



Evidencias de actividad cuaternaria asociadas a la falla La Aguada, piedemonte occidental de la sierra de Comechingones, Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis

Gimena S. CASTALDI^{1,2}, Diego VILLALBA¹, Guillermo L. SAGRIPANTI¹ y Susana B. DEGIOVANNI¹

¹Departamento de Geología. Universidad Nacional de Río Cuarto.

²CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas)

Emails: gcastaldi@exa.unrc.edu.ar; dvillalba@exa.unrc.edu.ar; gsagripanti @exa.unrc.edu.ar; sdegiovanni@exa.unrc.edu.ar.

Editor: José F. Mescua

Recibido: 28 de septiembre de 2020

Aceptado: 11 de febrero de 2021

RESUMEN

Las deformaciones neotectónicas más orientales del segmento de subducción subhorizontal Pampeano se reconocen en las estratificaciones de las Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis. Estudios de detalle realizados en los afloramientos del perfil de Boca del Río, perpendicular a la traza de la falla La Aguada en el piedemonte occidental de la sierra de Comechingones, han revelado una zona de deformación caracterizada por una serie de fallas inversas que deforman una sucesión de sedimentos cuaternarios. En la zona de falla se han reconocido corrimientos que yuxtaponen sedimentos de más >175.000 años de edad sobre conglomerados datados en 35.210 ± 1.550 años. Los resultados obtenidos en el perfil Boca del Río han permitido confirmar la actividad cuaternaria de la falla La Aguada y clasificar a las morfoestructuras positivas asociadas como un piedmont foreland o forebergs del Sistema de Falla Comechingones.

Palabras clave: Sistema de Fallas Comechingones; neotectónica; deformaciones cuaternarias; piedmont foreland o forebergs.

ABSTRACT

Quaternary activity evidence associated with La Aguada Fault, western foothills of the Comechingones Ranges, Sierras Pampeanas of Córdoba and San Luis.

The easternmost neotectonic deformations of the Pampean flat-slab subduction segment are recognized along both foothills of the Sierras Pampeanas of Córdoba and San Luis. Logging of the outcrops along the Boca del Río profile, across to the La Aguada fault trace in the western foothills of the Comechingones ranges, revealed a deformation zone characterized by reverse faults that deform a succession of Quaternary sediments. In the fault zone, thrust faults juxtapose sediments of more than >175,000 years over proximal deposits dated at $35,210 \pm 1,550$ years. The results obtained in the Boca del Río profile allow to confirm the Quaternary activity of the La Aguada fault and to classify the related positive morphostructures as a piedmont foreland or forebergs of the Comechingones Fault System.

Keywords: Comechingones Fault System, neotectonics; Quaternary deformation; piedmont foreland or forebergs.

INTRODUCCIÓN

Las Sierras Pampeanas Orientales forman parte del antepaís andino fragmentado constituyendo uno de los rasgos geomórficos más distintivos del segmento subducción subhorizontal Pampeano entre los 28° y 33° de latitud sur (Jordan et al. 1983, Jordan y Allmendinger 1986). El bajo ángulo de la placa oceánica de Nazca, a estas latitudes, coincide con la subducción de la dorsal asísmica Juan Fernández, la migración tanto del frente de deformación andino como la actividad volcánica hacia la intraplaca sudamericana durante los últimos 10 Ma han sido relacionadas a este proceso (Costa y Vita Finzi 1996, Ramos 1999, Yáñez et al. 2001, Ramos et al. 2002, Alvarado et al. 2005).

En general, las Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis se caracterizan por ser bloques asimétricos que presentan una ladera oriental con remanentes de superficies antiguas de gran desarrollo areal y una occidental corta y abrupta, donde se ha concentrado el fallamiento Neógeno-Cuaternario representando el frente de levantamiento principal. En la zona pedemontana occidental se han identificado *pedmont forelands* o *forebergs* que determinan el basculamiento de las superficies aluviales en sentido opuesto a la pendiente pedemontana, definiendo un estilo estructural semejante al bloque serrano principal (Costa 2019). En función de su desarrollo y estado evolutivo, los *forebergs* (Florensov y Solonenko 1963 en Kurushin et al. 1998) o *pedmont forelands* (Bull 2008), definen una franja paralela a sub-paralela al frente montañoso principal, en las que se preservan los depósitos aluviales más antiguos. Estas estructuras exponen generalmente en su base rocas pre-cuaternarias y están limitadas por escarpas continuas o discontinuas con cara hacia el interior o el sector depocentral de la cuenca siendo coronadas por depósitos cuaternarios de escaso espesor, usualmente <10m (Costa 2019).

En las zonas pedemontanas próximas a los frentes de levantamiento de las sierras de Comechingones (San Luis) y Chica (Córdoba), se encuentran los principales frentes de deformación neotectónica que se relacionan con corrimientos del basamento cristalino sobre sedimentitas cenozoicas y depósitos cuaternarios (Massabie y Szlafsztein 1991, Massabie et al. 2006, Costa 1999, Costa et al. 2001, 2014, Martino et al. 2016).

Estudios neotectónicos realizados en el piedemonte occidental de la sierra de Comechingones, entre los 32°20' y 33°08' de latitud sur, han relevado deformaciones asociadas a diferentes fallas inversas que afectan tanto al basamento de edad paleozoica como a los depósitos sedimentarios de

edad cuaternaria. Las evidencias relevadas hasta el momento en este sector permiten inferir que la actividad tectónica durante el Cuaternario ha sido importante (Costa et al. 1992, 1994, 1999, 2001, 2018, Costa y Morla 1996, Costa y Vita Finzi 1996, Costa 2019, Castaldi et al. 2017, 2018a, 2018b, Villalba et al. 2017).

Por otra parte, en el ámbito del piedemonte oriental de la sierra de Comechingones a los 33° de latitud sur, también han sido reportadas deformaciones cuaternarias y evidencias de paleoterremotos asociados a distintas fallas de movimiento inverso que inclinan hacia el este-sureste generando una morfología escalonada (Sagripanti et al. 2011). Algunas de estas estructuras tienen comprobada actividad cuaternaria como la falla Las Lagunas (Sagripanti y Villalba 2011, 2020) y Las Rosas (Sagripanti et al. 2018a) y otras sugieren posible actividad cuaternaria, como la falla Santa Catalina (Sagripanti et al. 2018b).

No obstante, en ambientes compresivos de intraplaca, como el de las Sierras Pampeanas el reconocimiento y caracterización de estructuras cuaternarias se dificulta debido a la geometría del fallamiento y a la relación existente entre la tasa de erosión-sedimentación y la tasa de deformación (Costa 1999). Tanto el plano principal, que eleva el frente serrano, como los planos de estructuras secundarias se encuentran sepultados por los sedimentos y sólo pueden ser visibles en perfiles naturales expuestos por la red de drenaje, en quebradas que presenten un entallamiento o en exposiciones artificiales. A esto se suma que en la mayoría de los casos no existen materiales cuaternarios con indicios de fallamiento que hayan quedado preservados en el bloque elevado. Lo anteriormente mencionado, muchas veces dificulta la detección, análisis e interpretación de las deformaciones y movimientos de las estructuras (Costa et al. 2014).

Por otra parte, los escasos antecedentes sobre determinaciones cuantitativas de la edad de los sedimentos involucrados también inciden en la precisión de los resultados. A esto se suma el hecho que en ambientes de intraplaca el intervalo de recurrencia de terremotos capaces de generar estructuras deformacionales primarias, que se pueden reconocer en el registro estratigráfico, son prolongados, del orden de cientos o miles de años (Costa et al. 2014).

De manera similar a lo que ocurre en otros sectores de las Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis, en el sector sur del piedemonte occidental de la sierra de Comechingones, las tasas de erosión y/o sedimentación se suponen mayores que la de deformación, enmascarando la morfología del fallamiento Cuaternario y el verdadero grado de actividad tectónica. Sin embargo, en algunos de estos sectores existen

morfologías superficiales asociadas a esta actividad, que son reconocidas como escarpas discontinuas de escasa altura, corrimientos de basamento sobre sedimentos cuaternarios y modificaciones morfohidrológicas que indican la presencia de estructuras paralelas al levantamiento principal de la sierra, tales como las fallas La Aguada y Villa del Carmen (Castaldi et al. 2018b, Castaldi et al. 2021).

En el Sistema de Fallas Comechingones se han detectado estructuras con actividad cuaternaria entre las localidades de Villa de Merlo al norte, y Papagayos al sur, como las denominadas El Molino, Piscu Yaco y La Esther (Villalba et al. 2017, Costa et al. 2018, 2019, Funes 2019). La presencia de las mismas permite suponer que hacia el extremo sur, de este sistema de fallas, existan estructuras de similares características que aún no han sido reportadas y que posiblemente hayan tenido actividad durante el Cuaternario.

Algunas de las razones que explicarían la escasez de investigaciones de este tipo en este sector del Sistema de Fallas Comechingones, al sur de la falla La Esther, serían que el conocimiento de la cronoestratigrafía de los estratos asignados al Neógeno y/o Cuaternario es impreciso e insuficiente y los antecedentes indican una menor caída del nivel de base regional, una tasa de levantamiento menor y/o un tiempo mayor transcurrido desde el último episodio de levantamiento (Costa et al. 1999).

En este contexto, el objetivo de la presente contribución es reportar evidencias de deformaciones que confirmen la ac-

tividad cuaternaria asociada a la falla La Aguada, ubicada en el extremo sur del Sistema de Falla de Comechingones.

Obtener esta relevante información, junto con la posterior profundización de trabajos de investigación y relevamientos de campo permitirá lograr la parametrización de las estructuras de este sector del Sistema de Fallas Comechingones para realizar una evaluación más realista el potencial sismogénico del mismo y una clasificación ajustada del riesgo sísmico de toda la región.

