrophes in South America: from the lowlands to the Andes*; ICSU DARK NATURE-IGCP 490- Third Joint Meeting, Mar Chiquita, Córdoba, Actas: 33.
- Mon, R. y Gutiérrez, A.A. 2009. The Mar Chiquita Lake: an indicator of intraplate deformation in the central plain of Argentina. *Geomorphology*. doi:10.1016/j.geomorph.2009.04.009.
- Moreno, G.E. 1951. Tectónica y rasgos morfológicos del Bolsón de Nono. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Córdoba (inédita), 151 p.



- Córdoba.
- 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). Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Buenos Aires (inédita), 135 p. Buenos Aires.
- Olsacher, J. 1935. El terremoto de Sampacho, Provincia de Córdoba. Revista del Museo de Ciencias Naturales. Año 1, N° 1, 19 p. Córdoba.
- Olsacher, J. 1972. Descripción geológica de la Hoja 21h, Cerro Champaquí. Provincia de Córdoba. Servicio Nacional Minero Geológico, Boletín 133, 64 p. Buenos Aires.
- Pasotti, P. 1963. Algunos rasgos morfológicos de la llanura cordobesa entre la dislocación de S.J. del Salteño y el meridiano 62°45' W. Bol. Estudios Geográficos, Facultades de Filosofía y Letras, Universidad Nacional de Cuyo, 10(41):161-190.
- Pasotti, P. 1974. La Neotectónica en la Llanura Pampeana. Fundamentos para el mapa neotectónico. Publicación del Instituto de Fisiografía y Geología de la Universidad Nacional de Rosario 58, 28 p. Rosario.
- Pasotti, P. 1975. Nuevo aporte a la Neotectónica de la llanura chaco-pampeana. 2° Congreso Ibero-Americano de Geología Económica, Actas 4: 301-314. Buenos Aires.
- Pasotti, P. 1987. Contribución al conocimiento de la llanura pampeana: "La Cañada de San Antonio". Bol. Academia Nacional de Geografía, p. 37-54. Rosario.
- Pasotti, P. 1991. El río Saladillo (Provincia de Córdoba). Anales de la Academia Nacional de Geografía, 14-15. Buenos Aires.
- Pasotti, P. y Castellanos, A. 1963. El relieve de la llanura santafesino-cordobesa comprendida entre los paralelos 32° y 32°30' S desde 62°45' W hasta el río Paraná. Publicación del Instituto de Fisiografía y Geología de la Universidad Nacional de Rosario 47: 1-79. Rosario.
- Penck, W. 1920. Der Südrand der Puna de Atacama. Abhandlungen der Mathematisch-Physikalische Klasse der Sächsischen. Akademie Der Wissenschaften 37(1): 3-420.
- Ramos, V.A. 2009. Anatomy and global context of the Andes: Main geologic features and the Andean orogenic cycle. Geological Society of America Memoir 204: 31-65.
- Ramos, V.A., Cristallini, E.O. y Pérez, D.J. 2002. The Pampean flange-slab of the Central Andes. Journal of South American Sciences 15: 59-78.
- Rassmuss, J. 1916. Rasgos geológicos generales de las Sierras Pampeanas, Dirección General de Minas, Geología e Hidrogeología, Boletín N° 13, serie B (Geología), Buenos Aires.
- Richardson, T., Gilbert, H., Anderson, M. y Ridgway, K. 2012. Geodynamics and tectonics seismicity within the actively deforming Eastern Sierras Pampeanas, Argentina. Geophys Journal International 188: 408-420. doi: 10.1111/j.1365-246X.2011.05283.
- Richardson, T., Ridgway, K.D., Gilbert, H., Martino, R.D., Enkelmann, E., Anderson, M. y Alvarado, P. 2013. Neogene and Quaternary tectonics of the Eastern Sierras Pampeanas, Argentina: Active intraplate deformation inboard of flat-slab subduction. Tectonics 32: 1-17.
- Rimann, E. 1918. Estudio geológico de la Sierra Chica (entre Ongamira y Dolores). Boletín de la Academia Nacional de Ciencias, 23: 129-202.
- 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 (3): 417-428. Buenos Aires.
- 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(4): 491-501. Buenos Aires.
