



Actividad cuaternaria entre el piedemonte y la planicie orientales de la sierra de Comechingones asociada a la falla Santa Catalina, Sierras Pampeanas de Córdoba, Argentina

Guillermo SAGRIPANTI¹, Diego VILLALBA¹ y Jimena ANDREAZZINI¹

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

E-mail: gsagripanti@exa.unrc.edu.ar, dvillalba@exa.unrc.edu.ar, mandreazzini@exa.unrc.edu.ar

Editor: José F. Mescua

Recibido: 11 de febrero de 2021

Aceptado: 21 de diciembre de 2021

RESUMEN

Las deformaciones neotectónicas asociadas al frente de levantamiento de la sierra de Comechingones se concentran en su piedemonte occidental, aunque también se han detectado deformaciones análogas vinculadas a fallas inversas ubicadas en el piedemonte oriental y en su límite con la planicie aledaña, entre estas fallas, las denominadas Las Lagunas y Las Rosas. El objetivo de la presente contribución es presentar evidencias neotectónicas que confirmen la actividad cuaternaria de la falla Santa Catalina situada al este de las antes mencionadas. Entre los métodos aplicados se destacan la toma de fotografías aéreas oblicuas, la descripción de perfiles naturales, un análisis de modelos de elevación digital, determinación de parámetros morfométricos en tramos de cauces y la utilización de información de perforaciones para la extracción de agua e información gravimétrica obtenida en un trabajo anterior. Los resultados indican que la falla Santa Catalina es una falla de movimiento inverso no emergente, responsable de la morfología que generan los mesobloques Santa Catalina-Golf y Espinillos, y de las modificaciones en la red de drenaje local. De acuerdo a las deformaciones detectadas, pliegues y flexuras, entre otras, se interpreta que la falla Santa Catalina ha tenido actividad durante el Cuaternario y que podría representar a las deformaciones neotectónicas más orientales de la provincia geológica "Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis" a los 33° S.

Palabras clave: falla inversa, deformaciones cuaternarias, pliegues, provincia de Córdoba.

ABSTRACT

Quaternary activity associated with the Santa Catalina fault between the eastern piedmont and plain of the Comechingones mountain range, Sierras Pampeanas of Córdoba, Argentina.

The neotectonic deformations associated with the uplift front of the Comechingones mountain range are concentrated in its western foothills, although analogous deformations associated with reverse motion faults located in the eastern foothills and on its border with the surrounding plain, such as the so-called Las Lagunas and Las Rosas, have also been detected. The objective of this contribution is to present neotectonic evidence confirming the quaternary activity of the Santa Catalina fault. Oblique aerial photos, description of natural profiles, a digital elevation models analysis, determination of morphometric parameters in river reaches and the use of drilling information for water extraction and gravimetric information obtained in previous works among others, were the applied methods. The results indicate that the Santa Catalina fault is a non-emergent reverse motion fault, responsible for the morphology generated by the Santa Catalina-Golf and Espinillos blocks, and for the modifications in the local drainage network. The deformations detected, folds and flexures among others, allow us to interpret that the Santa Catalina fault has been active during the Quaternary and that it could represent the easternmost neotectonic deformations of the geological province Sierras Pampeanas of Córdoba and San Luis to this latitude of 33° South.

Keywords: Reverse fault, Quaternary deformations, folds, province of Córdoba.

INTRODUCCIÓN

En las Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis, entre los 27° 30' - 33° 30' S las deformaciones recientes y la sismicidad están vinculadas a la subducción subhorizontal de la placa tectónica de Nazca. Numerosos autores consideran que el levantamiento y la deformación del basamento de las Sierras Pampeanas durante el Mioceno-Plioceno y Cuaternario están condicionados por el comportamiento de esta placa tectónica y que algunas de las evidencias de esta forma de subducción son la ausencia de actividad volcánica y la distribución característica de la actividad sísmica, entre ellos Pilger (1981), Jordan et al. (1983), Jordan y Allmendinger (1986), Smalley et al. (1993), Costa y Vita Finzi (1996), Ramos (1999), Ramos et al. (2002), Alvarado et al. (2005) y Richardson et al. (2012).

Las principales deformaciones del frente de fallamiento cuaternario de las Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis se ubican en el ambiente pedemontano occidental y están asociadas a fallas inversas que inclinan al este. Son inter-

pretadas como corrimientos que involucran, por lo general, al basamento cristalino paleozoico que sobrecorre sedimentos cuaternarios. Estos corrimientos generan morfologías como cerrilladas bajas y paralelas o subparalelas al frente de levantamiento principal consideradas como *piedmont forelands*, que se ubican en el piedemonte entre la falla morfogénica correspondiente al levantamiento principal donde se encuentra el quiebre topográfico del frente serrano y la zona de deformación frontal activa (Ikeda 1983, Costa et al. 2014, Costa 2019).

La mayoría de las investigaciones realizadas sobre las deformaciones cuaternarias en los Sistemas de Fallas Sierra Chica y Comechingones están concentradas en el oeste de las zonas próximas a los frentes de levantamiento serrano (Fig. 1b). Sin embargo, también se han desarrollado estudios en estructuras ubicadas en el ámbito del piedemonte oriental de la sierra de Comechingones, cuyos reportes indican que existen fallas con probada actividad cuaternaria como las denominadas Las Lagunas y Las Rosas (Fig. 1b y c). Estos expresan la presencia de deformaciones dúctiles y frágiles

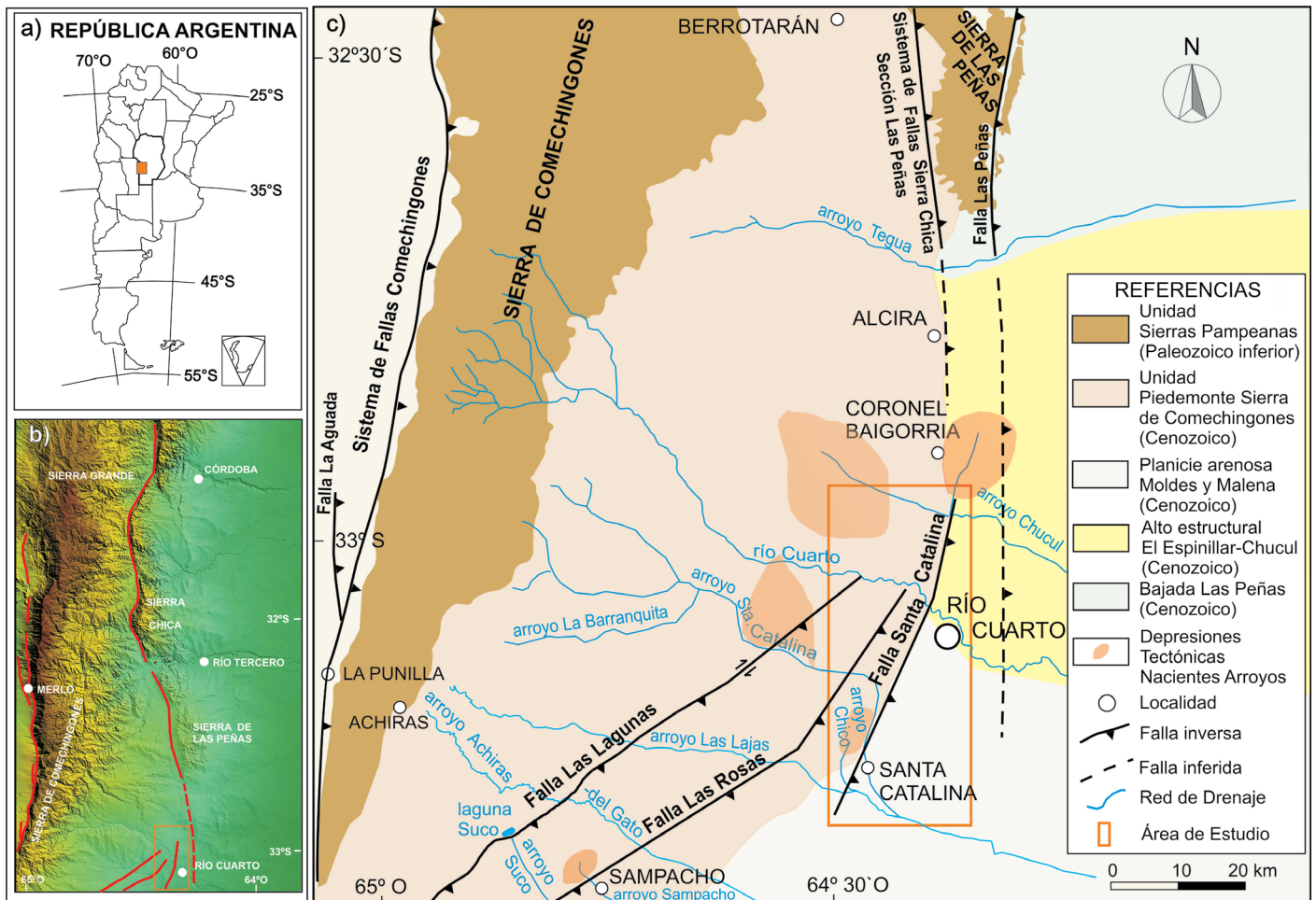


Figura 1. a) Mapa con la ubicación de la zona de estudio en recuadro de color anaranjado; b) Mapa de las principales fallas con deformaciones cuaternarias indicadas con líneas de color rojo; c) Zona de estudio con las unidades geomorfológicas más representativas y las fallas principales.

en sedimentos cuaternarios y desplazamientos cosísmicos asociados a fuertes paleoterremotos que se estima podrían haber alcanzado la magnitud (Richter) M 7.0 (Sagripanti et al. 2009, 2012, 2014, Sagripanti y Villalba 2011, 2020).

La presencia de expresiones morfológicas características junto a modificaciones en la red de drenaje, permiten suponer que éstas estarían asociadas a estructuras presentes en este ámbito del piedemonte oriental de la sierra de Comechingones, en su límite con la planicie, y que aún no han sido detectadas; en consecuencia, se desconoce si han tenido actividad durante el Cuaternario y su capacidad para producir fuertes terremotos. Entre estas estructuras se puede mencionar a la falla denominada Santa Catalina (Sagripanti et al. 1998). El objetivo del presente trabajo es reportar evidencias neotectónicas que confirmen la actividad cuaternaria de esta falla.

El área de estudio se ubica en el piedemonte oriental de la sierra de Comechingones, en el límite con la planicie, en proximidades de la ciudad de Río Cuarto, entre los 33° - 33° 30' S, región sur de la provincia de Córdoba (Fig. 1c).

En este sector del piedemonte, desde hace varios años se están analizando fallas de movimiento inverso con el objetivo de avanzar en el conocimiento sobre su potencial para generar fuertes terremotos. Las investigaciones desarrolladas para esta contribución se consideran como una continuidad de las anteriormente realizadas en este tipo de estructuras, cuyos resultados han sido reportados por Sagripanti y Villalba (2009, 2011, 2020), Villalba y Sagripanti (2014), Sagripanti et al. (2009, 2011, 2012, 2014, 2018), entre otros.

donde las deformaciones cuaternarias expresan el estilo de la tectónica andina regional. Estos frentes son controlados principalmente por dos sistemas de fallas regionales denominados Comechingones y Sierra Chica (Fig. 1b y c). La presencia de deformaciones neotectónicas en este ámbito serrano han sido reportadas por numerosos autores, entre otros, Costa et al. (2014, 2018), Costa (2019) y Castaldi et al. (2021).

Con el fin de situar a la falla en estudio dentro del contexto neotectónico, una revisión de los antecedentes de las principales fallas de movimiento inverso, con deformaciones neotectónicas asociadas, presentes aproximadamente a los 33° S y comprendidas entre los 61° 30' y 65° O, permite visualizar que tanto la expresión morfológica superficial como las características de las deformaciones correspondientes al Neógeno-Cuaternario son substancialmente diferentes desde el oeste hacia el este (Fig. 2).

En el ámbito del piedemonte occidental de la sierra de Comechingones, 65° O, se ubican el extremo austral del Sistema de Fallas Comechingones y las fallas La Esther y La Aguada (Fig. 2). Estas estructuras son de movimiento inverso con orientación meridional e inclinan hacia el este, presentan evidencias de deformaciones asociadas al levantamiento cuaternario, tales como corrimientos de basamento cristalino sobre sedimentos cuaternarios, y corresponderían al frente de corrimiento activo occidental de la sierra de Comechingones a los 33° S. (Villalba et al. 2017, Castaldi et al. 2018, 2021).

En el piedemonte oriental de la sierra de Comechingones, aproximadamente a los 64° 40' O, se han reconocido deformaciones cuaternarias en sedimentos no consolidados asociadas a fallas de movimiento inverso (Fig. 2), algunas no emergentes, de orientación preferencial noreste-suroeste y que han tenido terremotos prehistóricos asociados (Sagripanti et al. 2011, 2018, Sagripanti y Villalba 2009, 2011, 2020).