El área de estudio se encuentra en la provincia de San Luis en el límite con la provincia de Córdoba, aproximadamente a los 33° de latitud sur, en el piedemonte occidental de la sierra de Comechingones, donde se ubica la falla La Aguada en inmediaciones de la presa Boca del Río y próxima a la localidad de Villa del Carmen (Fig. 1).

GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

Las principales morfoestructuras de la región se encuentran constituidas por dos megabloques de basamento ígneo-metamórfico de edad precámbrica-paleozoica inferior, que conforman la sierra de Comechingones al este y la de La Aguada al oeste, separados por un angosto valle parcialmente rellenado por sedimentos de edad neógena-cuaternaria (Fig. 1).

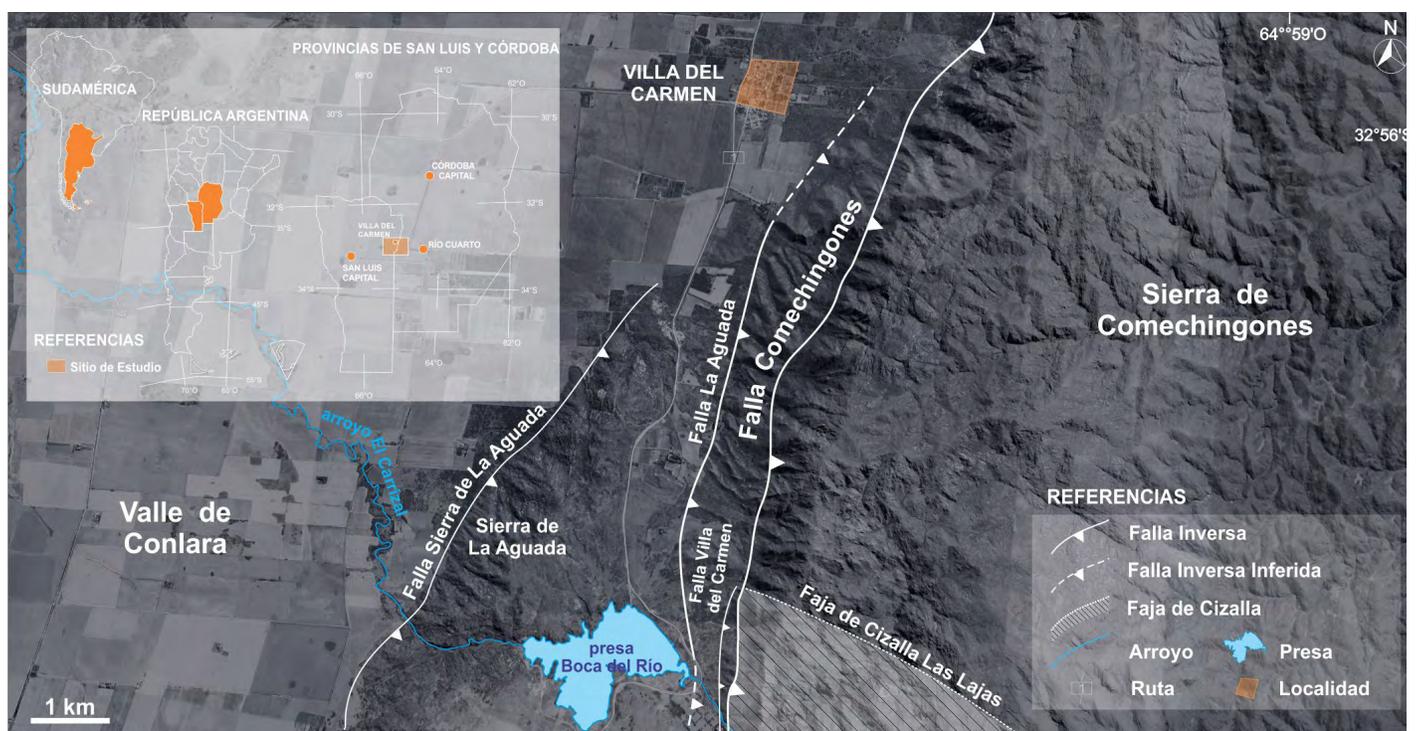


Figura 1. Imagen satelital de Google Earth con la ubicación del área de estudio.

Estratigrafía

El basamento cristalino está compuesto por esquistos biotíticos, leucogranitos, pegmatitas, mármoles y leucogranitos que conforman el Complejo Achiras (sierra de Comechingones) y el Complejo La Aguada-El Carrizal (sierra de La Aguada) (Otamendi et al. 2000, 2014, Cristofolini et al. 2017a). En ambos cordones montañosos se reconocen milonitas, protomilonitas, esquistos miloníticos, anfibolitas, y mármoles que forman también parte de la Faja de Cizalla Las Lajas (Cristofolini et al. 2017b).

La secuencia sedimentaria, que conforma el relleno del valle intermontano ubicado entre las sierras La Aguada y Comechingones, se compone principalmente de cuatro formaciones denominadas Río Quinto, Fraga, San Luis y Laguna Oscura que abarcan el intervalo temporal del Mioceno tardío al Holoceno (Costa et al. 2005).

La Formación Río Quinto (Santa Cruz 1979), está compuesta por areniscas finas a limosas y paquetes de ortoconglomerados rojizos masivos con estratificación laminar. También se reconocen niveles conglomerádicos finos con matriz arcillosa, cemento carbonático y bioturbación de plantas y animales pequeños. Estos depósitos corresponderían a un paleoambiente fluvial, dominado por procesos tractivos decantativos, con zonas de barras y canales marginales, y planicie de inundación. La edad asignada a esta unidad es Mioceno tardío a Plioceno medio (Chiesa et al. 2011). Esta unidad es equivalente a la formación Papagayos indicada en otros sectores de Sistema de Fallas Comechingones por Villalba et al. (2017), Costa et al. (2019).

La Formación Fraga (Santa Cruz 1979), constituye una sucesión de gravas y arenas con geometría predominante lenticular o tabular y estratificación plano paralela. Los clastos son subangulosos a redondeados, de baja esfericidad y generalmente elongados. Esta unidad apoya en discordancia erosiva sobre las sedimentitas rojas pliocenas de la Formación Río Quinto y es cubierta en idéntica relación por los materiales eólicos de la Formación San Luis. Con base en el hallazgo de un fragmento molar de *Stegomastodon platen-sis*, Chiesa et al. (2000) la asignan al Pleistoceno superior. Esta unidad es equivalente a la Formación Renca indicada en otros sectores de Sistema de Fallas Comechingones por Villalba et al. (2017), Costa et al. (2019).

La Formación San Luis (Santa Cruz 1979), está caracterizada por limos arenosos y limos arcillosos con estructuras sedimentarias indicativas de ambiente eólico. Se disponen cubriendo a las arenas y conglomerados de la Formación Fraga por lo que se asignan al Pleistoceno superior-Holoceno.

La Formación Laguna Oscura está constituida por arenas

finas a muy finas con muy bajos porcentajes de arcillas y limos. En sectores presenta estructura cruzada planar, la edad definida, obtenida por OSL para esta formación, es entre 3.7 ka y 4.2 ka (Cantú 2006).

Marco estructural

Las deformaciones cuaternarias en las Sierras Pampeanas, que reflejan el estilo de la tectónica regional andina, se encuentran relacionadas con fallas inversas de geometría lítrica que generalmente inclinan al este (González Bonorino 1950). Estos corrimientos son reactivaciones de fracturas preexistentes y, en la mayoría de los casos, están controladas por anisotropías de la estructura interna del basamento. Presentan un buzamiento variable entre 30°E y 70°E y si se considera en un sentido amplio, la escarpa de falla que generan constituye el frente de levantamiento de las sierras, concentrándose allí las principales manifestaciones de tectónica cuaternaria (Costa 1996, 2004, Martino et al. 2016).

El Sistema de Fallas Comechingones constituye el frente de levantamiento de la sierra homónima. Su trazo principal se presume localizado en la intersección de la ladera serrana occidental con el piedemonte, aunque no se disponen de descripciones de afloramientos del mismo en la Provincia de Córdoba (Costa et al. 1998, 1999) (Fig. 1 y 2). Esta zona de cizallamiento está caracterizada por diferentes secciones de fallas inversas, con una inclinación variable entre 45°E y 55°E (Costa et al. 1992, 1994, 1999, 2001, Costa y Morla 1996, Costa y Vita Finzi 1996) y su expresión en planta aparece controlada por la interacción de anisotropías previas con orientación dominante NNO y fracturas oblicuas de mucha menor extensión y orientación NO y NE determinando un arreglo escalonado en planta (Costa y Morla 1996, Costa et al. 1998).

Se distinguen el trazo principal o falla Comechingones (Fig. 1 y 2), responsable de la morfogénesis serrana, y a lo largo del frente principal estructuras pedemontanas asociadas, de menor significación topográfica, pero de mayor relevancia neotectónica. Los rasgos morfotectónicos que permiten caracterizar el trazo del Sistema de Fallas Comechingones pueden reconocerse desde de la latitud de 31°49' sur (Nono-Las Rabonas) en la provincia de Córdoba y a lo largo de 160 km aproximadamente, hasta la localidad de La Punilla en la Provincia de San Luis (Costa et al. 2014).