- Sagripanti, G.L., Origlia, H.D. y Campanella R.O. 1998. 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 de Chile.
- Sagripanti, G.L., Costa, C., Giaccardi, A., Aguilera, D., Schiavo, H., Campanella, O. y Dolso, A. 1999. Nuevos datos sobre la actividad cuaternaria de la falla Las lagunas Departamento de Río Cuarto, Córdoba: 14° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 42-43.
- Sagripanti, G.L., Costa, C., Origlia D. y Schiavo, H. 2001. Avances en la caracterización del peligro sísmico en el Departamento Río Cuarto, Córdoba, Argentina. 4° Congreso de Geología y Minería de la sociedad Cubana de Geología, La Habana, Cuba. Actas: CD.
- 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. 16° Congreso Geológico Argentino 4: 457-462. La Plata.
- Sagripanti, G.L., Schiavo, H.F., Felizzia, J.A., Villalba, D., Aguilera, H.D., Giaccardi, A.D. y Membrives, J.A. 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(1): 52-70. Buenos Aires.
- 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(4): 611-626. Buenos Aires.
- Sanabria, J. y Arguello, G. 2003. Aspectos geomorfológicos y estratigráficos en la génesis y evolución de la Depresión Periférica, Córdoba (Argentina). 2° Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, Actas: 177-184. Tucumán.
- Schlagintweit, O. 1954. Una interesante dislocación en Potrero de Garay (Valle de Calamuchita) y observaciones sobre las Sierras Chica y grande de Córdoba. Revista de la Asociación Geológica Argentina 9(3): 135-154. Buenos Aires.
- Schmidt, C.J., Astini, R.A., Costa, C.H., Gardini, C.E. y Kraemer, P.E. 1995. Cretaceous rifting, alluvial fan sedimentation, and neogene inversion, Southern Sierras Pampeanas, Argentina. En Tankard, A.J., Suárez, R.S., y Welsink, H.J. (eds.) Petroleum basins of South America. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 62: 341-358.
- Schmieder, O. 1921. Apuntes geomorfológicos de la Sierra Grande de Córdoba. Boletín Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, 25: 37-59.
- 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.
- Sequeiros, J. 1999. Caracterización morfoestructural de la escarpa occidental de la sierra de Comechingones a la latitud de La Paz (Córdoba, Argentina). Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Buenos Aires (inédita), 103 p. Buenos Aires.
- Szlafsztejn, C.F. 1991. Aspectos geológicos de los alrededores de Potrero de Garay (Provincia de Córdoba). Trabajo final de licenciatura, Universidad de Buenos Aires (inédito), 69 p. Buenos Aires.
- Stirling, M., Goned, T., Berryman, K. y Lichtfield, N. 2013. Selection of earthquake scaling relationships for Seismic-Hazard Analysis. Bulletin Seismological Society America, 103: 2993-3011, doi: 10.1785/0120130052.
- 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. 2012. Análisis morfológico de escarpas asociadas a una falla de intraplaca con actividad cuaternaria. Falla Las Lagunas, Córdoba. 5° Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, Actas: 297–309. Río Cuarto.

Wagner-Manslau, A. 1988. Estudio geológico-estructural del valle de Calamuchita entre Villa General Belgrano y Santa Rosa de Calamu-

chita, Provincia de Córdoba. Trabajo final de licenciatura, Universidad de Buenos Aires (inédito), 73 p. Buenos Aires.

Yáñez, G., Ranero, C., von Huene, R. y Díaz, J. 2001. Magnetic anomaly interpretation across the southern Central Andes (32°–33.5° S): the role of the Juan Fernández ridge in the late Tertiary evolution of the margin. *Journal of Geophysical Research* 106: 6325–6345.