En este ámbito del piedemonte, las deformaciones se desarrollan en sedimentos sueltos cuaternarios, por lo tan-

CONTEXTO NEOTECTÓNICO Y SISMICIDAD

Las Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis presentan los frentes de levantamiento serranos en el borde occidental

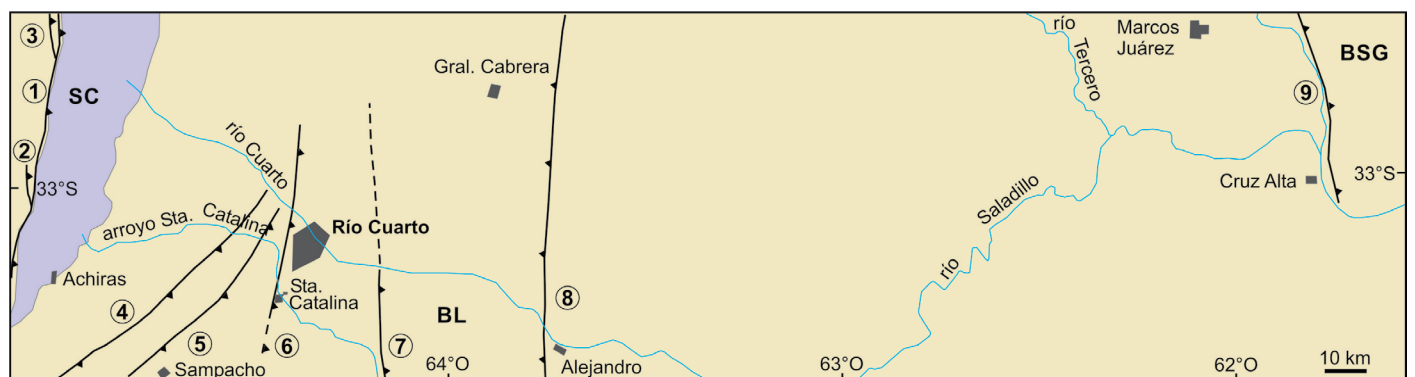


Figura 2. Mapa de las principales fallas aproximadamente a los 33° S. SC: Sierra de Comechingones, BL: Bloque Levalle, BSG: Bloque San Guillermo, 1: Sistema de Fallas de Comechingones, 2: Falla La Aguada, 3: Falla La Esther, 4: Falla Las Lagunas, 5: Falla Las Rosas, 6: Falla Santa Catalina, 7: Falla Tigre Muerto, 8: Falla Alejandro-Pampayasta y 9: Sistema de fallas Tostado-Selva.

to, mayormente no ofrecen morfologías superficiales diagnósticas y debido a las características de la mayoría de los sedimentos (loessoides), las mismas se obliteran dificultando su detección e interpretación. Sin embargo, por medio de estudios paleosismológicos realizados en las fallas denominadas Las Lagunas y Las Rosas (Fig. 2), se han logrado identificar morfologías superficiales como escarpas y pequeñas escarpas desarrolladas en loess y evidencias primarias de deformaciones cosísmicas como fracturas, fallas, flexuras, y pliegues, y secundarias, tales como estructuras de licuación (Sagripanti et al. 2009, 2011, 2012, 2014, 2018, Sagripanti y Villalba 2011, 2020, Villalba y Sagripanti 2014).

Por otra parte, hacia el este de los 64° O también se han reportado evidencias de actividad neotectónica de menor expresión morfológica. En este ámbito de llanura, tanto la importante potencia de los niveles sedimentarios cuaternarios afectados, como las características de las fallas presentes que, en algunos casos, son no aflorantes y poseen baja tasa de movimiento, contribuyen a que estas estructuras desarrollen una morfología superficial muy sutil que hace difícil detectar la posición de su trazo.

En este sector, se reconocen fallas de orientación meridional como la denominada Tigre Muerto, de posible movimiento inverso y plano buzando al este, que se ubica aproximadamente a los 64° O (Fig. 2). Genera un resalto topográfico importante, rasgo morfotectónico resultante de reactivaciones neógenas, que ejerce un importante control sobre el arroyo Santa Catalina (Degiovanni y Cantú 1993, Degiovanni et al. 2005).

Al este de los 64°O, sobre la base de estudios geomorfológicos de la cubierta cenozoica y por interrupciones detectadas en la red de drenaje pleistocena, se interpretó un evento tectónico post-pleistoceno que desplazó el zócalo cristalino (Pasotti 1974). La estructura considerada como la más clara evidencia morfotectónica resultante de las últimas reactivaciones neógenas es la denominada San Francisco del Chañar-Hernando por Pasotti (1974) y Rayo Cortado-Pampayasta-Alejandro por Massabie (1987), que se supone de movimiento inverso y cuyo plano buza al oeste. En este trabajo se la denomina falla Alejandro-Pampayasta (Fig. 2).

Otros antecedentes reportados de actividad neotectónica aproximadamente a los 62° O, corresponden al extremo más austral del Sistema de Fallas Tostado-Selva (Fig. 2), siendo esta la principal estructura que limita el borde occidental de la unidad morfoestructural positiva del bloque de San Guillermo, cuyo trazo posee una orientación en promedio meridional y que, se supone, ha tenido actividad durante el Pleistoceno tardío. Si bien no se reconocen rupturas superficiales, se han detectado evidencias estratigráficas y rasgos morfológicos

que indican que durante el Cuaternario tardío la cubierta sedimentaria ha sufrido deformaciones (Brunetto e Iriondo 2007, Brunetto et al. 2010).

Asociado al Sistema de Fallas Tostado-Selva también se ha detectado la presencia de ondulaciones de bajo relieve en la topografía. Estas sutiles flexiones generan un fuerte control en la dirección de escurrimiento de la red de drenaje y han sido interpretadas como pliegues por propagación de fallas, que presentan escarpas de flexión en los frentes de mayor pendiente de los bloques principales. Estos pliegues poseen asimetría en su geometría, presentando un flanco de mayor pendiente y otro, en el extradós, más tendido o subhorizontal. Se infiere que los mismos han sido generados por los desplazamientos de fallas inversas con orientación nornoroeste-sur-sureste que produjeron un plegamiento suave de la cubierta sedimentaria de edad promedio 100 ka (Brunetto et al. 2014, 2017).

La sismicidad en la zona de estudio es importante; cuenta con antecedentes de la ocurrencia de paleoterremotos, de sismos históricos y registro instrumental. La información paleosismológica recolectada ha permitido interpretar la ocu-

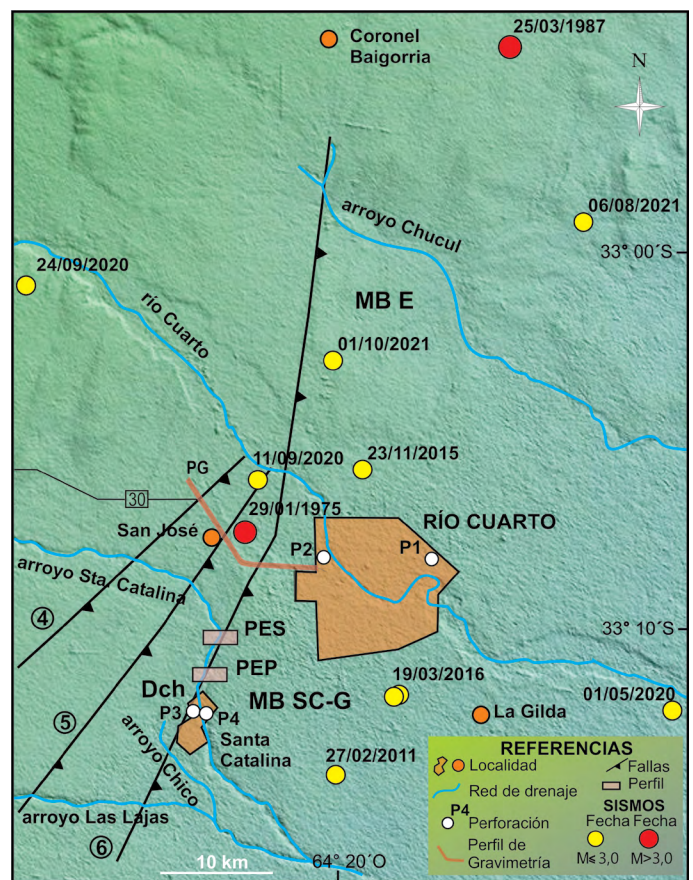


Figura 3. Ubicación de la falla Santa Catalina, perfiles descriptores, perforaciones para extracción de agua, epicentros de sismos y perfil gravimétrico. MB SC-G: Mesobloque Santa Catalina-Golf, MB E: Mesobloque Espinillos y DCh: Depresión del Chico.

rencia de sismos prehistóricos en el Pleistoceno y Holoceno asociados a fallas ubicadas en el piedemonte oriental de la sierra de Comechingones donde se ha reportado la ocurrencia de, al menos, cuatro eventos sísmicos en el Holoceno Tardío de una magnitud (Richter) M 6.0 - M 7.0 (Sagripanti et al. 2011).

Los registros instrumentales indican que la sismicidad es frecuente, leve y cortical. Los sismos reportados son normalmente de $M \leq 3.0$ y, al menos seis han alcanzado una $M \geq 4.0$ con profundidades hipocentrales entre 12 y 25 km (Sagripanti et al. 1998, 2009, 2011).

La sismicidad con epicentro en el entorno de la ciudad de Río Cuarto, tiene como antecedentes la ocurrencia de los sismos corticales (fuente INPRES) del día 29/01/1975 en la zona de San José (M 4.1) y del día 25/03/1987 en la localidad de Baigorria (M 4.5). Además, sismos de $M \leq 3.0$ se registraron en proximidades de la localidad de Santa Catalina los días 27/02/2011 y 23/08/2012 y en la zona rural de la Gilda los días 19/03/2016 y 10/12/2016 (Sagripanti et al. 2018) y otro el día 01/05/2020. En el mesobloque Espinillos y alrededores los días 23/11/2015, 06/08/2021 y 01/10/2021 (Fig. 3).

CONTEXTO ESTRATIGRÁFICO Y GEOMORFOLÓGICO

Las unidades estratigráficas aflorantes donde se ubica el trazo de la falla Santa Catalina, se describen a continuación.

Formación Pampiano (Cantú 1992)

Los materiales correspondientes a esta formación se distribuyen en una amplia superficie de la región. Son finos, con distintos grados de cementación, asociados a facies fluviales limosas y limo arenosas finas, de color pardo rojizo, con nódulos de cementación con hierro, hasta conglomerados cementados por carbonatos, y a facies eólicas formadas por sedimentos limosos, de color pardo rojizo a pardo amarillento, con alto contenido de carbonatos y niveles de calcretos, que actúan como nivel de base de algunos arroyos. Estos depósitos han sido asignados al Pleistoceno Medio a Superior (Cantú 1992). La edad determinada posteriormente por Luminiscencia Ópticamente Estimada (OSL) es 106 ka (Cantú et al. 2006). Se designa a esta formación como unidad A en el presente trabajo.

Formación La Invernada (Cantú 1992)

Es un manto de loess que se reconoce en las pampas de altura de las sierras de Córdoba y especialmente en el piedemonte oriental, con espesores variables de hasta 4 m. Está

formada por limos retransportados con gravillas y estructuras de flujo que indican que el loess serrano fue removido por procesos aluviales y gravitatorios. En el sector de estudio sobreyace de forma discordante sobre la formación Pampiano y se asigna al Pleistoceno superior (Cantú 1992). La edad determinada posteriormente con el método OSL es 25.4 ka para el techo (Cantú et al. 2006). Se designa a esta formación como unidad B en el presente trabajo.

Formación Arroyo Las Lajas (Cantú 1992)

La forman sedimentos clásticos cuya granulometría es de gravas a arenas y limos arcillosos en función del aumento de distancia a las sierras. Su origen es coluvial, fluvial y lagunar-palustre. Esta formación, en el arroyo Santa Catalina en particular, presenta facies palustres de aguas tranquilas, que indican un ambiente pantanoso a semipantanoso. Estas facies están formadas, de base a techo, por arenas finas de color pardo oliva a amarillo pálido que contienen rizoconcreciones limolíticas verticales indicando un ambiente reductor y por sedimentos limosos y limo arenosos de color gris y arenas finas con gastrópodos. Estas facies presentan intercalado un banco de arena fina a muy fina retransportada, de aproximadamente 0.2 m de espesor, de color blanco, compuesto por frústulas de diatomeas, que se interpreta como una asociación de laguna de agua dulce que pasa a un pantano de agua salobre de color oscuro. Los ostrácodos de este banco oscuro confirman la salinización. Se asigna al Pleistoceno Superior tardío - Holoceno Inferior (Cantú 1992, Cantú et al. 2006). Se designa a esta formación como unidad C en el presente trabajo.

Formación Laguna Oscura (Cantú 1992)

Es de amplia distribución en la región sur de la provincia de Córdoba. La misma está formada por sedimentos eólicos, arenosos muy finos y limosos, presentando paredes verticales. El techo aflorante puede reconocerse edafizado o como depósitos medianosos. Cantú (1992) la asignó al Holoceno Superior-actualidad y de acuerdo a determinaciones posteriores por OSL, la edad de la base es de 6 ka (Cantú et al. 2006). Se designa a esta formación como unidad D en el presente trabajo.

El contexto geomorfológico general de las sierras de Córdoba muestra que son circundadas por un piedemonte, que constituye una zona de transición entre el ámbito serrano y la llanura (Fig. 1c). El mismo está definido entre los últimos afloramientos del área positiva serrana hasta aproximadamente la curva de nivel de 300 m s.n.m. donde la pendiente experimenta un marcado cambio. Un sector de esta zona es definido por Carignano et al. (2014) como la unidad geomorfológica

Piedemonte Oriental de la Sierra de Comechingones, que posee un ancho promedio entre 20-35 km, donde el basamento cristalino es sepultado por sedimentos aluviales y loessoides.