Hasta el momento tres estructuras, con evidencias de actividad cuaternaria, han sido reportadas en la zona pedemontana. La falla El Molino, la cual ha sido descrita en el arroyo homónimo que atraviesa la localidad de Merlo, es considerada una ramificación de la falla de Comechingones, posee

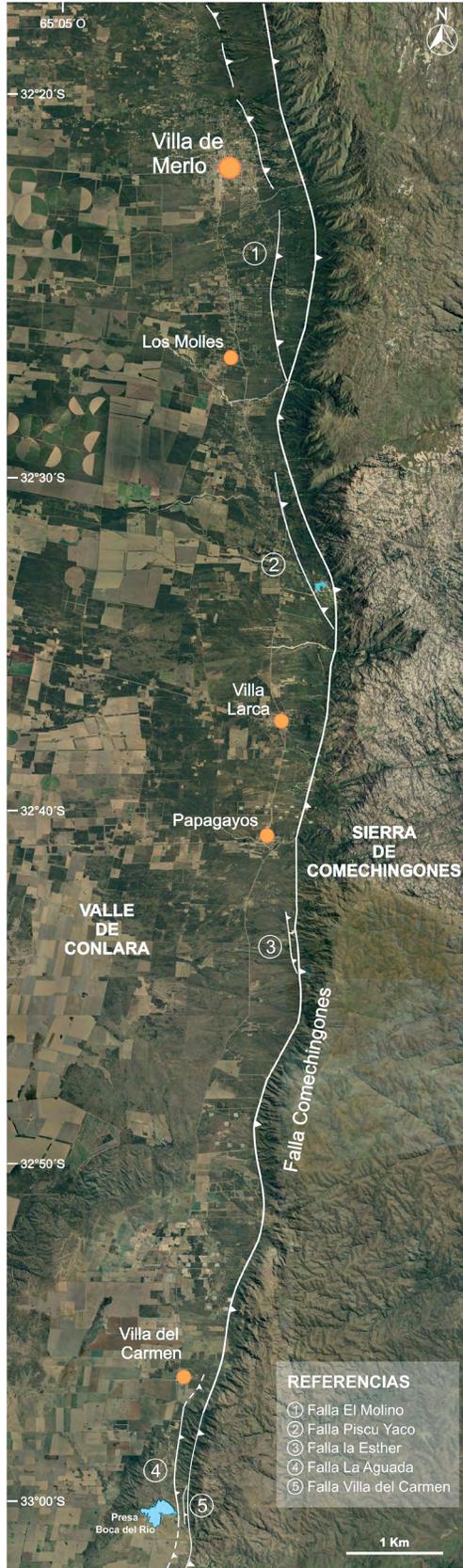


Figura 2. Imagen satelital de *Google Earth* con la ubicación de las principales estructuras reportadas para el centro-sur del Sistema de Fallas Comechingones.

una orientación general NO-SE y buzamiento 25° - 50° E-NE. La misma ha sido interpretada como un *piedmont foreland*, en donde se reconoce una compleja estratigrafía asociada a la propagación de dos corrimientos con vergencias opuestas. En dicha estructura se ha registrado un mínimo de tres eventos de ruptura con un desplazamiento cosísmico aproximado de ~ 1 m, los cuales se encuentran asociados con paleomagnitudes $M > 7.0$ y una recurrencia de 2-3ka en los últimos ~ 7 ka (Costa et al. 2014, 2018) (Fig. 2).

La falla Piscu Yaco, descrita en un perfil antrópico en las inmediaciones de la presa homónima, entre las localidades de Cortaderas y Villa Larca, presenta una orientación general NO-SE con buzamiento al E-NE y expone deformaciones frágiles junto a evidencias indirectas *off fault* que indican actividad tectónica a partir del Plio-Pleistoceno. En este sector areniscas rojizas de la Formación Papagayos muestran discordancias progresivas que apoyan sobre el basamento cristalino, con buzamientos de entre 6° y 12° hacia el E en

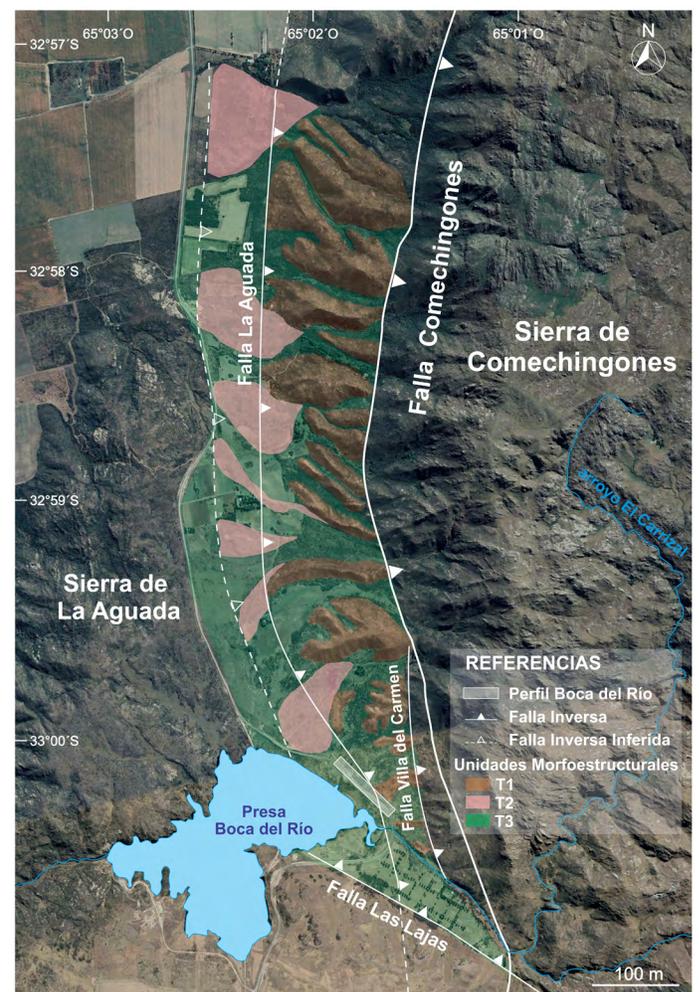


Figura 3. Imagen satelital de *Google Earth* donde se reconoce las unidades morfoestructurales (T1, T2 y T3), el trazo de las fallas La Aguada, Villa del Carmen y Comechingones, y el perfil Boca del Río.

sentido opuesto a la pendiente regional que indicarían distintos eventos de reactivación tectónica durante el Pleistoceno inferior (Funes 2019) (Fig. 2).

La falla La Esther, situada a unos 6 km al sur de la localidad de Papagayos, presenta un azimut de 353° y un buzamiento promedio de 47° hacia el E. El bloque elevado de la misma está formado por basamento de edad paleozoica que sobrecorre a depósitos cuaternarios equivalentes a la Formación Papagayos (de edad pliocena-pleistocena temprana) y a la Formación Renca (pleistocena tardía). Estudios previos determinaron un desplazamiento de inclinación post Pleistoceno medio de, al menos, 2.20 m (Villalba et al. 2017, Costa et al. 2019) (Fig. 2).

Hacia el extremo sur del Sistema de Fallas Comechingones se reconocen morfologías superficiales que podrían vincularse a fallas con posible actividad cuaternaria y que aún no han sido estudiadas como las fallas Villa del Carmen y La Aguada que presentan azimuts de 5° y 353° respectivamente (Castaldi et al. 2021). Estas estructuras son objeto principal de este estudio y se encuentran ubicadas al sur de la localidad de Villa del Carmen en cercanías de la presa Boca del Río (Figs. 2 y 3).

Marco geomorfológico-hidrológico

Las sierras de Comechingones y La Aguada constituyen dos morfoestructuras de rumbo NNE-SSO cuya altitud desciende paulatinamente hacia el sur. En sentido este-oeste muestran una marcada asimetría dada por el basculamiento hacia el este de grandes bloques de basamento, que presentan las máximas alturas en el borde occidental, disminuyendo en forma escalonada hacia el este hasta quedar debajo de la cubierta sedimentaria. Estas morfoestructuras presentan en su frente occidental una escarpa de falla coincidente con el frente de levantamiento andino (Costa et al. 2005, Carignano et al. 2014).

En la depresión intermontana entre ambos bloques serranos, se reconocen geofomas que exponen secuencias sedimentarias neógenas-cuaternarias y que representan ciclos de agradación/erosión controlados por oscilaciones climáticas y eventos neotectónicos (Costa et al. 1998, 2005, 2018, Bonalumi et al. 1999, Chiesa y Strasser 2009, Chiesa et al. 2011).

Asociadas al piedemonte occidental de la sierra de Comechingones se reconocen tres unidades morfoestratigráficas, denominadas de la más antigua a la más moderna T1, T2 y T3 que se corresponden a diferentes niveles de depósitos aluviales. La unidad T1 está constituida por lomas alineadas que buzaban hacia el este, con intensidades que no superan los 5° , y están conformadas por sedimentos de edad Neóge-

no-Cuaternario (formaciones Río Quinto y Fraga). La unidad T2 está ubicada al oeste de la T1 y está constituida por materiales más modernos (formaciones Fraga y San Luis) que se encuentran suavemente inclinados hacia el este. La unidad T3 constituye el relleno actual del fondo de los valles y está formada por materiales arenosos y loésicos retransportados equivalentes a la Formación Laguna Oscura (Castaldi et al. 2021) (Fig. 3).

En el sector analizado, la mayoría de los cursos que de agua drenan el frente occidental de la sierra de Comechingones, descienden por la escarpa de falla e infiltran unos pocos kilómetros después de la interfase serranía- piedemonte. En general son de tipo efímeros, con bajos caudales y de régimen torrencial. La mayor parte de ellos forman parte de la cuenca del arroyo El Carrizal, un curso permanente, que drena un área de aproximadamente 26 km² en la sierra de Comechingones y atraviesa la sierra de La Aguada, en relación de antecendencia, para integrarse a la cuenca del río Conlara. Este colector eroga caudales mucho mayores, en relación con los arroyos del sector, y desde el año 2011 está regulado por la presa Boca del Río (Castaldi et al. 2018b, Castaldi et al. 2021).

Sismicidad regional

El área de las Sierras de Córdoba y San Luis, entre los 28° y 33° de latitud sur, se encuentra en una región en la cual los intervalos de recurrencia de sismos superan los registros de la sismicidad histórica y ha sido epicentro de numerosos terremotos de magnitud (Richter) $M \geq 5.0$, históricos y prehistóricos (Sagripanti et al. 2011). Con relación a estos últimos, los estudios paleosismológicos realizados sobre la falla El Molino indican, según la interpretación de Costa et al. (2018), que el umbral de energía para paleoterremotos que generan deformación superficial primaria, sería de $M_w \geq 7.0$.