La parte occidental del área de estudio se localiza en esta unidad, mientras que la oriental en el sector noroeste de la denominada Planicie Arenosa de Moldes y Malena, y en el sector suroeste de la unidad Alto Estructural El Espinillar-Chucul, unidades definidas por Carignano et al. (2014).

Las morfologías de la planicie mencionada se asocian al paleoabánico del río Cuarto en su posición más proximal, cubiertas por un manto loessoide con dunas longitudinales de orientación nornoroeste-sursuroeste. Este ambiente está disectado por las fajas fluviales históricas-actuales del río Cuarto y del arroyo Santa Catalina. La morfología superficial de esta región presenta una marcada ondulación generada por lomas bajas, controladas por bloques de basamento diferencialmente ascendidos en el Neógeno-Cuaternario, que disminuyen de altura hacia el este y sureste, donde se integran con la Llanura Pampeana (Degiovanni 2005).

Los sistemas fluviales que atraviesan el área de estudio pertenecen a la cuenca de la depresión del Saladillo (tributaria del río Carcarañá). El curso más importante es el río Cuarto, hacia el norte se encuentra el arroyo Chucul y hacia el sur los arroyos Santa Catalina, Las Lajas y Chico; estos últimos confluyen en el área de estudio (Fig. 1c). Son redes de drenaje organizadas, de régimen permanente y torrencial, con una dirección general de los escurrimientos de noroeste a sureste. La red de drenaje regional ha experimentado procesos de ajuste, vinculados especialmente a períodos de mayores precipitaciones e intervenciones antrópicas, tales como canalizaciones, trasvases, presas y azudes. Los procesos principales fueron desbordes, incisión y erosión retrocedente, lo cual se manifiesta por la presencia de cabeceras de retroceso en la mayoría de los cursos (Doffo et al. 2010, Degiovanni et al. 2014).

En el caso del río Cuarto, el curso muestra una sinuosidad baja a moderada, con una faja fluvial cuyo ancho en el área de estudio disminuye hacia el sureste. A unos 5 km aguas arriba de la ciudad de Río Cuarto posee un ancho de unos 6 km y de 1 km aguas abajo de la misma. Se reconocen tres niveles de terrazas, que se asocian a períodos de dominio de sedimentación y avulsión, hasta fajas de divagación de un cauce meándrico incidido. Los demás arroyos tienen fajas fluviales de poca expresión, en general angostas (muy localmente hasta 700 m de ancho, hasta 2 niveles de terrazas) y profundas, con cauces meándricos de baja sinuosidad (Doffo y Degiovanni 1993, Degiovanni et al. 2005).

Además de los sistemas fluviales existen lagunas y humedales asociados a cubetas de deflación emplazadas en

bajos tectónicos correspondientes al bloque hundido de algunas fallas inversas como la de Las Lagunas, Las Rosas, Santa Catalina, entre otras (Sagripani et al. 2018, Sagripani y Villalba 2020). Se considera que estos relieves deprimidos son resultado de la actividad neotectónica en la región y están presentes dentro de la subunidad geomorfológica "Depresiones tectónicas - nacientes de arroyos" (Fig. 1c).

Estos ambientes tienen una extensión superficial variable y son sometidos a procesos de deflación en períodos secos formando áreas planas y anegadizas con el nivel freático próximo a la superficie o aflorando, y en algunos casos son nacientes de arroyos como el Suco, Sampacho y Chico. En el sector de estudio se reconocen los mesobloques denominados Espinillos y Santa Catalina-Golf que se encuentran basculados y elevados diferencialmente con depresiones asociadas en algunos casos que definen las zonas deprimidas locales comentadas anteriormente (Degiovanni et al. 2014).

Un estudio realizado en el sector sur del mesobloque Santa Catalina-Golf ha permitido detectar un posible caso de antecedencia en el tramo del arroyo Santa Catalina cuando incide en el mismo, como así también que esta morfoestructura presenta un perfil asimétrico y que los arroyos Las Lajas y Santa Catalina presentan variaciones en los parámetros morfológicos de canal y diseño de valle que tienen correspondencia con la posición de los bloques estructurales presentes. Las mismas son reconocidas entre tramos de corta longitud y en segmentos morfológicamente anómalos, y se consideran como evidencias concretas sobre el control que ha ejercido la actividad tectónica (Doffo y González Bonorino 2006).

METODOLOGÍA

La metodología aplicada en el presente trabajo, tanto para la ubicación de sitios potenciales que presenten deformaciones cuaternarias como para el análisis morfoestructural, comprendió la utilización de distintas técnicas. Entre éstas se realizó la toma y fotointerpretación de fotos aéreas oblicuas sacadas a baja altura y con bajo ángulo de incidencia solar. De fotografías aéreas del año 1989 y el análisis con modelos digitales de elevación (MDE) del terreno del SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*, de 90 m de resolución) y del IGN (Instituto Geográfico Nacional, denominado MDE-Ar, de 30 m de resolución), este último desarrollado también a partir de datos de la misión SRTM. Además, se realizó el acopio, selección y análisis de resultados de estudios previos de prospección geofísica (gravimetría), de datos (*cutting*) de perforaciones para extracción de agua y de registros sísmicos, entre otros.

Se realizó el relevamiento de dos perfiles naturales ubicados perpendiculares al trazo de la falla por medio de *fotolog* y se describieron los contactos entre unidades estratigráficas y las deformaciones presentes en sedimentos cuaternarios expuestos. Estos perfiles están ubicados en la estancia El Progreso y son denominados de norte a sur como El Salto y El Progreso.

Utilizando los MDE, imágenes *Google Earth* y hojas topográficas del IGM (3363-19-1, Río Cuarto, y 3363-19-3, Santa Catalina), escala 1:50000, se determinó el índice de sinuosidad, basado en la relación longitud del cauce/longitud del eje central de meandros o sinuosidades (Brice 1964), la pendiente, el ancho de la faja fluvial y el grado de incisión de diferentes segmentos de cauces, delimitados de acuerdo a cambios observados en la dirección de los escurrimientos superficiales, patrón de canal y posición de la falla Santa Catalina. El mapa de incisión de la red de drenaje fue obtenido en el SIG SAGA. Además, se construyeron los perfiles longitudinales del río Cuarto y arroyo Santa Catalina para los tramos de estudio, tomando distancias cada 1.000 m. Las cotas fueron obtenidas del MDE y *Google Earth*, y controladas con las hojas topográficas Río Cuarto y Santa Catalina.

ANÁLISIS DE LAS DEFORMACIONES CUATERNARIAS Y ANÁLISIS MORFOESTRUCTURAL

Análisis de las Deformaciones Cuaternarias

Perfil El Salto: Es un perfil natural ubicado en la margen izquierda del arroyo Santa Catalina ($33^{\circ} 09' 18'' S - 64^{\circ} 25' 29'' O$), perpendicular al rumbo de la falla Santa Catalina (Fig. 3). El mismo tiene una orientación $104^{\circ} N$, una longitud de 32 m y aproximadamente 4 m de altura (Fig. 4).

Las unidades presentes en el perfil descriptas de base a techo, son:

Unidad A: Formada por sedimentos limosos y limo arenosos finos, de color pardo rojizo a pardo amarillento, cementados por carbonatos de al menos 0.70 m de espesor.

Unidad B: Sobreyacen a la unidad A de forma discordante limos arenosos muy finos a limosos que presentan una pared vertical de color pardo claro de 1.5 m de espesor en promedio, con laminaciones.

Unidad C: Son facies palustres de aguas tranquilas formadas por materiales arenosos finos de color pardo oliva y amarillo pálido en la base y la parte superior por sedimentos finos limosos, limoarenosos y arenas finas de color gris claro; en la parte superior de esta facies se encuentra un nivel de color oscuro. Se reconoce intercalado a estas facies un nivel blanco de arena muy fina de alrededor de 0.20 m de espesor con diatomeas. La unidad posee un espesor de 1.5 m y se ha depositado de forma discordante sobre la unidad A en una depresión tectónica y de forma contigua a la unidad B, que ha sido incidida principalmente por erosión hídrica.

Unidad D: En la parte superior del perfil definiendo una pared vertical se reconoce un depósito eólico, con materiales limosos de color pardo rojizo de aproximadamente 0.6 m de espesor, en cuyo techo se reconoce el desarrollo del suelo actual.

En el perfil se han relevado distintas deformaciones, se reconoce en el techo de la unidad B, entre los m 2-3 un resalto de 0.25 m. La misma unidad presenta laminaciones con una inclinación al este entre los m 0-2 y con flexuras cóncavas hacia arriba, con geometría sinclinal, entre los m 3-5 (Fig. 5). Entre los m 7-13 estas laminaciones presentan geometrías anticlinales y sinclinales de amplia longitud de onda, cuyos ejes tienen una orientación aproximada de $010^{\circ} N$, paralela al rumbo de la falla (Fig. 6). En general las laminaciones de la unidad B presentan una inclinación al este-sureste.

También se reconocen en el techo de la unidad D geometrías convexas hacia arriba que definen flexuras o anticlinales de baja amplitud cuyos ejes poseen una orientación paralela

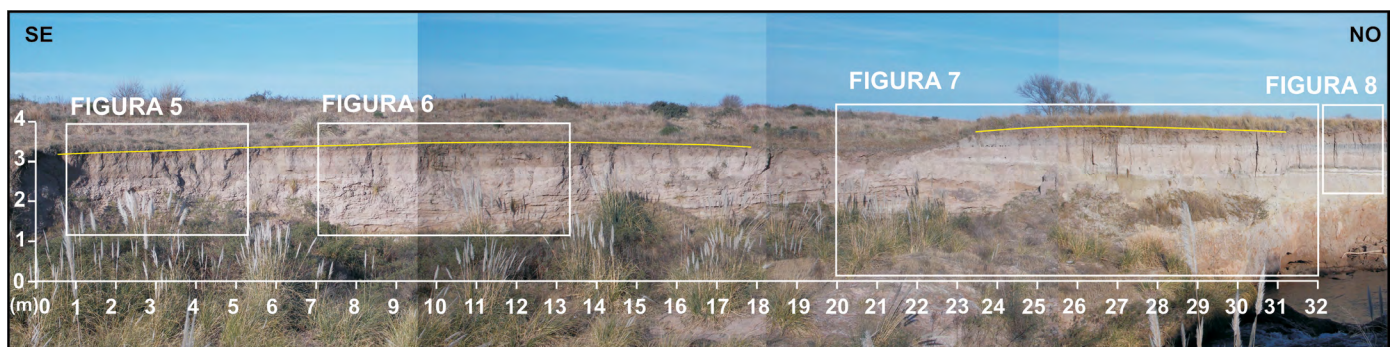


Figura 4. Perfil natural El Salto. Se indican con un recuadro de color blanco las figuras 5, 6, 7 y 8, y con línea de color amarillo las geometrías convexas que definen flexuras o anticlinales de baja amplitud.

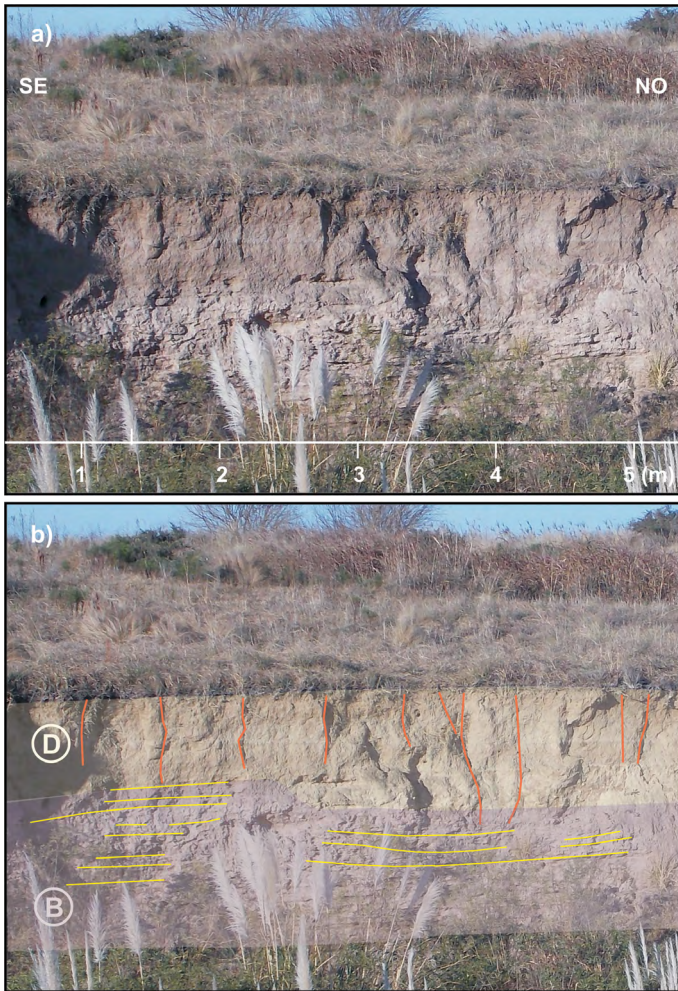


Figura 5. a) Foto de detalle entre los m 0-5 del perfil El Salto; b) *Sketch* donde se indican las unidades estratigráficas B y D, las grietas de tensión y las flexuras con líneas de color amarillo.

al rumbo de la falla Santa Catalina. Estas geometrías se ubican entre los m 0-20 (Fig. 4) y m 24-31 (Fig. 7).

Se reconocen grietas de tensión verticales paralelas a la orientación del trazo de la falla, a lo largo de todo el perfil, principalmente afectando a la unidad D (Figs. 5, 6 y 7), encontrándose las de mayor expresión entre los m 25-32. Por otra parte, en un sector ubicado a partir del m 32 (Fig. 4) se observa que el banco de color gris-blanco de la unidad C presenta grietas de tensión que en algunos casos están rellenas por el material sobreyacente indicando una distensión posterior a su deposición. Además, este banco tiene evidencias de plegamientos e inclina hacia el noroeste (Fig. 8).

Si se toman como referencia los bancos intercalados en la facies de la unidad C, el que contiene frústulas de diatomeas y el correspondiente a una posible laguna salobre con ostrácodos (Fig. 7b), se puede visualizar que los mismos tienen una actitud sub horizontal entre los m 22-24 que sería su posición de sedimentación. A partir de allí, el banco con

diatomeas pasa a inclinar 5° al noroeste para inclinar 2° en la misma dirección entre los m 28-31, donde presenta un escalón de 0.15 m de altura.

Por otra parte, el banco oscuro entre los m 24-31 se encuentra generando una flexura con geometría anticlinal de baja amplitud (Fig. 7b) y presenta un escalón de unos 0.08 m, a partir de este lugar en el perfil sigue inclinando hacia el noroeste.

El techo de la unidad D entre los m 23-31 presenta una flexura anticlinal de baja amplitud que podría ser una propagación de la deformación que posee la unidad C entre esos metros (Fig. 7a y b). Además, se visualiza que las laminaciones que posee la unidad B, si bien en general están plegadas, tienen una inclinación de aproximadamente 4° al sureste entre los m 0-22 (Figs. 4, 5 y 6).

En el extremo inferior derecho del *sketch* (Fig. 7b), coincidente con el m 30 del perfil, sobre el arroyo Santa Catalina se observa un salto de agua de entre 0.7 y 1 m de altura. Este salto corresponde a un frente activo de erosión retrocedente en la unidad A, que está aflorando, poniendo en evidencia el control activo de la estructura sobre la morfología.

Perfil El Progreso: Es un perfil natural que se ubica en la margen izquierda del arroyo Santa Catalina (33° 09' 44"

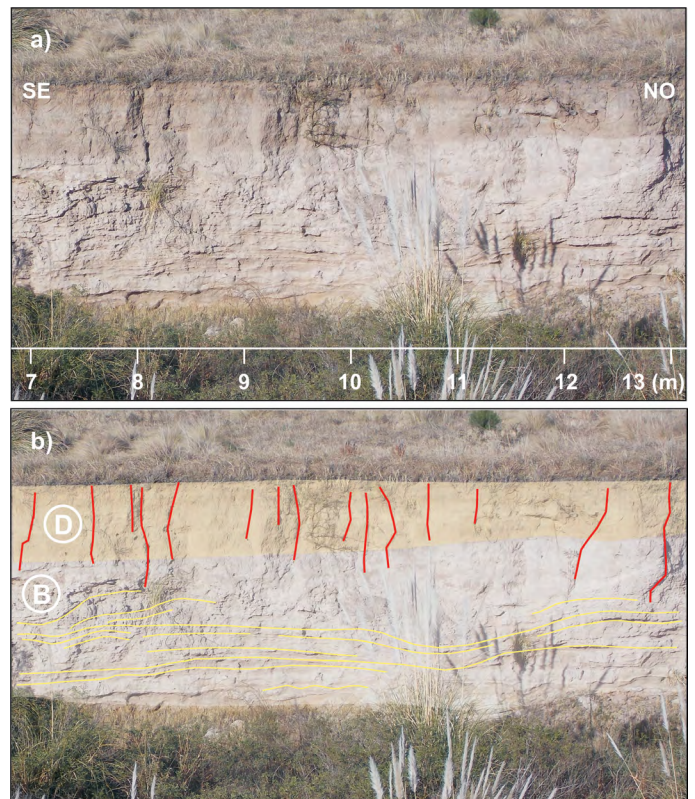


Figura 6. a) Foto de detalle entre los m 7-13 del perfil El Salto; b) *Sketch* donde se indican las unidades estratigráficas B y D, las grietas de tensión con líneas de color rojo y las geometrías de anticlinales y sinclinales con líneas de color amarillo.

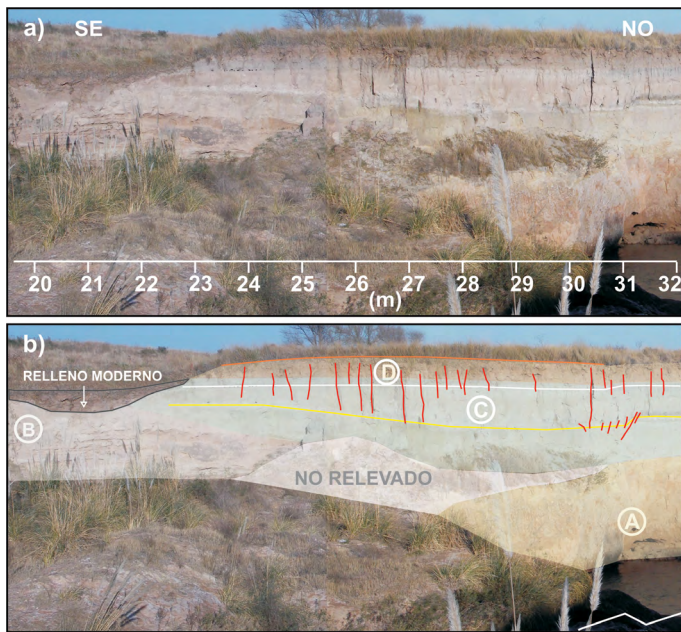


Figura 7. a) Foto de detalle entre los m 20-32 del perfil El Salto; b) *Sketch* donde se indican las unidades estratigráficas A, C y D, el banco que contiene diatomeas con una línea de color amarillo, el banco oscuro superior con ostrácodos con una línea de color blanco. La flexura anticlinal del techo de la unidad D se señala con una línea anaranjada y las grietas de tensión con líneas de color rojo. El desnivel o salto de agua se indica con una línea blanca quebrada.

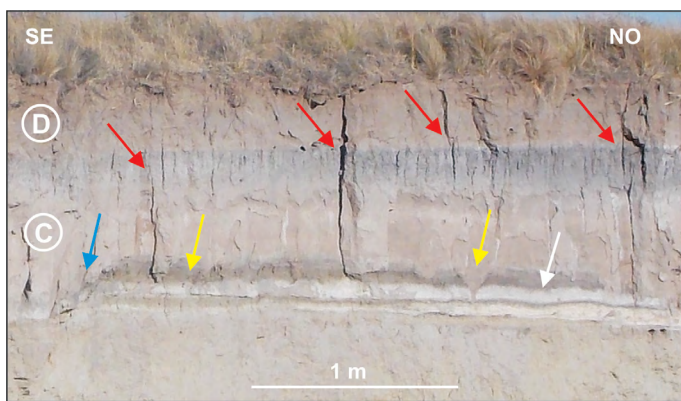


Figura 8. Detalle de la unidad C, donde se observa el banco de color gris-blanco que contiene diatomeas, grietas de tensión que están rellenas por el material sobreyacente (flechas de color amarillo) y evidencia de plegamiento (flecha de color blanco). Se señalan grietas de tensión en las unidades C y D con flechas de color rojo. La flecha de color azul muestra una dislocación distensiva del banco.

S - 64° 25' 47" O), perpendicular al trazo de la falla Santa Catalina (Fig. 3). El mismo tiene una orientación 115° N, una longitud de 15 m y aproximadamente 4.5 m de altura (Fig. 9). La morfología superficial que presenta este sector, correspondiente a la parte frontal de mesobloque Santa Catalina-Golf, tiene mayor pendiente hacia el oeste y es más tendida hacia el este. Se visualizan rasgos de *rills* o cárcavas incipientes perpendiculares al trazo de la falla Santa Catalina (Fig. 9a).

Las unidades presentes en el perfil descritas de base a techo, son:

Unidad A: Está formada por sedimentos limosos y limo arenosos finos, finamente laminados, de color pardo rojizo a pardo amarillento, cementados por carbonatos, cuyo espesor expuesto es de al menos 1.50 m. Esta unidad presenta en la parte superior un depósito con bloques de tosca y arenas posiblemente correspondientes a un canal somero.

Unidad B: Los materiales son limos arenosos muy finos a limosos, con laminaciones, y gravillas dispersas, que presentan una pared vertical de color pardo claro de 1 m de espesor en promedio y se encuentran de forma discordante sobre la unidad A.

Unidad C: Formada por facies palustres de aguas tranquilas; la de la base está compuesta por arenas finas de color pardo oliva y amarillo pálido, y la de la parte superior por sedimentos finos limosos, limos arenosos y arenas finas de color gris claro. Intercalado a estas facies existe un banco blanco de arena muy fina de 0.20 m de espesor constante que contiene diatomeas y en la parte superior de estas facies se reconoce un banco de color oscuro de arenas finas y muy finas. La unidad posee un espesor de 2.4 m y se encuentra de forma discordante sobre la unidad A, en una depresión, y

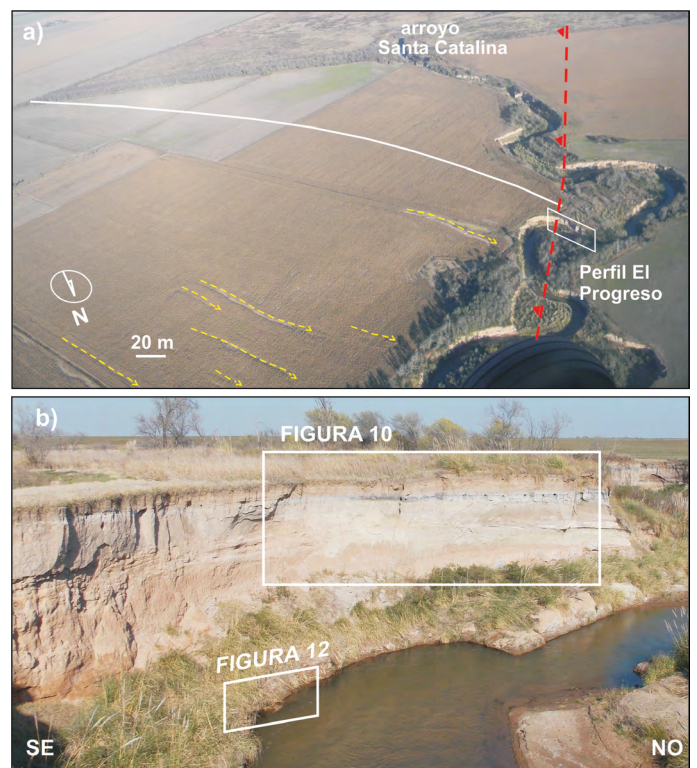


Figura 9. a) Vista aérea oblicua tomada a baja altura de un sector de la parte frontal del mesobloque Santa Catalina-Golf; la línea blanca muestra la geometría de la superficie del bloque colgante de la falla Santa Catalina, las líneas de trazos de color amarillo los *rills*, la línea de trazo de color rojo indica la posible ubicación de la falla no aflorante y el recuadro de color blanco la ubicación del perfil El Progreso; b) Vista panorámica del perfil, los recuadros en color blanco indican la ubicación de las figuras 10 y 12.

contigua a la unidad B, esta última incidida principalmente por erosión hídrica.

Unidad D: Los materiales que la forman son limosos de color pardo rojizo ubicados hacia el techo del perfil donde se desarrolla el suelo actual. Corresponden a un depósito eólico de espesor variable entre 0.8 y 1 m que genera una pared vertical.

Se han reconocido deformaciones como flexuras, pliegues, grietas de tensión y fracturas de escala mesoscópica. El techo de la unidad D entre los m 10-15 presenta en forma generalizada una flexura de geometría anticlinal, de baja amplitud, cuyo eje está aproximadamente paralelo al rumbo de la falla. Además, entre los m 0-2 del perfil tiene una inclinación de 4° hacia el noroeste, presentando un escalón en el m 3 que define una pequeña escarpa de 0.20 m de altura (Fig. 10a).

El banco de color blanco que contiene diatomeas de la unidad C, indicado con una línea amarilla (Fig. 10b), se encuentra entre los m 0-5 en una posición horizontal. A partir del m 5 comienza a inclinar aproximadamente 6° hacia el noroeste y entre los m 13-14 este banco se encuentra dislocado y tiene una inclinación de 26° en el mismo sentido. Entre los m 14-16 este banco tiene una inclinación de 8° siempre con el mismo sentido.

El banco oscuro presente en la unidad C, entre los m 0-2 tiene una inclinación de 6° al noroeste y presenta un escalón de 0.12 m de altura en el m 2. A partir de este sector del perfil adopta una inclinación de 2°. Este banco en el m 12 posee una deformación con geometría monoclinal de aproximadamente 0.15 m de altura, Detalle A (Fig. 11a), que también se propaga en la unidad D (Fig. 10b). Entre los m 13-15 ambas unidades C y D tienen una flexura con geometría anticlinal cuyo eje es paralelo al rumbo de la falla (Fig. 10b).