En esta región 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, Richardson et al. 2012). La sismicidad en la región es moderada-leve y superficial, concentrada saltuariamente tanto en el frente occidental como en el oriental de la sierra de Comechingones. La magnitud de la mayoría de los microsismos es $M \leq 3.0$ y la profundidad hipocentral promedio es de 25 km.

METODOLOGÍA

Para la detección y ubicación de los sitios potenciales a

relevante se analizaron imágenes satelitales, modelos digitales de elevación de 30 m de resolución ASTER GDEM (www.earthexplorer.usgs.gov) y el foto-análisis de fotografías aéreas verticales a escala 1:20000 y oblicuas adquiridas a baja altura y con bajo ángulo de incidencia solar

En campo se realizó la descripción de un perfil antrópico, ubicado oblicuo al trazo de la falla La Aguada, generado por la modificación del trazado de la ruta provincial N° 1 en el sector de la presa Boca del Río. En el mismo se realizó un levantamiento geológico y neotectónico con el fin de detectar y describir, las unidades litológicas y las estructuras deformacionales presentes, sobre las cuales se midieron parámetros tales como rumbo, buzamiento, desplazamientos, entre otros. Asimismo, se obtuvieron dos muestras de sedimentos para su datación absoluta según el método SAR-OSL (*Single Aliquot Regeneration-optical stimulated luminescence*), las cuales se recolectaron introduciendo tubos metálicos herméticos a la luz, de 5 cm de diámetro y ~20 cm de largo, en secciones recién expuestas. Además, en el entorno del lugar donde se realizó la extracción de la muestra, se recolectaron 200 g de sedimentos adicionales de material heterogéneo, para la determinación de dose rates a utilizar.

RESULTADOS

La falla La Aguada en el perfil del Boca del Río posee un azimut de 353° y buzamiento variable de 25° a 45° al E, generando una morfología superficial de una escarpa que enfrenta al oeste. El trazo de esta estructura se puede reconocer a lo largo de aproximadamente 5.6 km, hasta su intersección con la falla Las Lajas (Fig. 3) y está definido por sus rasgos morfotectónicos. Los mismos se componen de lomas elongadas transversales al frente de levantamiento serrano principal (Fig. 4), que forman parte de la unidad T1 (Castaldi et al.

2021) y edad, probable, equivalente al Q3 definido por Costa et al. (2018). Estas morfologías descienden en altitud de norte a sur desde aproximadamente de 1190 a 1120 m s.n.m siendo disectadas por cursos sub-paralelos (E-O), con valles angostos, profundos y rectilíneos, que definen interfluvios lineares. En su borde occidental, exhiben formas triangulares que corresponden a la evolución de la escarpa cuaternaria de a la falla La Aguada (Castaldi et al. 2021). La sucesión estratigráfica de las mismas se compone de sedimentos fluviales, aluviales y coluviales inclinados hacia el este, correspondientes a la Formación Río Quinto coronados por gravas aluviales de la Formación Fraga.

La red fluvial en este sector es poco desarrollada y presenta una baja densidad de drenaje, siendo la mayoría de los cursos que descienden del frente principal de 1° y 2° orden, según la clasificación de Horton (1945) e infiltran unos kilómetros aguas abajo de la unión sierra-piedemonte. Estudios relacionados al análisis del perfil longitudinal en estos cursos de bajo orden, manifiestan la presencia de *knickpoints* y una importante convexidad asociados a la presencia y actividad tectónica de la falla La Aguada (Castaldi et al. 2021).

Perfil Boca del Río

El perfil Boca del Río se ubica 7 km al sur de la localidad de Villa del Carmen (33°00'23" latitud sur y 65°02'29.51" longitud oeste), en la margen noreste de la ruta provincial N°1 (Fig. 3). El mismo se encuentra sobre el trazo de la falla La Aguada, posee un rumbo de 150°, una longitud de 60 m y una altura promedio de 4 m (Figs. 3 y 5).

Las unidades litológicas que se reconocieron y describieron en el perfil, de base a techo, se denominaron de forma consecutiva como Unidad A (A) y Unidad B (B) (Fig.6).

Unidad A (A): compuesta en mayor proporción por arenas gruesas a medias, masivas de color rojizo, sin una estructura apreciable. Subordinadas a las fracciones de mayor ta-

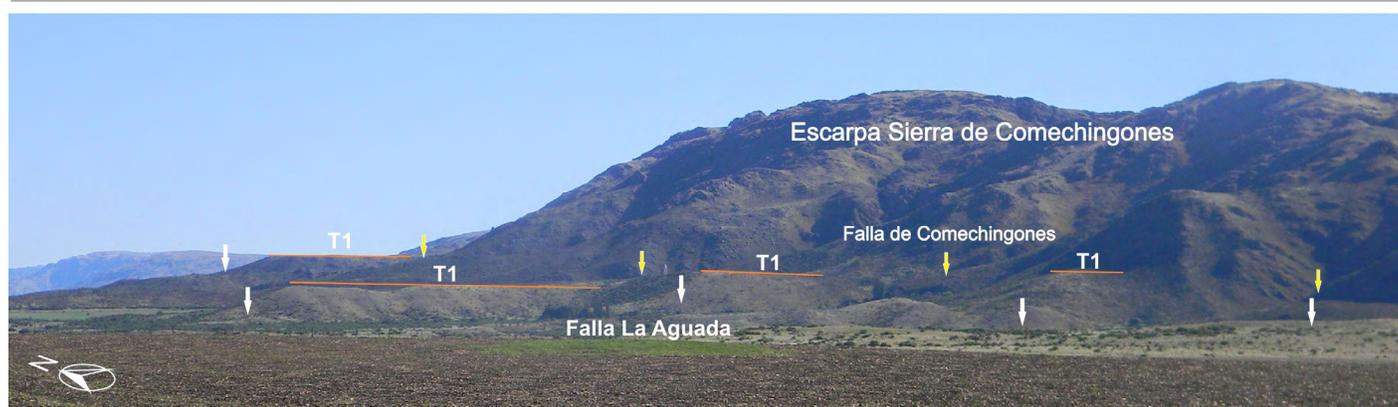


Figura 4. vista al NE de la escarpa occidental de falla de la sierra de Comechingones, donde se visualiza el nivel aluvial (T1) levemente inclinado hacia el Este (líneas continuas anaranjadas). Las flechas amarillas indican el trazo de la falla Comechingones y las flechas blancas el de la falla La Aguada.



Figura 5. Foto aérea oblicua en donde se muestra con línea continua blanca con indicación del bloque elevado el trazo de las fallas La Aguada, Villa del Carmen y Comechingones, con recuadro blanco en perspectiva el perfil Boca del Río.

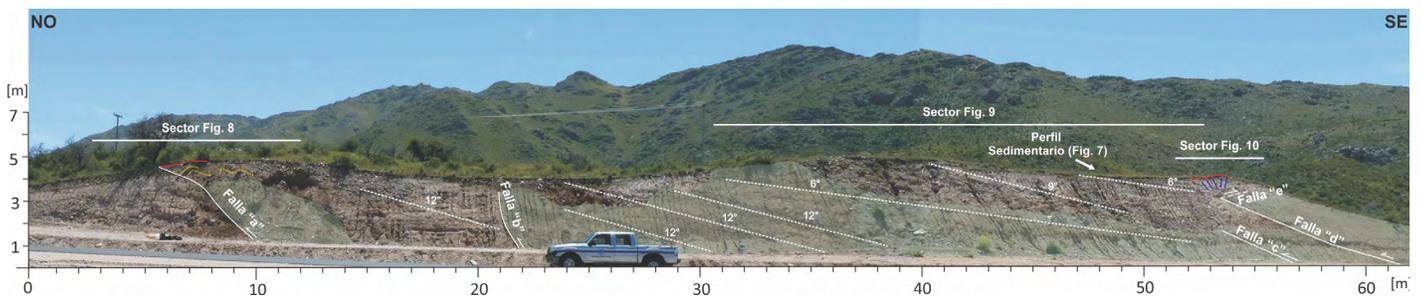


Figura 6. Perfil Boca del Río con indicación de las estructuras relevadas, en líneas blancas las frágiles y con líneas amarillas las dúctiles. Las pequeñas escarpas se indican con una línea continua roja. En transparencia verde está representada la unidad A (A), las partes del perfil sin colorear corresponden a la unidad B (B_1 y B_2).

maño, se encuentran limos y arcillas masivas que presentan abundante cantidad de ceniza volcánica. En esta unidad se reconocen concreciones calcáreas y tabiques de yeso rellenando fisuras verticales, que conforman cuerpos de geometría tabular (Fig. 7). Esta unidad se correlaciona tanto por su posición estratigráfica, como su composición sedimentológica y su interpretación ambiental (en sus facies decantativas tipo *playa lake*) con la Formación Río Quinto de edad Mioceno tardío a Plioceno medio. Los sedimentos de esta unidad fueron datados, muestra BR1, por el método SAR-OSL (Fig. 8) y se obtuvo una edad mínima >175000 años (Cuadro 1).

Unidad B (B): se dispone en contacto erosivo y clara estructura de corte y relleno sobre la unidad A conformando cuerpos lenticulares de gravas medias a aglomerados clasto a matriz sostén. Los clastos son líticos, se presentan imbricados hacia el noreste, o ausentes de fábrica y la composición de los mismos corresponde a esquistos, migmatitas y

granitoides que alcanzan hasta 0.70 m de tamaño en su eje mayor. Las facies psefticas alternan con cuerpos lenticulares a tabulares de gravas medias a arenas finas. La estructura sedimentaria de mayor relevancia es la gradación normal, aunque también se distingue estratificación horizontal difusa y estratificación entrecruzada en artesas, la composición mineralógica de los clastos es cuarzo, feldespato y fragmentos líticos de granitoides y rocas metamórficas (Fig. 7). Ambientalmente, estos depósitos corresponden al interjuego de facies proximales a medias de sistemas de abanicos aluviales con alternancia de flujos de corrientes más a menos diluidas y energicamente variadas provenientes de la ladera occidental de la sierra de Comechingones.