Entre las deformaciones relevadas se pueden citar también grietas de tensión verticales, con una orientación paralela al rumbo de la estructura principal (Fig. 10), presentes a lo largo de todo el perfil afectando a la unidad D y al banco oscuro de depósitos correspondientes a facies de aguas tranquilas perteneciente a la unidad C.

El banco oscuro presenta la mayor cantidad de grietas de tensión posiblemente debido a una diferencia en la respuesta mecánica con relación a la de los materiales del entorno. En particular, en el sector del Detalle B entre los m 4-7 (Fig. 11b y c) tiene las grietas de tensión con un menor espaciamiento y se visualizan pequeños desplazamientos diferenciales en el techo del mismo, esto lleva a suponer un posible comportamiento de estas discontinuidades físicas como fallas norma-

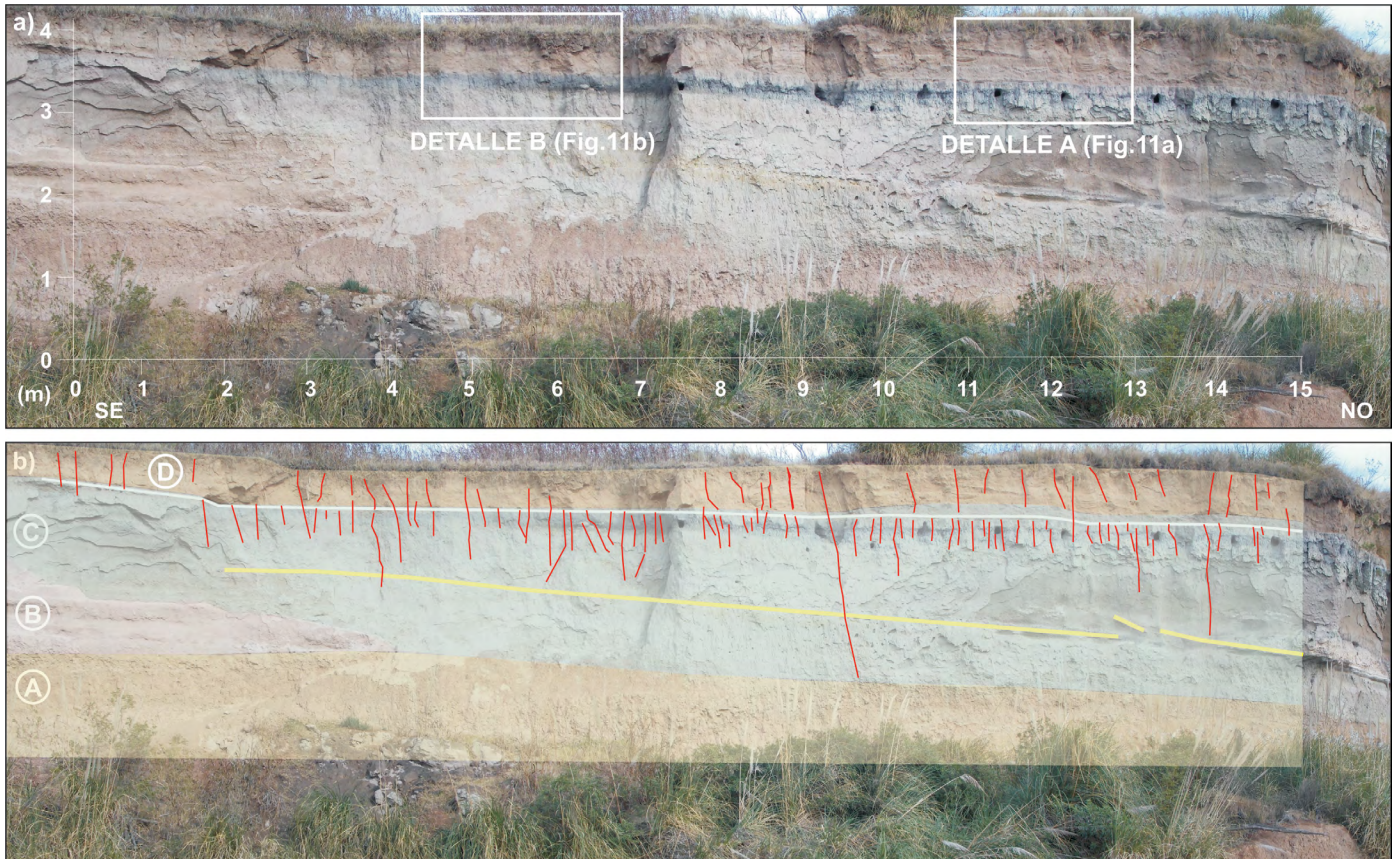


Figura 10. a) Foto del perfil El Progreso, los recuadros de color blanco indican los detalles A y B; b) Sketch donde se indican las unidades estratigráficas A, B, C y D, y las deformaciones observadas. Las grietas de tensión se representan con líneas de color rojo.

les, de escala mesoscópica. Debido a esto, a su disposición y relación con la orientación de la falla principal se considera que estarían indicando una zona de debilidad en el perfil.

Por otra parte, la unidad A presenta pliegues con geometría anticlinal y sinclinal cuyos ejes son paralelos al rumbo de la falla (Figs. 9b y 12). Además, las laminaciones presentes en esta unidad se encuentran inclinando hacia el este-sureste, al igual que las laminaciones de la unidad B.

En el tramo del arroyo coincidente con el perfil, se reconocen saltos de agua sobre la unidad A asociados a la acción de la erosión retrocedente, se considera una evidencia del control activo de la estructura sobre la morfología.

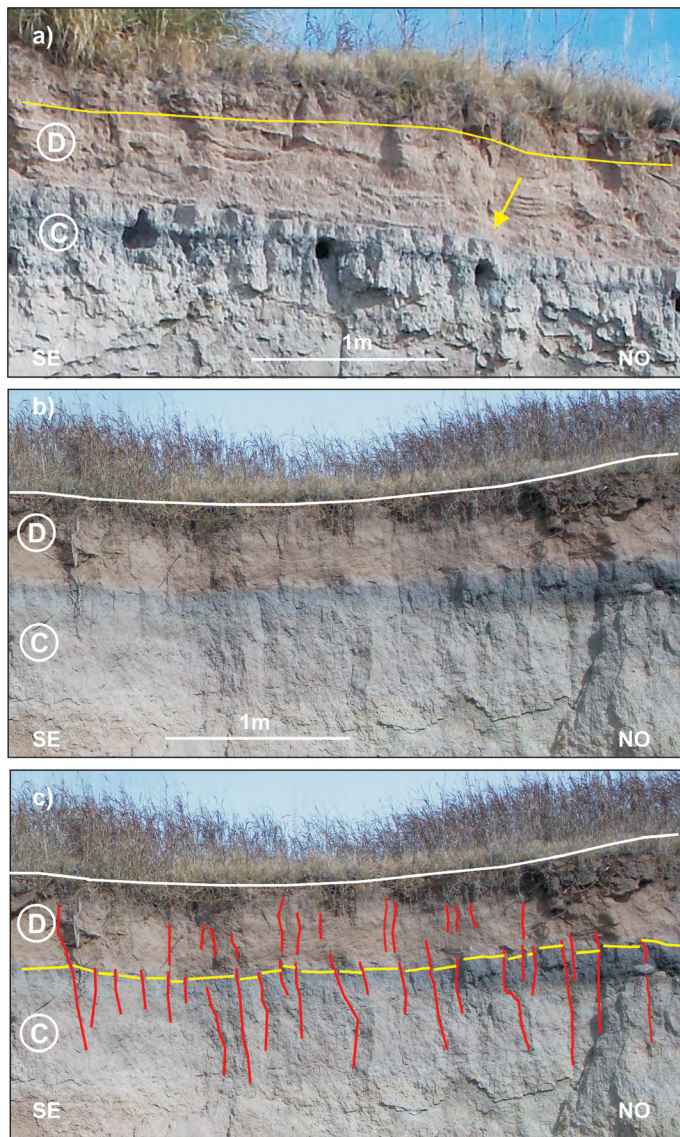


Figura 11. a) Vista de la geometría monoclinal (flecha de color amarillo) presente en el banco con diatomeas de la unidad C del perfil El Progreso. La línea de color amarillo indica una geometría similar en la unidad D; b) Vista del Detalle B la línea de color blanco indica una depresión en el terreno; c) Sketch del Detalle B donde se presenta la disposición de las grietas de tensión en el banco de color oscuro de la unidad C (líneas de color rojo) y del techo dislocado del banco (líneas de color amarillo).

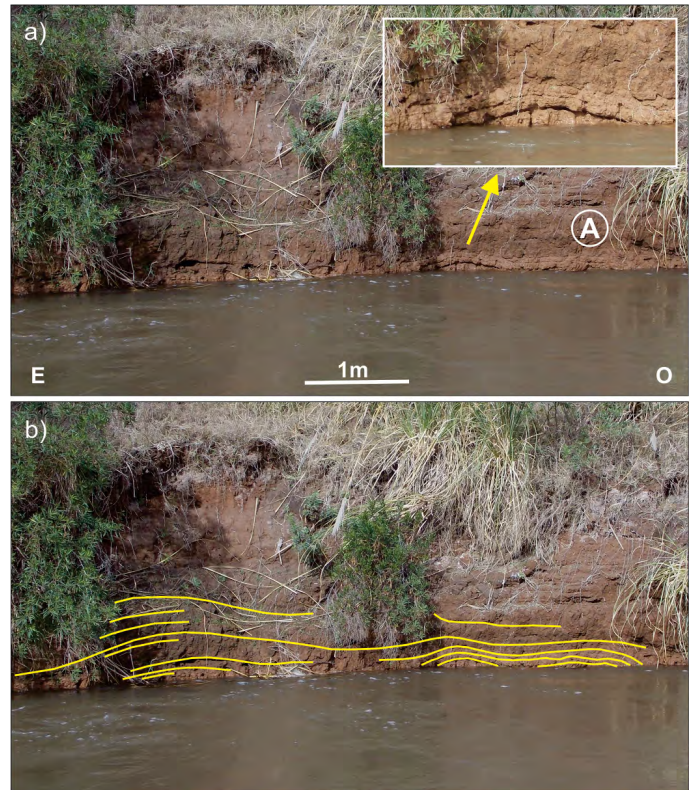


Figura 12. a) Vista del pliegue reconocido en la unidad A (UA) del perfil El Progreso, el recuadro de color blanco presenta un detalle del mismo; b) Sketch donde se indican las deformaciones con líneas de color amarillo.

Análisis Morfoestructural

Tal como fue expresado en párrafos anteriores, en el área de estudio se destacan áreas positivas y negativas que generan un relieve ondulado, el cual se va haciendo cada vez más suave hacia el este. En este ambiente de planicies onduladas con importante cobertura sedimentaria e intenso uso agrícola, el análisis de modelos de elevación digital resultó un complemento muy útil para resaltar y delimitar rasgos en el relieve. Las imágenes resultantes permiten diferenciar claramente lineamientos y bloques elevados los cuales ejercen un notorio control en la dinámica de los escurrimientos superficiales y subterráneos del área (Fig. 13).

Entre las morfoestructuras positivas se reconoce al norte el mesobloque Espinillos, que actúa de divisoria entre las cuencas del arroyo Chucul y del río Cuarto (Degiovanni et al. 2005). El mismo está sobre elevado unos 10 m de la llanura circundante, su perfil transversal es asimétrico con mayor pendiente hacia el oeste y más suave hacia el este (Fig. 14a). Sus máximas cotas están en el orden de los 520 m s.n.m. y en el mapa de sombras (Fig. 13b) puede observarse la disección que presenta este mesobloque en las nacientes del arroyo Chucul, como lineamientos de dirección este-oeste, norte-sur y noroeste-sureste, los cuales controlan la dirección

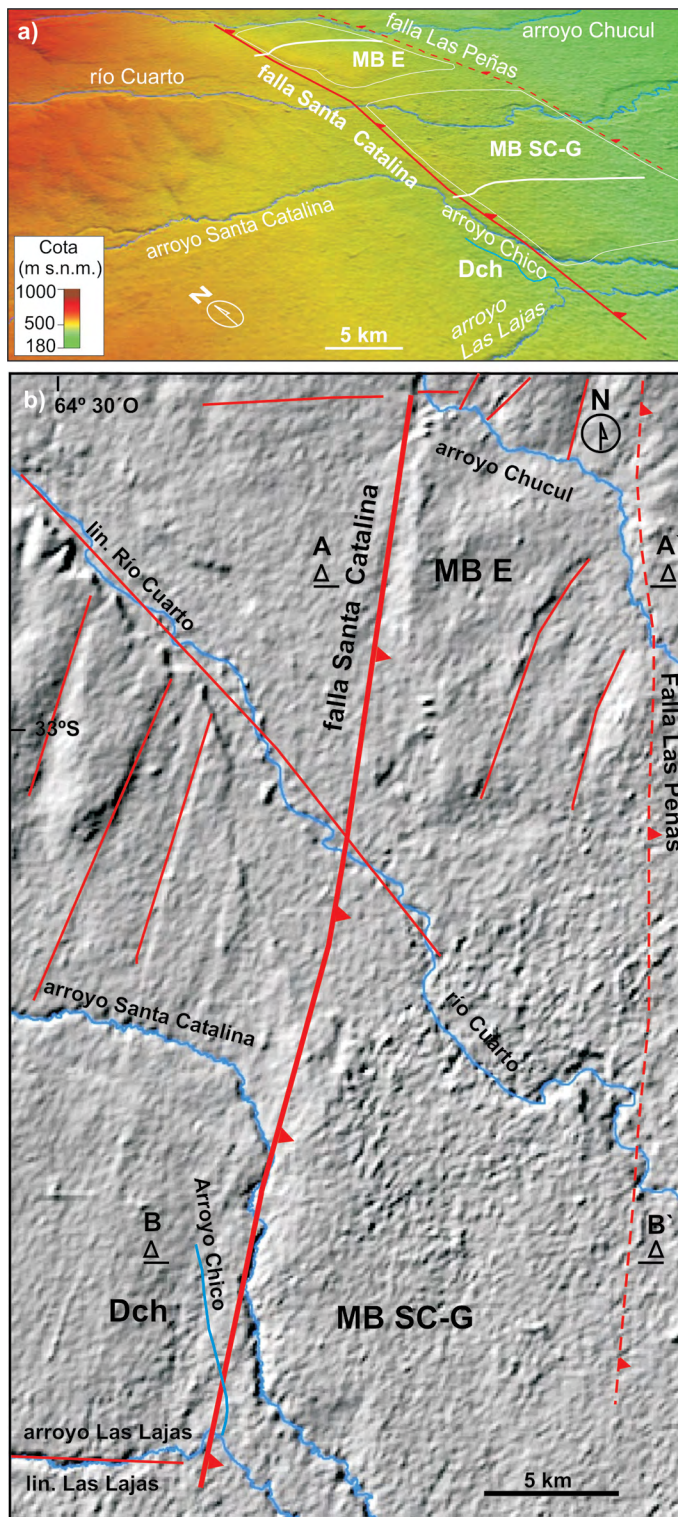


Figura 13. a) Modelo digital de elevaciones SRTM de 90 m de resolución, con las referencias de tonos según las cotas, vista oblicua desde el suroeste, donde se presentan los mesobloques Santa Catalina-Golf y Espinillos y la falla Santa Catalina. Las líneas blancas indican los límites aproximados de las morfoestructuras; b) Mapa de Sombras donde se indican las principales fallas y los lineamientos con líneas de color rojo, y con triángulos negros la ubicación de los perfiles topográficos. MB SC-G: Mesobloque Santa Catalina-Golf, MB E: Mesobloque Espinillos y DCh: Depresión del Chico.

de escurrimiento de este sistema.

El mesobloque Santa Catalina-Golf es la divisoria entre las cuencas del río Cuarto y el arroyo Santa Catalina, ejerce un importante control en la traza y morfodinámica de los mismos, en el arroyo Las Lajas y en los escurrimientos subterráneos (Doffo y Degiovanni 1993, Degiovanni et al. 2005, Doffo y González Bonorino 2006).

La diferencia de cotas que posee esta morfoestructura con los alrededores es de aproximadamente de 20 m, con cota máxima de 440 m s.n.m. y orientación submeridiana. Su perfil transversal es asimétrico (Fig. 14b), con mayor pendiente hacia el oeste y más tendida hacia el este (Fig. 13a). Al oeste de esta morfoestructura se ubica la depresión del Chico donde se localiza el arroyo Chico (Fig. 3). A mediados de la década del 50 el área de desbordes del arroyo Las Lajas en la depresión del Chico fue canalizada hacia el arroyo homónimo, y finalmente hacia el arroyo Santa Catalina (Fig. 3).

La ladera occidental de estas morfoestructuras presenta mayor pendiente y se interpreta como una escarpa contrapendiente desarrollada en sedimentos no consolidados, cuaternarios, con orientación submeridiana y una longitud aproximada de 33 km, asociada a la presencia de la falla Santa Catalina. La mayor pendiente en la ladera occidental es similar a la que presentan los frentes de levantamiento de las sierras de Comechingones y Sierra Chica, ambos controlados por fallas de movimiento inverso, que inclinan al este, ubicadas marginalmente a los bloques ascendidos y basculados, de forma diferencial, del basamento cristalino, como así también la geometría asimétrica que poseen en el perfil transversal.

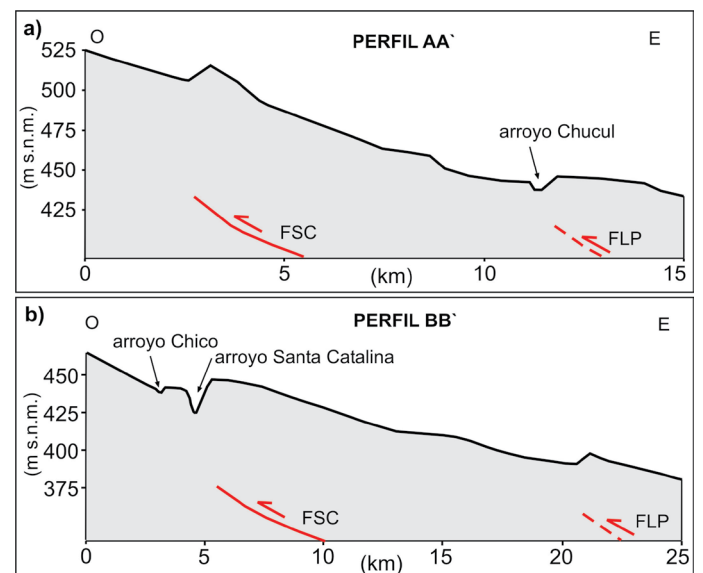


Figura 14. Perfiles topográficos transversales a las morfoestructuras; a) Perfil AA' mesobloque Espinillos; b) Perfil BB' mesobloque Santa Catalina-Golf. FSC: falla Santa Catalina, FLP: falla Las Peñas.

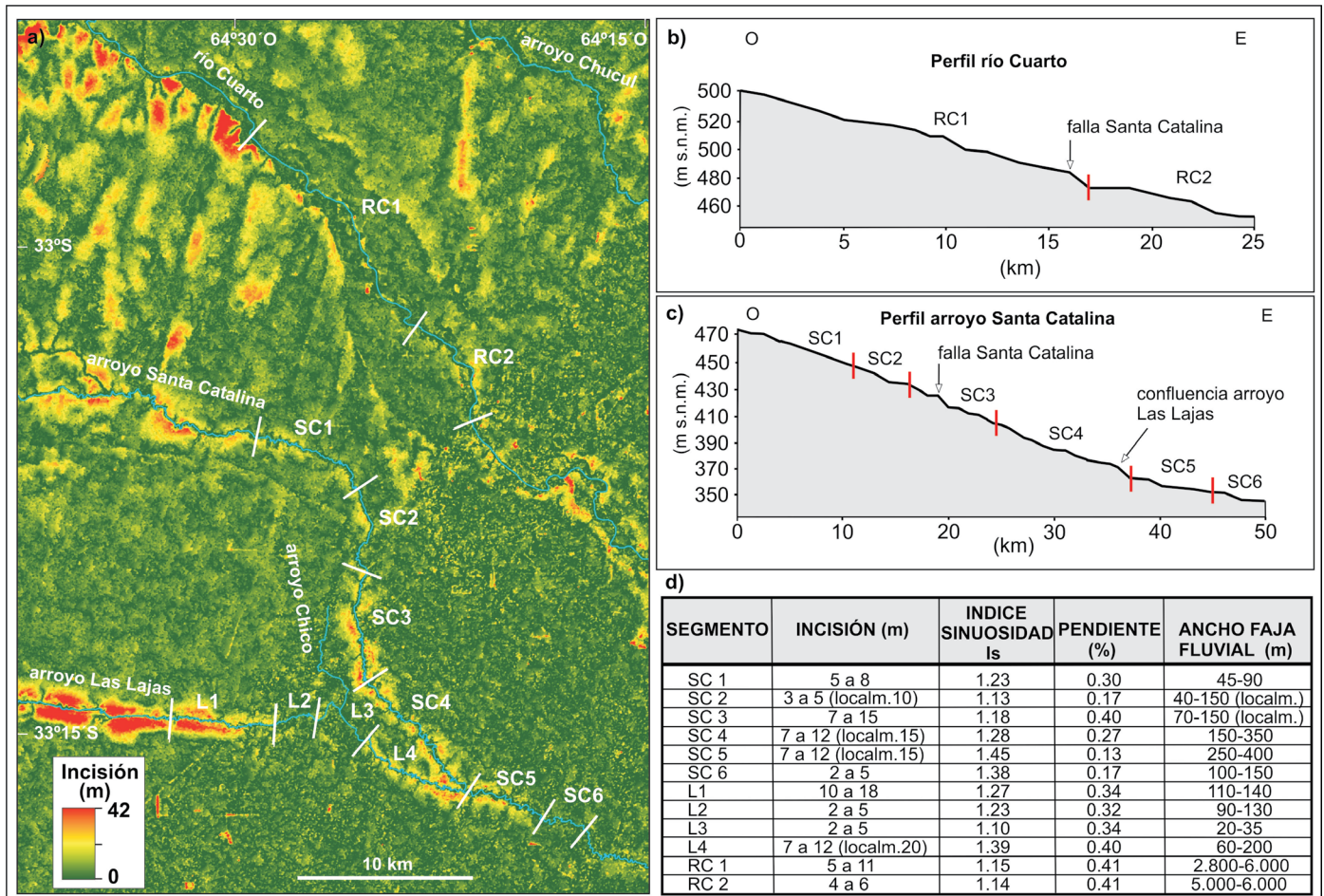


Figura 15. a) Mapa de Incisión de la red de drenaje, con indicación de los segmentos de cauces analizados; b) Perfil longitudinal río Cuarto con los segmentos analizados, c) Perfil longitudinal arroyo Santa Catalina con los segmentos analizados; d) Cuadro con los parámetros morfométricos determinados.

El río Cuarto posee la orientación general de su traza noroeste-sureste, controlada por el lineamiento homónimo, y aguas abajo de la ciudad de Río Cuarto, la traza cambia a oeste-este en la zona oriental del mesobloque Santa Catalina-Golf (Fig. 13b); este último cambio también coincide con una disminución del ancho de la faja fluvial y con la presencia del trazo inferido de la falla Las Peñas. Se supone que la misma podría ser el límite oriental de los mesobloques Santa Catalina-Golf y Espinillos (Fig. 13). La continuidad de esta estructura hacia el sur del arroyo Tegua fue propuesta por Bettiol (2012).

En el análisis de este curso se definieron dos segmentos denominados RC1 y RC2 (Fig. 15a), localizados aguas arriba y abajo, respectivamente, del sector donde se ubica el trazo de la falla Santa Catalina. Tanto el índice de sinuosidad como el ancho de la faja fluvial y la profundidad de incisión no muestran cambios significativos en ambos segmentos (Fig. 15d). Sin embargo, la dirección general noroeste-sureste del canal cambia a oeste-noroeste/este-sureste (Fig. 13b) en el

sector donde estaría localizada la falla Santa Catalina. También en el perfil longitudinal (Fig. 15b) se destaca un resalto de mayor pendiente, coincidente con un sector donde la movilidad del canal ha sido importante y donde se ubica la falla Santa Catalina.

El arroyo Santa Catalina presenta un marcado cambio en su sentido de escurrimiento de oeste-este a norte-sur en el sector de la falla Santa Catalina y también aguas abajo de la localidad de Santa Catalina cambia de orientación noroeste-sureste a norte-sur coincidiendo posiblemente con la presencia del trazo inferido de la falla Las Peñas. En el análisis de este curso se observan los cambios más notorios en los segmentos de canal analizados (Fig. 15a).

Entre los segmentos SC1 y SC2 (Fig. 15a) se observa una disminución de la pendiente y de la sinuosidad del canal, mientras que la profundización y ancho de la faja fluvial no muestran variaciones (Fig. 15c). Aguas abajo, en el segmento SC3 la pendiente del cauce se incrementa al atravesar el mesobloque, al igual que la incisión, y el canal se mantiene

Cuadro 1. Datos de las perforaciones seleccionadas para el análisis. 1 Cota boca de pozo, 2 Longitud perforación y 3 Cota techo basamento.

Perforación	Ubicación	Coordenadas	1 COTA BOCA POZO ms.n.m.	2 LONG. PERF. (m)	3 COTA TECHO BASAM. ms.n.m.	REFERENCIA
P1	UNRC	33°06'41" S 64°17'48" O	432	300	132	UNRC
P2	Barrio Golf	33°06'11" S 64°22'26" O	456	68	388	EMOS
P3	Santa catalina	33°12'11" S 64°26'01" O	435	68	367	Lic. J. Felizzia
P4	Santa catalina	33°12'04" S 64°25'48" O	433	70	363	Lic. J. Felizzia

con un diseño rectilíneo. El segmento SC4 muestra un aumento de la sinuosidad y del ancho de la faja fluvial, en coincidencia con la disminución de la pendiente. En el segmento SC5, aguas abajo de la confluencia con el arroyo Las Lajas, la pendiente es menor y el cauce adquiere un diseño meándrico, con una faja fluvial más ancha e incidida, características asociadas también a un aumento de caudal. En el segmento SC6, donde la influencia del mesobloque desaparece, la incisión y el ancho de la faja disminuyen notoriamente (Fig. 15d).

En el arroyo Las Lajas, al sur del área, se reconoce un control estructural en gran parte de su recorrido, ejercido por el lineamiento Las Lajas, donde es notoria la incisión de este arroyo en el terreno, con barrancas de hasta 12 m de altura (Fig. 13b).