Con el fin de facilitar la descripción se denominará B_1 a la facies más gruesa de la unidad (conglomerados clasto soportado) y B_2 a la más fina (lentes de gravas medias, limos y arcillas). Los sedimentos de esta última subunidad fueron

Cuadro 1. Edad obtenida a partir de granos de cuarzo de depósitos fluviales de la Formación Fraga y Formación Río Quinto mediante el método SAR-OSL (Single Aliquot Regeneration - optically-stimulated luminescence).

Nombre de la muestra/ profundidad (m)	Número de Laboratorio	Aliquota ^a (µm)	Tamaño de grano (µm)	Dosis equivalente (D _x)	Sobredispersión ^c (%)	U(ppm) ^d	Th 8 (ppm) ^d	K2o(%) ^d	H2o(%) ^d	Tasa de dosis cósmica (mGray/yr) ^e	Dosis (mGray/yr) ^e	Edad SAR-OSL (yr) ^f
BR1/3.50	BG4881	7/15	150-250	>400	NA	1.40±0.01	3.42±0.01	2.20±0.01	10±2	0.16±0.016	2.27±0.06	>175.000
BR2/2.00	BG4883	36/40	100-63	124.89±4.97	19±3	3.430±0.01	10.35±0.01	2.12±0.01	10±2	0.18±0.018	3.55±0.08	35.210±1555

^aAlícuotas medidas, utilizadas para definir la población mediante modelos de agua Central o Mínima (Galbraith y Roberts 2012)

^bDosis equivalente calculada sobre una fracción de cuarzo puro con alícuotas ultrapequeñas con 20-80 granos / alícuota y analizada bajo excitación con luz azul (470 ± 20 nm) mediante protocolos de regeneración de alícuota única (SAR; Murray y Wintle 2003; Wintle y Murray 2006). La dosis equivalente (De) se calculó mediante modelos de edad central o mínima (Galbraith y Roberts 2012)

^cLos valores de sobredispersión reflejan una precisión más allá de los errores instrumentales; valores de ≤ 20% (en el límite de 1 sigma) indican una baja dispersión en valores de dosis equivalentes y definen una distribución unimodal. Los valores > 20% están asociados con dosis equivalente mixta que refleja múltiples poblaciones de granos o un reiniciado solar parcial

^dEl contenido de U, Th, Rb y K fue analizado por espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente por ALS Laboratories, Reno, NV; e incluye dosis de Rb.

^eIncluye también una tasa de dosis cósmica calculada a partir de los parámetros de Prescott y Hutton (1994) e incluye componentes blandos (Peng y Forman 2019).

^fErrores sistemáticos y aleatorios calculados con una desviación estándar por la Calculadora de fecha y edad por luminescencia (LDAC) en <https://www.baylor.edu/geosciences/index.php?id=962356> (Peng y Forman 2019) El año de referencia es AD 2010."

datos, muestra BR2, por el método SAR-OSL (Fig. 10) y se obtuvo una edad absoluta 35210 ± 1550 años (Cuadro 1). Tanto la facies B₁ como la facies B₂ se corresponderían a la Formación Fraga.

En las unidades estratigráficas, A y B presentes en el perfil, se reconocen deformaciones dúctiles y frágiles de escala mesoscópica que se describen a continuación (Fig. 6).

En el extremo NO del perfil, entre los m 4-8, se identificó un plano de falla denominado falla "a" de orientación 353° y buzamiento 45° al E que afecta las unidades A y B (Fig. 8). El mismo define un bloque colgante conformado por la unidad A, de la cual sólo se reconoce su límite estratigráfico superior, y sobreyaciendo a la misma, la facies B₁, donde se describieron pliegues isopacos anticlinales de longitud de onda centimétrica cuyos ejes son paralelos al plano de falla con vergencia al O. En este bloque también se identificó en el techo de la unidad A, en el contacto con el plano de falla, una deformación con geometría similar a un pliegue anticlinal de arrastre. Debido a que esta unidad no aflora en el bloque yacente, se determinó un desplazamiento de inclinación mínimo de 3 m para el techo de esta unidad (Fig. 8).

Asociado al plano de falla "a" se reconoció una pequeña escarpa en superficie de aproximadamente 0,20 m de altura orientada al oeste.

El bloque yacente está integrado por la facies B₂ que posee, entre los m 3.5-6.5, intercalaciones de 3 niveles de la facies B₁. La continuidad lateral de los mismos hacia el SE se ve interrumpida por el plano de falla "a" (Fig.8). La distancia medida entre las bases de los niveles B₁ sobre el plano de falla es, en promedio, de 1 m.

Entre los 2-4 m se reconoce un plano de discontinuidad física afectando las facies B₁ y B₂ (Fig.8).

En la zona central del perfil, entre los m 14-21, en la facies B₁ se midió el buzamiento de los planos de estratificación, el valor obtenidos fue 12° E (Fig. 6).

Entre los m 21-22, se reconoce un plano denominado falla "b" con una orientación 353° y buzamiento aproximado de 78° al E para el cual se asume un movimiento inverso que pone en contacto la unidad A (bloque del techo) y la facies B₁ de la unidad B (bloque del piso) (Fig. 6).

Entre los m 23-53, se reconocieron planos de estratificación en las unidades A, B con distintos ángulos de inclinación. Los buzamientos definidos para los mismos fueron entre 6° y 12° al E (Figs. 6 y 9).

En el extremo SE del perfil, entre los m 54-56.5 se describe la presencia de un plano de falla inferido denominado falla "c", de orientación 353° y buzamiento de 27° E. En el mismo sector, se reconoce una flexura de geometría monoclin en

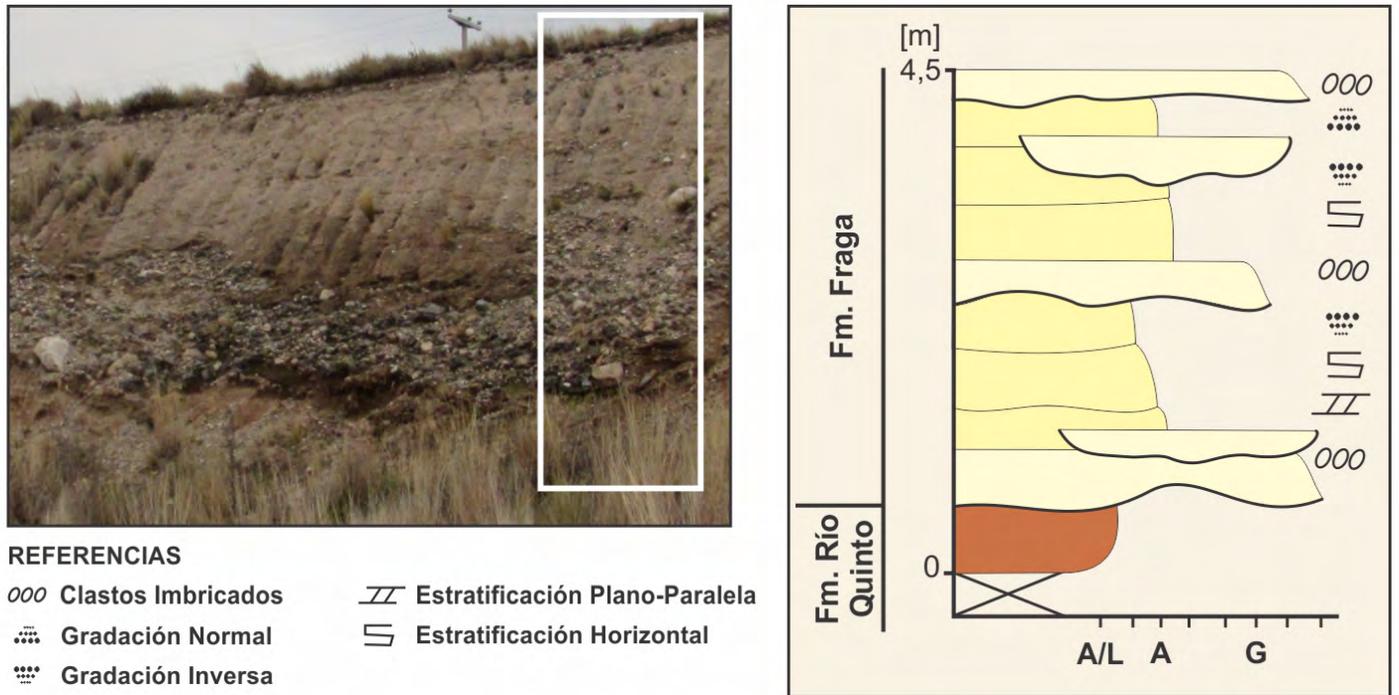


Figura 7. Perfil sedimentario con las unidades neógenas-cuaternarias presentes en la zona de estudio.