Este comportamiento se observa en el segmento denominado L1, con un cauce de baja sinuosidad en un valle angosto (Fig. 15a). Aguas abajo, en los segmentos L2 y L3, en la depresión del Chico, la profundización es menor, y en L3 disminuye la sinuosidad y ancho de la faja fluvial (tramo en parte canalizado artificialmente). Este sector coincide aproximadamente con el trazo de la falla Santa Catalina. En el segmento L4, tramo previo a su confluencia con el arroyo Santa Catalina, el canal incrementa la pendiente, sinuosidad, incisión y ancho de la faja fluvial (Fig. 15d) al atravesar el mesobloque Santa Catalina-Golf.

El arroyo Las Lajas también presenta evidencias de una respuesta fluvial a la influencia de los movimientos tectónicos. En su antigua faja fluvial, donde se generó un paleoabanico de desborde en la zona distal, en el sector de la depresión del Chico, que al ser interceptado su curso por el mesobloque positivo Santa Catalina-Golf, ha derramado su caudal y sedimentos en este sector. Además, se reconocen en este curso dos niveles de terrazas sintectónicas solo en el sector donde se encuentra la falla Santa Catalina (Doffo y González Bonorino 2006).

Con el fin de conocer la posición del techo del basamento cristalino se efectuó el acopio y análisis de datos de perforaciones para extracción de agua potable realizadas en el área

de estudio. Se seleccionaron cuatro perforaciones en las que se alcanzó el techo del basamento, cuyos datos se presentan en la Cuadro 1. Las perforaciones han sido identificadas como P1 realizada en el Campus de la UNRC (Universidad Nacional de Río Cuarto), P2 corresponde al Pozo 29 del EMOS (Ente Municipal de Obras Sanitarias de Río Cuarto), P3 y P4 están en la localidad de Santa Catalina (com. pers. Lic. Juan Felizzia). Las perforaciones se encuentran en el bloque colgante de la falla que corresponde al mesobloque Santa Catalina-Golf (Fig. 3).

Analizando la diferencia de cotas (m s.n.m.) del techo del basamento entre las perforaciones P1 y P2, que es de 256 m, y la distancia este-oeste entre las mismas, que es de aproximadamente 8.000 m, se determinó que el basamento posee una pendiente de 3.2 % hacia el este. Por otra parte, considerando la diferencia de cotas del techo del basamento entre las perforaciones P3 y P4, que es de 4 m, y la distancia este-oeste entre las mismas que es de aproximadamente 160 m, se determinó que en este sector el basamento posee una pendiente de 2.5 % hacia el este. Si bien el número de perforaciones es reducido, la información que aportan las mismas permite detectar que el techo del basamento en el mesobloque Santa Catalina-El Golf posee una inclinación muy sutil hacia el este.

Sagripanti et al. (2018) realizaron un perfil gravimétrico con una equidistancia de 450 m, entre lecturas de gravedad, y perpendicular al trazo de la falla sobre la ruta N°30 (Fig. 3), con el fin de definir la topografía del techo del basamento en el subsuelo y ubicar la estructura en estudio, entre otras. Los resultados obtenidos y expresados en las curvas de Gradiente Horizontal, Señal Analítica y los aportados por una modelización de la Anomalía Residual de Bouguer (Fig. 16) permitieron interpretar resaltos e inclinaciones en el techo del basamento, que posiblemente han sido generados por el desplazamiento de las fallas que, junto con expresiones morfológicas superficiales, posibilitaron definir la posición de falla Santa Catalina.

Análisis del posible movimiento de la falla Santa Catalina

El análisis integral de todas las evidencias recolectadas permite plantear lo siguiente:

a) Las deformaciones reconocidas en los perfiles, principalmente las flexuras, pliegues y geometría monoclinal, cuyos ejes son paralelos a la orientación de la falla, como es también la presencia y distribución de las grietas de tensión con similar orientación, se consideran indicadores tectónicos de movimientos asociados a la propagación de una falla que no aflora.

b) Analizando en forma generalizada tanto las flexuras anticlinales desarrolladas en la unidad D y como la inclinación en sentido opuesto entre algunas unidades estratigráficas, por ejemplo, las unidades B y C, las mismas definen una geometría similar a una escarpa de flexura que puede resultar del movimiento de la falla Santa Catalina.

c) La asimetría que presenta el perfil de las morfoestructuras positivas en el relieve, mesobloque Santa Catalina-Golf y Espinillos, con mayor pendiente en la parte frontal hacia el oeste y con menor inclinación en el extradós, hacia el este, se interpreta como resultante del empuje de una falla de movimiento inverso de orientación aproximada norte-sur e inclinación al este. Esta expresión de los mesobloques en superficie tiene mucha similitud con la geometría que caracteriza el perfil de las Sierras Pampeanas de Córdoba resultante de la actividad de fallas inversas.

d) La escarpa contrapendiente, presente en la ladera oeste, y la ladera oriental más tendida de los mesobloques, junto a la inclinación hacia el este de algunas unidades estratigráficas permiten suponer que resultan del levantamiento diferencial y basculamiento hacia el este de estas morfoestructuras debido a la presencia y movimientos de la falla Santa Catalina. Por otra parte, el techo del basamento cristalino tiene una inclinación al este que podría resultar de la erosión o bien de un leve basculamiento del mesobloque.

e) Las deformaciones y la inclinación de algunas unidades estratigráficas detectadas en los perfiles, guardan correspondencia con la presencia de saltos de agua vinculados a frentes activos de erosión retrocedente en el arroyo Santa Catalina, indicando el control activo de la estructura sobre la morfología. Además, la presencia de niveles de terrazas sintectónicas en el arroyo Las Lajas y las variaciones en los parámetros morfológicos de canal y diseño de valle de los arroyos Las Lajas y Santa Catalina reportada por Doffo y González Bonorino (2006), confirmarían la interpretación sobre la actividad de la falla Santa Catalina.

f) Los parámetros morfométricos analizados para los arroyos Santa Catalina y Las Lajas, expresan cambios notorios en la pendiente y el diseño en planta de los cauces, y permitieron diferenciar segmentos con un proceso dominante de marcada incisión vertical al atravesar el mesobloque Santa Catalina-Golf. También el perfil longitudinal del arroyo Santa Catalina (Fig. 15c) mostró un resalto de mayor pendiente en el segmento SC3, coincidente con la presencia del trazo de la

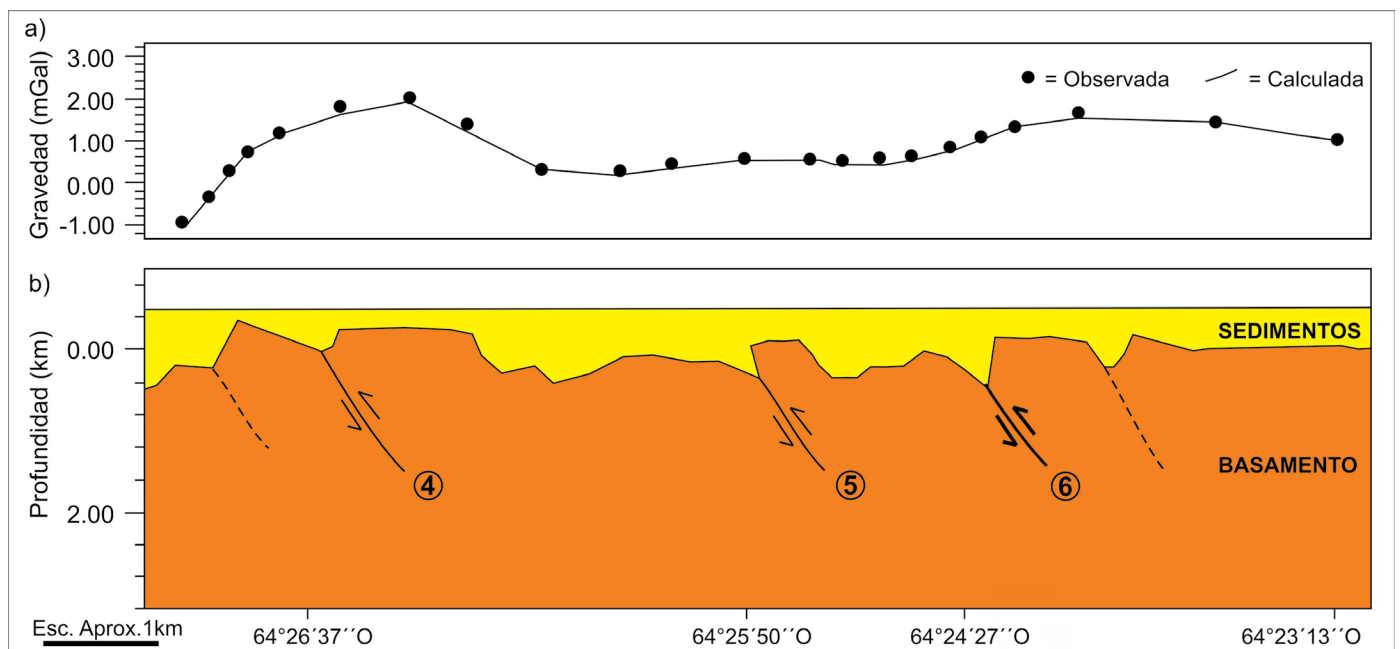


Figura 16. Perfil gravimétrico de orientación este-oeste próximo a la ciudad de Río Cuarto, reproducido de Sagripanti et al. (2018). Las densidades utilizadas en la modelización fueron de 2,70 g/cm³ para el basamento y de 2,25 g/cm³ para los sedimentos. 4: Falla Las Lagunas, 5: Falla Las Rosas y 6: Falla Santa Catalina.

falla Santa Catalina.

En el río Cuarto, si bien se observó un resalto en el perfil longitudinal en el sector donde estaría el trazo de la falla Santa Catalina, la sinuosidad, pendiente, ancho de la faja fluvial y grado de incisión no mostraron cambios aguas arriba y abajo de este sector. Debe señalarse que el tramo de estudio forma parte de un espacio limitado por distintos altos estructurales (Espinillos al este/noreste y Santa Catalina-Golf al sur), en el cual se ha desarrollado una faja fluvial de importante ancho, donde es posible observar múltiples procesos de desbordes y avulsión, y numerosos paleocanales. Este comportamiento, caracterizado predominantemente por procesos de sedimentación, podría haber ido obliterando rasgos asociados a un levantamiento del sector vinculado a la actividad de la falla Santa Catalina.

g) Algunas evidencias morfohidrológicas como: modificaciones que se han reconocido en la red de drenaje (en el diseño del canal); la obturación del drenaje del arroyo Las Lajas y su derrame en la depresión del Chico y el cambio abrupto de sentido de escurrimiento del arroyo Santa Catalina en proximidades de la morfoestructura positiva Santa Catalina-Golf; indicando que este mesobloque posiblemente se haya comportado como una barrera al escurrimiento superficial y que el mismo presente una depresión tectónica al oeste de la parte frontal, que ha favorecido el emplazamiento de depósitos de sedimentos de origen lagunar y palustre, permiten inferir que el levantamiento del mesobloque está asociado a reactivaciones de la falla Santa Catalina.

h) El sector del mesobloque Santa Catalina-Golf donde se han reconocido tanto las deformaciones en los perfiles como la morfología superficial es coincidente con la ubicación de la falla Santa Catalina definida a partir de una prospección gravimétrica realizada en estudios previos por Sagripanti et al. (2018).

i) Las deformaciones relevadas seguramente preservan el registro de los movimientos prehistóricos de la falla Santa Catalina, aunque no son suficientes por ahora para estimar la tasa de movimiento y el número de eventos paleosísmicos.

Todo lo anterior permite interpretar que: 1) la presencia de las deformaciones relevadas en este sector está asociada a un ambiente de acortamiento y pueden responder al empuje vertical y horizontal que les imprime a los sedimentos del bloque colgante una falla de movimiento inverso de bajo ángulo, no aflorante. Esto tiene correspondencia con el comportamiento interpretado por Sagripanti y Villalba (2020) para la falla Las Lagunas con similares características y presente en la zona, 2) los sedimentos cuaternarios presentes en este sector han sido afectados por movimientos de la falla, al me-

nos posteriores al Pleistoceno Superior y 3) las evidencias obtenidas indican que esta estructura es de movimiento inverso, que posee una longitud de aproximadamente 33 km, una orientación de 010°-020° N e inclinación al este y que define el límite occidental de los mesobloques Santa Catalina-Golf y Espinillos.

DISCUSIÓN

a) Las deformaciones neotectónicas más representativas que se reconocen en las Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis se encuentran ubicadas en el sector occidental de los frentes de levantamientos de las sierras de Comechingones y Sierra Chica, que son controlados por sistemas de fallas inversas lístricas con planos buzando al este y sureste. Estas estructuras se ubican marginalmente a los bloques del basamento cristalino basculados y ascendidos de forma diferencial generando el perfil asimétrico de las sierras, con mayor pendiente en la ladera occidental y menor en la oriental (Massabie y Szlafsztein 1991, Massabie et al. 2006, Costa et al. 2014, Canelo et al. 2019).