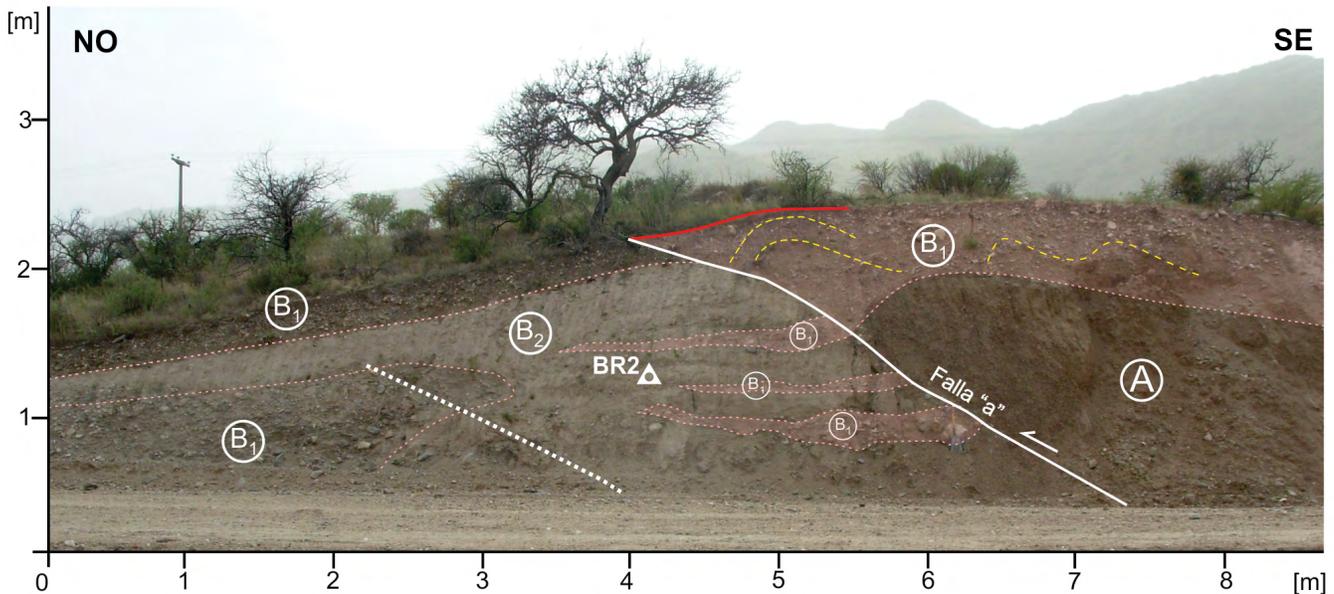


Figura 8. Perfil entre los m 0-8,5 con la indicación de las estructuras relevadas, en líneas blancas continua y de puntos las frágiles, con líneas discontinuas amarillas las dúctiles. La pequeña escarpa se indica con una línea continua roja. BR2 indica el lugar de toma de muestra para la datación.

el techo de la unidad A, cuyo eje tiene una orientación similar a la falla “c” y este estilo de deformación se propaga hacia la facies B₁ (Fig. 10).

Entre los m 55-61, se interpreta una geometría similar a una cuña de empuje limitada en su parte inferior por un plano de falla denominado falla “d” de orientación 353° y buzamiento 25° al E, que sobrecorre a la unidad A y la facies B₁ sobre la facies B₂ y en la parte superior por otro plano de falla deno-

minado falla “e” con similar orientación y buzamiento 17° al O.

En este sector, se reconoce una flexura en el techo de la facies B₁ que se refleja en superficie con una pequeña escarpa de aproximadamente 0.30 m de altura que enfrenta al O.

Sobre el plano falla denominado “d” se ha logrado determinar un desplazamiento de inclinación máximo de 3 m y un rechazo vertical de 1,26 m, tomando como referencia el techo la unidad A.

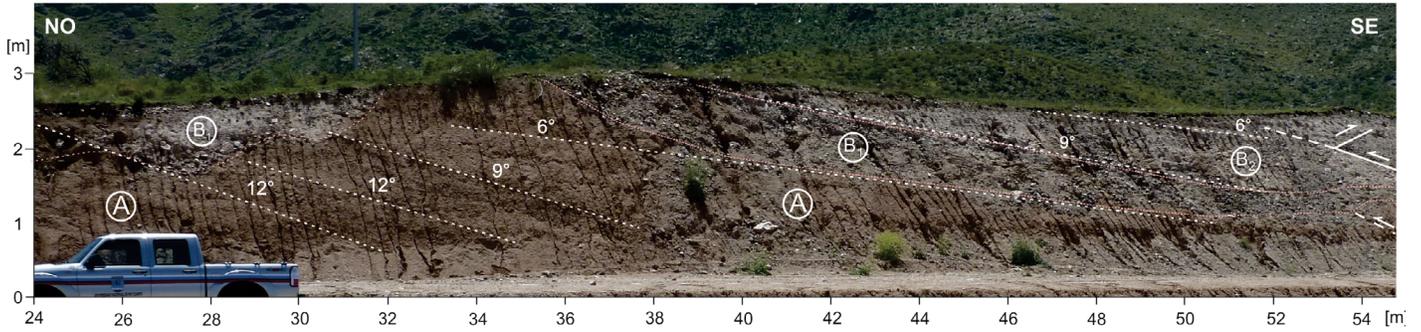


Figura 9. Perfil entre los m 24-54 con la indicación de las estructuras relevadas, en líneas discontinuas se representa los planos de estratificación de las unidades A y B con las diferentes intensidades de buzamiento.

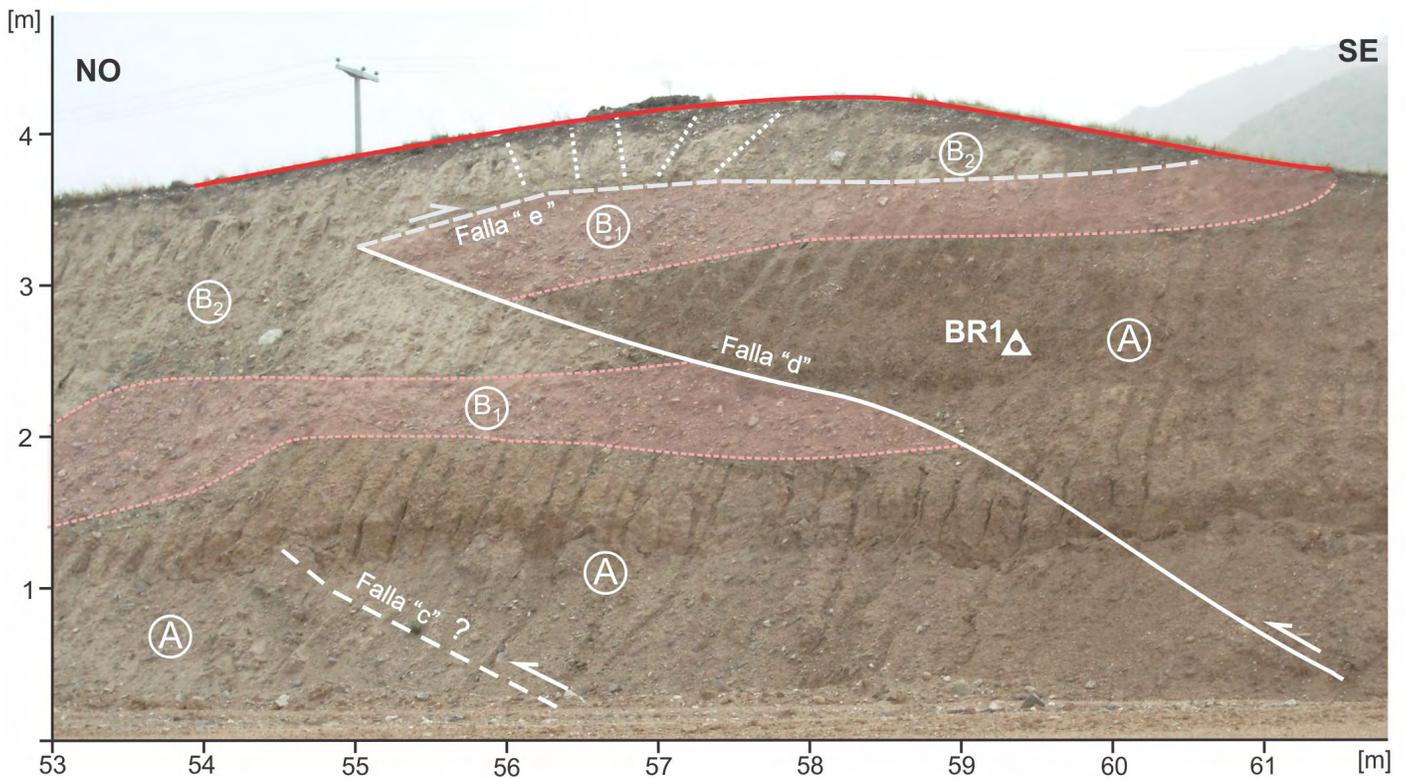


Figura 10. Perfil entre los m 53-61 con la indicación de las estructuras relevadas, en línea discontinua y continua blanca los planos de fallas, en línea continua de color blanca los planos distensivos y en línea continua roja la pequeña escarpa. BR1 indica el lugar de toma de muestra para la datación.

Entre los m 56-58, en los materiales de la facies B₂, adyacente al plano “e”, se han reconocido planos de discontinuidad física distensivos, subverticales similares a grietas de tensión, y paralelos a la orientación de las fallas, con una disposición en forma de abanico convergente hacia la base del perfil (Fig. 10).

Interpretación neotectónica de las deformaciones descritas

Se interpreta, para el extremo noroeste del perfil, entre los m 3.5-8, que las deformaciones tanto dúctiles como frágiles desarrolladas en los sedimentos expuestos responden

al empuje generado por la falla “a” de movimiento inverso. Los depósitos de la facies B₁ descritos en el bloque yacente podrían ser parte de la unidad B₁, ubicada en el bloque del techo, que han sido desplazados durante la actividad de esta estructura. Al mismo tiempo estos niveles podrían ser la evidencia en el registro estratigráfico de rupturas en superficie generadas a partir de la ocurrencia de paleoeventos sísmicos sucedidos durante la depositación de la unidad B, cuya edad determinada es de ca. 35 ka.

La actitud y disposición de las deformaciones dúctiles descritas en el bloque del techo afectando materiales de la unidad B₁ de edad pleistocena superior, representadas por

los pliegues anticlinales y la presencia de la pequeña escarpa que enfrenta al oeste podrían ser resultado del movimiento inverso de la falla "a" posteriores a los ca. 35 ka.

Otra evidencia de deformación encontrada en este perfil es el plano de falla "b" que ha generado el basculamiento de las unidades A y B hacia el este, las cuales contienen planos de estratificación que originalmente buzaban hacia al oeste y actualmente presentan valores de 6°, 9° y 12° al este, generados por posibles cambios en el nivel de base durante la depositación de los mismos.

Los planos de falla reconocidos entre los m 55-61 se interpretan como una cuña de empuje limitada en su parte inferior por un plano de falla denominado "d" que sobrecorre a la unidad A y la facies B₁ sobre la facies B₂ y en la parte superior por otro plano de falla denominado "e", generando un posible retrocorrimento (*backthrust?*) de la facies B₂ sobre las B₁ y la unidad A. El empuje tanto horizontal como vertical que genera la cuña descrita produce la flexura anticlinal en el techo de la facies B₁ que se propaga en los sedimentos de la facies B₂ propiciando la aparición de fracturas de distensión convergentes en la charnela del anticlinal resultante y generando, en superficie, una pequeña escarpa paralela a la orientación de los planos de fallas que enfrenta al O.

Teniendo en cuenta las edades de las unidades afectadas, se interpreta que las estructuras descritas en este sector son resultado de la ocurrencia de 1 o más eventos paleosísmicos ocurridos durante o posteriores a los ca. 35 ka.

Sobre la base de lo descrito anteriormente en el perfil Boca del Río, se interpreta que todas las deformaciones relevadas, tanto dúctiles como frágiles, han sido generadas a partir de los esfuerzos compresivos relacionados a la actividad tectónica en la zona de falla de la falla La Aguada, integrada por al menos 3 planos de falla inversas, que resultan de la ocurrencia de paleoterremotos registrados a partir de los ca. 35 ka.

DISCUSIÓN

El Sistema de Fallas Comechingones posee numerosos antecedentes neotectónicos y paleosismológicos que permiten ubicar con bastante precisión su frente activo de deformación, puesto en evidencia por morfologías de *piedmont forelands* o *forebergs* asociadas principalmente a la falla El Molino como la de mayor expresión (Costa 2019), junto a las fallas Pisco Yaco (Funes 2019) y La Esther (Villalba et al. 2017, Costa et al. 2019), las cuales constituyen ejemplos que dan continuidad a este frente de deformación hacia el sur. La falla

La Aguada, ubicada en el ámbito del piedemonte hacia el sur de las estructuras antes mencionadas presenta en superficie, importantes rasgos morfológicos definidos por una serie de lomas transversales alineadas al frente montañoso principal, las cuales están basculadas levemente hacia el este y forman parte del nivel aluvial T1. El extremo occidental de estas morfologías presenta una escarpa de cara hacia la cuenca que define el trazo de la estructura a lo largo de 5,6 km y que, en su base, se reconocen sedimentos pre-cuaternarios.

Los rasgos morfológicos descritos, junto a los resultados obtenidos en el perfil Boca del Río constituirían evidencia de los movimientos cuaternarios de la falla La Aguada y probarían la migración de la actividad tectónica hacia la cuenca. Las características antes mencionadas, asociadas a la estructura analizada, poseen similitud con las particularidades de los piedmont *forelands* o *forebergs* reconocidos por Costa (2019) en otras estructuras pedemontanas de Sierras Pampeanas, como así también, corresponderían a expresiones del frente de deformación activa del Sistema de Fallas de Comechingones a la latitud de 33° S.

Las evidencias neotectónicas presentes en la falla La Aguada reconocidas en el perfil Boca del Río, como planos de falla de movimiento inverso, pliegues, niveles de estratificación inclinados en dirección opuesta a su posición de depositación original, entre otros, están deformando unidades estratigráficas de edades equivalentes a las afectadas en las fallas Pisco Yaco y La Esther (Villalba et al. 2017, Funes 2019), por lo tanto, las evidencias de deformación relevadas podrían ser características para este sector del Sistema de Fallas de Comechingones.

Los parámetros estructurales definidos para la falla La Aguada, en el perfil estudiado, tales como movimiento inverso, orientación NNO-SSE del trazo y plano buzante hacia el este entre 25°-45° que afecta materiales de edad cuaternaria, son similares a los de las estructuras pedemontanas ya mencionadas como El Molino (Costa et al. 2018), Pisco Yaco (Funes 2019) y La Esther (Villalba et al. 2017), las cuales, además, se caracterizan por ser subparalelas al trazo de la falla de Comechingones, siendo asintóticas hacia la misma en su extremo austral al igual que la estructura analizada. Por lo tanto, las similitudes de las características de la falla La Aguada con las otras estructuras mencionadas permiten considerarla como parte del Sistema de Fallas Comechingones como así también proponer a la misma como la expresión de deformación cuaternaria más austral de este sistema, hasta el presente.

Estudios neotectónicos realizados en la falla El Molino constituyen un avance en la estimación del umbral de energía

de paleoterremotos para Sierras Pampeanas que generan deformación superficial primaria indicando, según la interpretación de los autores, que el mismo sería de $M_w \geq 7$ (Costa et al. 2018). Los depósitos de la facies B₁ con discontinuidad lateral producida por la presencia del plano de falla "a", que posiblemente representarían rupturas primarias en superficie indicadas en el registro estratigráfico del perfil Boca del Río, serían evidencia de que la energía vinculada a los movimientos de la falla La Aguada podrían haber alcanzado el umbral definido para este ambiente tectónico.

CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

En el piedemonte occidental de la sierra de Comechingones, asociadas a la falla La Aguada, se han relevado, en sedimentos no consolidados de ca. 35 ka, evidencias de deformaciones dúctiles y frágiles. Estas evidencias permiten confirmar la ubicación de la falla La Aguada y concluir que la misma ha tenido actividad durante el Pleistoceno superior - Holoceno, siendo las primeras deformaciones cuaternarias reportadas en el sector austral del Sistema de Fallas Comechingones.

La presencia de lomas transversales alineadas al frente montañoso principal basculadas levemente hacia el este y que forman parte de niveles aluviales en cuyo extremo occidental presentan una escarpa de cara hacia la cuenca, ubicada al oeste, junto a las deformaciones cuaternarias, asociadas a la falla La Aguada, permiten concluir que estas morfoestructuras constituye un *piedmont forelands* o *forebergs*, y extender la ubicación del frente de deformación activa hacia el extremo sur del Sistema de Fallas Comechingones.

Las deformaciones descritas en el perfil Boca del Río podrían indicar que la falla La Aguada tendría la potencialidad para generar eventos sísmicos que podrían alcanzar el umbral de energía necesario para producir deformación en superficie, por lo que el peligro sísmico asociado a la misma podría ser importante. Dado que esta estructura se encuentra en proximidades de presas, de localidades de una zona turística y de la principal vía de comunicación de éstas, se considera que es necesario de forma imperativa realizar estudios neotectónicos y paleosismológicos para avanzar en el conocimiento de su comportamiento futuro, como también sobre sus parámetros sismogénicos.

Debido a la ausencia de unidades estratigráficas de edades holocenas en el perfil estudiado, se considera necesario avanzar con estudios neotectónicos hacia el interior de la

cuenca para verificar la presencia de otras estructuras cuaternarias y la posible existencia de deformaciones cosísmicas en sedimentos holocenos para completar el registro paleosísmico de la zona que permita hacer una estimación del potencial sísmico del sector occidental del piedemonte a la latitud de la falla La Aguada.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado mediante proyectos de investigación financiados por la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Río Cuarto (SeCyT-UNRC), la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) y Fondos para la Investigación Científica y Tecnológica (FONCyT). Los autores de este trabajo agradecen la lectura y comentarios críticos del Dr. Carlos Costa junto a la de los revisores el Dr. Frank Audemard, el Dr. Víctor García y el Dr. Andrés Richard, que constituyen valiosos aportes para la mejora del manuscrito.

REFERENCIAS

- Alvarado, P., Castro de Machuca, B. y Beck, S. 2005. Comparative seismic and petrographic crustal study between the Western and Eastern Sierras Pampeanas region (31°S). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 60(4): 787-796.
- Bonalumi, A., Martino, R., Baldo, E., Zarco, J., Sfraugulla, J., Carignano, C., Kraemer, P., Escayola, M. y Tauber, A. 1999. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina. Hoja Geológica 3166-IV-Villa Dolores. *Boletín* N°250. Instituto de Geología y Recursos Minerales, 141 p., Buenos Aires.
- Bull, W. 2008. *Tectonic Geomorphology of Mountains: A New Approach to Paleoseismology*. Blackwell Publishing, 316 p., London.
- Cantú, M., Schiavo, H., Becker, A., Zhou, L. y Grumelli, M. 2006. Pleistoceno superior tardío-Holoceno de la cuenca media del arroyo Santa Catalina, provincia de Córdoba, Argentina. 3° Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, Actas 2: 777-786, Córdoba.
- Carignano, C., Kröling, D., Degiovanni, S. y Cioccale, M. 2014. Geomorfología.: Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba. Martino, R. D. y Guerreschi, A. B. (eds.) 19° Congreso Geológico argentino, Relatorio: 747-821, Córdoba.
- Castaldi, G., Villalba, D. y Villegas, M. 2017. Nuevas secciones en el extremo Sur del sistema de Fallas de Comechingones, Villa del Carmen-La Punilla, San Luis. 20° Congreso Geológico Argentino, Actas: 26 – 28, Tucumán.
- Castaldi, G., Villalba, D. y Sagripanti, G. 2018a. Evidencias de deformación cuaternaria asociadas a la Falla La Aguada. Extremo Sur del Sistema de Falla de Comechingones. 17° Reunión de Tectónica y 6° Field Workshop in Tectonics, Actas: 35, La Rioja.

- Castaldi, G., Degiovanni, S., Sagripanti, G. y Villalba, D. 2018b. Análisis de perfiles longitudinales en la cuenca del Arroyo El Carrizal como indicadores de actividad neotectónica, San Luis, Argentina. 7°. Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, Actas: 177-179, Puerto Madryn.
- Castaldi, G., Degiovanni, S., Villalba, D. y Sagripanti, G. 2021. River Longitudinal Profile analysis as indicator of Neotectonic Activity. A case Study: The El Carrizal creek basin, Comechingones Ranges, Eastern Pampean Ranges, San Luis, Argentina. *Advances in Geomorphology and Quaternary Studies of Argentina*, Tomo 3: 67-91.
- Chiesa, J. y Strasser E. 2009. Los depósitos cenozoicos en el área Austral de la depresión de Conlara, San Luis, Argentina. En: Sayago, J. M. y Collantes, M. M. (eds.), *Geomorfología y Cambio Climático*. Instituto de Geociencias y Medioambiente, Universidad Nacional de Tucumán, Tomo 1: 163-173, Tucumán.
- Chiesa, J., Strasser, E., Tognelli, G. y Prado, J. 2000. La presencia de Proboscídeos en los sistemas fluviales de San Luis, Argentina. 16° Jornadas Argentinas de Paleontología de Vertebrados, R: 18. San Luis.
- Chiesa, J., Basaez, A., Navío, J., Lucero, N., Ojeda, G. y Strasser, E. 2011. Miocene-Pliocene stratigraphy of the San Luis Province, Argentina. En: Salfity, J. A. y Marquillas, R. A. (eds.) *Cenozoic Geology of the Central Andes of Argentina*, Tomo 1: 75-89. Salta.)
- Costa, C. 1996. Análisis neotectónico en las Sierras de San Luis y Comechingones: Problemas y métodos. 13° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 285-300, Buenos Aires.
- Costa, C. 1999. Rasgos estructurales del territorio argentino, tectónica cuaternaria en las Sierras Pampeanas. En: Caminos, R. (ed.), *Geología Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Anales 29: 779-784. Buenos Aires.
- Costa, C. 2004. Microtectónica en el Cuaternario?: Métodos y aplicaciones de la Paleosismología. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, Serie D: Publicación Especial 7: 9-19.
- Costa, C. 2019. La migración del frente de corrimiento neotectónico de las Sierras Pampeanas y su impronta morfológica. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 76 (4): 315-325.
- 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 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, Argentina.
- Costa, C., Murillo, M., Vita-Finzi, C. y Gardini, C. 1994. Quaternary faulting and perspectives for paleo-seismological studies in the southeastern Pampean Ranges, Argentina. In: Prentice, C., Schwartz, D., and Yeats, R. (eds.), *Workshop on Paleoseismology: United States Geological Survey Open-File Report 94-568*: 39-40, Virginia.
- Costa, C., Ortiz Suarez, 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, Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 373. Buenos Aires.
- Costa, C., Gonzalez Díaz, E., Murillo, M., Gardini, C., Giaccardi, A., Sequeiros, J. y Bea, S. 1999. Morfonotectónica del frente de levantamiento andino de la Sierra de Comechingones, Provincia de Córdoba y San Luis. XIV Congreso Geológico Argentino, Actas I: 32-33.
- Costa, C., Murillo, V., Sagripanti, G. L. y Gardini, C. 2001. Quaternary intraplate deformation in the southeastern Sierras Pampeanas, Argentina. *Journal of Seismology* 5: 399-409.
- Costa, C., Ortiz Suarez, A., Miró, R.C., Chiesa, J., Gardini, C., Carugno, A., Ojeda, G., Guerstein, P., Tognelli, G., Morla, P. y Strasser, E. 2005. Hoja Geológica 3366-IV, Villa Mercedes. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Boletín 348: 1-99, Buenos Aires.
- Costa, C., Massabie, A., Sagripanti, G., Brunetto, E. y Coppolecchia, M. 2014. Neotectónica. 19° Congreso Geológico Argentino, Martino, R. D. y Guerreschi, A. B. (eds.) 19° Congreso Geológico argentino, Relatorio: 725-745, Córdoba.
- Costa, C., Owen, L.A., Ricci, W.R., Johnson, W.J. y Halperin, A.D. 2018. Holocene activity and seismogenic capability of intraplate thrusts: Insights from the Pampean Ranges, Argentina. *Tectonophysics* 737: 57-70.
- Costa, C., Morla, P., Hauriab, N. y Garroa, H. 2019. The structural framework of an intermountain basin in the Pampean Ranges of Argentina; the Conlara depression. *Journal of South American Earth Science* 96: 102387.
- Cristofolini, E., Barzola, M., Otamendi, J., Tibaldi, A., Morosini, A., Armas, A. y Camilletti, G. 2017a. Petrological and geochemical characterization of the plutonic rocks of the Sierra de La Aguada, Province of San Luis, Argentina: Genetic implications with the Famatinian magmatic arc. *Estudios Geológicos* 73 (1): e065
- Cristofolini, E., Otamendi, J., Martino, R., Tibaldi, A. y Barzola, M. 2017b. Faja de Cizalla Las Lajas: Petrografía, estructura interna e implicancias tectónicas, extremo sur de la sierra de Comechingones, Provincia de Córdoba y San Luis. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 74(3): 295-314.
- Funes, M. 2019. Caracterización de las evidencias de Tectónica Activa y Paleosísmicas asociadas a las fallas Comechingones y El Molino. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Río Cuarto (inérita), 138 p., Río Cuarto, Córdoba.
- González Bonorino, F. 1950. Algunos problemas geológicos de las Sierras Pampeanas. *Revista Asociación Geológica Argentina* 16(1-2): 61-106.
- Jordan, T. y Allmendinger, R. 1986. The Sierras Pampeanas of Argentina; a modern analogue of Rocky Mountain foreland deformation. *American Journal of Science* 286: 737-764.

- Jordan, T., Isacks, B., Allmendinger, R., Bremer, J. y Ramos, V. 1983. Andean Tectonics related to geometry of subducted Nazca Plate. *Geological Society of America Bulletin* 94: 341-361.
- Kurushin, R., Bayasgalan, A., Ölziybat, M., Enhtuvshin, B., Molnar, P., Bayarsayhan, M., Hudnut, K. y Lin, J. 1998. The Surface Rupture of the 1957 Gobi-Altay, Mongolia, Earthquake. *Geological Society of America Special Paper* 320, 143 p., Boulder.
- Martino, R., Guerreschi, A. y Caro Montero, A. 2016. Reactivation, inversion and basement faulting and thrusting in the Sierras Pampeanas of Córdoba (Argentina) during Andean flat-slab deformation. *Geological Magazine* 153: 962-991.
- Massabie, A.C. y Szlafsztein, C.F. 1991. Condiciones geomecánicas y edad del fallamiento neotectónico en las Sierras Pampeanas Orientales, Córdoba, Argentina. *Revista de Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería* 6: 154-168.
- Massabie, A.C., Cegarra, M. y Sanguinetti, A. 2006. Estructura y edad de fallamiento Cuaternario a la latitud de Bialet Massé, Sierra Chica de Córdoba. En: Hongn, F., Becchio, R. y Seggiaro, R. (eds.), 12° Reunión sobre Microtectónica y Geología Estructural. *Publicación Especial* 9: 107-112, Buenos Aires.
- Otamendi, J.E., Fagiano, M.R. y Nullo, F.E. 2000. Geología y evolución metamórfica del Complejo Monte Guazú, sur de la sierra de Comechingones, Provincia de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 55 (3): 265-279.
- Otamendi, J. E., Cistofolini, E.A., Fagiano, M.R., Pinotti, L.P. y D'eraimo, F.J. 2014. Los granitos Devónicos del sur de la Sierra de Comechingones. Martino, R. D. y Guerreschi, A. B. (eds.) 19° Congreso Geológico argentino, Relatorio: 277-291, Córdoba.
- Ramos, V. 1999. Rasgos estructurales del territorio argentino. En: Caminos, R. (ed), *Geología Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Anales 29 (24): 715-784, Buenos Aires.
- Ramos, V., Cristallini, E. y Pérez, D. J. 2002. The Pampean flat-slab of the Central Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 15: 59-78.
- Richardson, T., Gilbert, H., Anderson, M. y Ridgway, K. 2012. Geodynamics and tectonics seismicity within the actively deforming Eastern Sierras Pampeanas, Argentina. *Geophys.* 188: 408-420.
- Sagripanti, G. 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.
- Sagripanti, G. y Villalba, D. 2020. Deformaciones holocenas en el Piedemonte Oriental de la Sierra de Comechingones, falla Las Lagunas, Sierras Pampeanas de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 77 (2): 245-260.
- Sagripanti, G., Schiavo, H. F., Felizzia, J., Villalba, D., Aguilera, D., Giaccardi, A. y Membrives, J. 2011. Fuertes paleosismos de intraplaca y sus retornos vinculados a la falla Las Lagunas, Sierras Pampeanas de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 68 (1): 52-70.
- Sagripanti, G., Villalba, D., Castaldi, G., Giménez, M., Aguilera, D. y Giaccardi, A. 2018a. Actividad cuaternaria asociada a la falla Las Rosas, Sierras Pampeanas de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 75(3): 409-424.
- Sagripanti, G., Villalba, D. y Castaldi, G. 2018b. Deformaciones Cuaternarias asociadas a la falla Santa Catalina. Sierras Pampeanas de Córdoba. 17° Reunión De Tectónica y 6° Taller De Campo En Tectónica, Actas: 19, La Rioja.
- Santa Cruz, J.N. 1979. Geología de las unidades sedimentarias aflorantes en el área de las cuencas de los ríos Quinto y Conlara. Provincia de San Luis. República Argentina. 7° Congreso Geológico Argentino. Actas, 335-349, Neuquén.
- Villalba, D., Castaldi, G. y Sagripanti, L. 2017. Nuevas Evidencias de Actividad Cuaternaria en la Sierra de Comechingones: Falla La Esther. 20° Congreso Geológico Argentino. Actas, 192-193, Tucumán.
- 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.