Las características morfotectónicas reconocidas en los mesobloques positivos de Espinillos y Santa Catalina-Golf tienen mucha similitud y correspondencia con las definidas para las sierras de Córdoba, ya que éstos también poseen un perfil asimétrico con mayor pendiente al oeste, tienen basculamiento al este y se encuentran diferencialmente ascendidos, posiblemente como respuesta de movimientos cuaternarios de la falla Santa Catalina.

b) Estudios realizados en la morfoestructura positiva denominada bloque San Guillermo, que se ubica a los 61°45' O, indican que posee un perfil asimétrico, donde se distingue en la parte frontal una escarpa de flexura con mayor pendiente al oeste, como también que los pliegues reconocidos poseen asimetría en su geometría presentando un flanco de mayor pendiente y otro más tendido o subhorizontal. Se infiere que la deformación principal que produjo un plegamiento suave de la cubierta sedimentaria fue generada por los desplazamientos de fallas, entre ellas la denominada Tostado-Selva, de movimiento inverso no emergente, que ha tenido actividad durante el Cuaternario (Brunetto et al. 2014).

Las deformaciones relevadas en la falla Las Lagunas, presentes en sedimentos no consolidados holocenos, como pequeñas escarpas contrapendiente paralelas, morfologías formadas por una sucesión de flexuras anticlinales, geometría monoclinial, entre otras, y la ausencia de evidencias de ruptura de la falla en superficie se vinculan al empuje de una

falla de movimiento inverso no emergente (Sagripanti y Villalba 2020).

Las evidencias recolectadas en las morfoestructuras positivas, denominadas Espinillos y Santa Catalina-Golf, como la asimetría en su perfil, escarpa contrapendiente, niveles sedimentarios inclinados, pliegues suaves de poca amplitud que generan una geometría similar a una escarpa de flexura y deformaciones en los sedimentos no consolidados, se consideran características de ambientes de acortamiento. Por lo tanto, en correspondencia con las deformaciones reconocidas e interpretaciones realizadas para otras fallas con similares características (Brunetto et al. 2014, Sagripanti y Villalba 2020), se arriba a que la falla Santa Catalina es de movimiento inverso no aflorante y la responsable de las evidencias mencionadas, que confirman la actividad cuaternaria de la misma.

c) En el piedemonte occidental de la sierra de Comechingones, se han relevado niveles de sedimentos inclinados al este e interpretados como evidencias secundarias del movimiento de fallas inversas que inclinan al este, como las denominadas El Molino y La Aguada (Costa et al. 2018, Castaldi et al. 2021). En la zona de estudio, piedemonte oriental, se han reconocido en el bloque colgante de la falla Santa Catalina niveles sedimentarios inclinados hacia el este, que se consideran como posibles evidencias secundarias de la actividad de la falla. Por lo tanto, se interpreta que la morfoestructura Santa Catalina-Golf está controlada por una falla de movimiento inverso no emergente que inclina hacia el este.

d) Las fallas de movimiento inverso no emergentes generan pliegues y flexuras en la superficie que están condicionados por la geometría del plano, la profundidad de la falla inversa y la respuesta de los materiales superficiales a la propagación del extremo de la misma. La geometría de la mayoría de estos pliegues es característica, normalmente anticlinales por flexión o propagación de falla y asimétricos, con flancos planos, siendo uno de mayor pendiente que el otro que es más tendido (McCalpin 1996, 2009, Yeats et al. 1997).

En los ambientes de acortamiento, cuando la ruptura no alcanza la superficie genera flexuras o crestas que se manifiestan cuando la topografía es muy suave y los depósitos de sedimentos no consolidados son potentes. La presencia de evidencias de deformaciones como el plegamiento por desplazamiento flexural, *bending moment fault*, arqueamientos y fallas, se consideran como indicadores tectónicos que revelan la presencia de una falla ciega (Meghraoui y Doumaz 1996).

Las evidencias de deformaciones relevadas, características de ambientes de acortamiento, por su distribución, orientación, geometría y la ausencia del plano de falla aflorando, al menos en este sector, permiten asumir que las mismas son

la respuesta en superficie de los sedimentos no consolidados al empuje vertical y horizontal generado por una falla de movimiento inverso no emergente y se consideran indicadores tectónicos de la actividad de la falla Santa Catalina. De acuerdo a la edad de los sedimentos deformados se puede asumir que los movimientos han ocurrido al menos en el Pleistoceno Superior y Holoceno.

e) Si se consideran los antecedentes relacionados a los movimientos de algunas fallas presentes a los 33° S y que han sido asignados al Cuaternario, los reportes coinciden en que durante el Pleistoceno y Holoceno se han producido movimientos tectónicos en fallas de movimiento inverso ubicadas en el entorno a esa latitud y entre los 61° 30' y 65° O (Pasotti 1974, Brunetto e Iriondo 2007, Brunetto et al. 2010, Sagripanti et al. 2009, 2011, 2012, 2014, 2018, Villalba et al. 2017, Sagripanti y Villalba 2020, Castaldi et al. 2018, 2021). Las deformaciones relevadas en sedimentos no consolidados del Pleistoceno-Holoceno y las interpretaciones realizadas sobre el movimiento de la estructura indican que también la falla Santa Catalina ha tenido actividad durante esas épocas, en un contexto tectónico compresivo común a las otras estructuras reportadas.

f) La configuración y gradiente del relieve del área de estudio han condicionado la dinámica y morfometría de los cauces. Si bien los sistemas fluviales de la región aún se encuentran en vías de ajuste, con un proceso dominante de incisión (Doffo et al. 2010, Degiovanni et al. 2014), la red de drenaje presenta modificaciones locales en el sentido de escurrimiento como así también resaltos en los perfiles longitudinales y variaciones en los parámetros morfométricos analizados que expresan cambios notorios en algunos segmentos de los cauces. Estos resultados junto a la presencia de niveles de terrazas sintectónicas en el arroyo Las Lajas reportados por Doffo y González Bonorino (2006) se consideran evidencias morfohidrológicas resultantes de los movimientos y control estructural ejercido por una falla no emergente, como la falla Santa Catalina presente en el sector.

g) La sismicidad cortical en la región donde se ubica el área de estudio es frecuente y posee antecedentes sísmicos desde el año 1826 (Sagripanti et al. 1998) hasta la actualidad. Se estima que en la misma se estaría manifestando la sismicidad cortical más oriental hasta el presente, dado que hacia el este de los 64° O no se cuenta con registros de este tipo de actividad sísmica.

CONCLUSIONES

a) Las deformaciones detectadas y relevadas en los per-

files naturales afectando a sedimentos no consolidados del Pleistoceno y Holoceno son resultado de la actividad cuaternaria de la falla Santa Catalina.

b) Las deformaciones y morfologías relevadas junto a la ausencia de evidencias de ruptura de la falla en superficie permiten proponer que la falla Santa Catalina es de movimiento inverso no emergente que propaga en sedimentos loessoides con un espesor importante. También que esta falla posee una orientación que varía entre 010°-020° N con inclinación al este y que es el límite occidental de los mesobloques Santa Catalina-Golf y Espinillos.

c) Se plantea que la falla Santa Catalina y las morfoestructuras positivas que controla serían las expresiones neotectónicas más orientales de la provincia geológica Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis, aproximadamente a los 33° S.

d) Teniendo en cuenta que al presente no se conoce el potencial para generar terremotos de la falla Santa Catalina, se considera que el peligro sísmico asociado a esta estructura puede estar siendo subestimado.

Se piensa que normalmente las deformaciones más importantes se desarrollan en el bloque colgante de una falla sismogénica. En el caso de la ciudad de Río Cuarto la mancha urbana en su mayoría se ubica sobre este bloque de la falla Santa Catalina, donde además la población posee un marcado estado de negación sísmica y es dudoso el control de la aplicación de las normas de sismo-resistencia en la construcción edilicia. Por lo tanto, se considera que el riesgo sísmico puede ser importante en esta ciudad.

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Adriana Cabrera y Lic. Juan Felizzia del área de Hidrogeología del Departamento de Geología-UNRC y al Lic. Gabriel Fontanilla del EMOS, por sus invaluable aportes de datos de perforaciones realizadas para la extracción de agua. Al editor temático Dr. José Mescua, a los revisores Dra. Gisel Peri, Dr. Fernando Hongn y anónimo por la lectura crítica del manuscrito, observaciones y sugerencias que han permitido mejorar este artículo.

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.

Bettoli, A. 2012. Estudio neotectónico de las fallas con actividad cuaternaria ubicadas al sur de las sierras Las Peñas. Tesis de licenciatura,

Universidad Nacional de Río Cuarto (inérita), 115 p., Río Cuarto.

Brice, J.C. 1964. Channel patterns and terraces of the Loup River in Nebraska. *Geological Survey Professional Paper* 422-D, 41 p.

Brunetto, E. y Iriondo, M. 2007. Neotectónica en la Pampa Norte (Argentina). *Revista de la Sociedad Geológica de España* 20 (1-2): 17-29.

Brunetto, E., Iriondo, M., 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.

Brunetto, E., Krohling, D., y Francisoni, C. 2014. La geomorfología de una región representativa de Pampa Norte y sur de la Mesopotamia en el contexto de los procesos endógenos. En: *Aportes para el mapeo de áreas de llanura*. 19° Congreso Geológico Argentino, Actas: S13, Córdoba.

Brunetto, E., Krohling, D., Zalazar, M.C. y Francisoni, M.C. 2017. Analysis of the interaction between neotectonic and surface processes in a low-land intracratonic setting of South America. *Quaternary International* 438: 141-159.

Canelo, H.N., Nóbile, J.C. y Dávila, F.M. 2019. Uplift analysis on a pericratonic region: An example in the Sierras de Córdoba (29°-34° S), Argentina. *Geomorphology* 329, 81-98.

Cantú, M. P. 1992. El Holoceno en la provincia de Córdoba. *Holoceno de la República Argentina*. *Cadinqua* 1: 1-16, Paraná.

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., Kröhling, D., Degiovanni, D. y Cioccale, M. 2104. Geomorfología. *Relatorio 19° Congreso Geológico Argentino, Actas: 747-823, Córdoba.*

Castaldi G., Villalba, D. y Sagripanti, G. 2018. Evidencias de Deformación Cuaternaria Asociadas a la Falla La Aguada. Extremo Sur del Sistema de Fallas de Comechingones. 17° Reunión de Tectónica, Actas: 35, La Rioja.

Castaldi G., Villalba, D., Sagripanti, G. y Degiovanni, S. 2021. Evidencias de actividad cuaternaria asociadas a la falla La Aguada, piedemonte occidental de la sierra de Comechingones. *Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis. Revista de la Asociación Geológica Argentina* 78 (4): 497-511.

Costa, C. 2019. La migración del frente de corrimiento neotectónico de las Sierras Pampeanas y su importancia morfológica. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 76 (4): 315-325.

Costa, C. y Vita Finzi, C. 1996. Late holocene faulting in the southeast Sierras Pampeanas of Argentina. *Geology* 24 (12): 1127-1130.

Costa, C., Massabie, A., Sagripanti, G., Brunetto, E. y Coppolecchia, M. 2014. Neotectónica. *Relatorio 19° Congreso Geológico Argentino, Actas: 725-746, Córdoba.*

Costa, C.H., 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.

- Degiovanni, S. 2005. Geomorfología Regional. En: Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Córdoba. Una perspectiva geoambiental, ed. UNRC: 19-29, Río Cuarto.
- Degiovanni, S. y Cantú, M. 1993. Carta de restricciones de uso agrícola y ganadero del área mal drenada comprendida entre General Levalle y Laboulaye, Córdoba, Rep. Argentina. Revista ASAGAI, publicación Especial N° 1: 7-25, Buenos Aires.
- Degiovanni, S., Villegas, M., Blarasin, M. y Sagripanti, G. 2005. Hoja Geológica 3363-III Río Cuarto. Provincia de Córdoba. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 349, 89 p., Buenos Aires.
- Degiovanni, S., Echeverría, K., Andreazzini, J. y Doffo, N. 2014. Los sistemas fluviales del Sur de Córdoba: alteraciones históricas, procesos de ajuste y consecuencias ambientales. 19° Congreso Geológico Argentino. Geología del Cuaternario, Geomorfología y cambio climático, Actas: 13-19, Córdoba.
- Doffo, N. y Degiovanni S. 1993. Geomorfología de la Hoja Río Cuarto, su aplicación en estudios de susceptibilidad de erosión". 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos 6: 274-282, Mendoza.
- Doffo, N. y González Bonorino, G. 2006. Evidencias de ajustes por tectonismo en los causes de los arroyos las Lajas y Santa Catalina. Dpto. Río Cuarto, Córdoba. 3° Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, Actas 1: 367-375, Córdoba.
- Doffo, N., Degiovanni, S. y Villegas, M. 2010. Integración de cuencas de drenaje en áreas de llanura, durante la última centuria. El caso del arroyo Las Lajas, Córdoba, Argentina. Cuadernos del CURIHAM, 16: 49-57.
- Ikeda, Y. 1983. Thrust-front migration and its mechanism: Evolution of intraplate thrust systems. Bulletin Department Geography University Tokyo 15: 125-159.
- 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.
- Jordan, T. y Allmendinger, R.W. 1986. The Sierras Pampeanas of Argentina; a modern analogue of Rocky Mountain foreland deformation. American Journal of Science 286: 737-764.
- Massabie, A. 1987. Neotectónica y sismicidad de la región de Sierras Pampeanas Orientales, Sierras de Córdoba, Argentina. 10° Congreso Geológico Argentino, Simposio de Neotectónica, Actas: 271-274, San Miguel de Tucumán.
- Massabie, A.C. y Szlafsztein, C.F. 1991. Condiciones geomecánicas y edad del fallamiento neotectónico en las Sierras Pampeanas Orientales, Córdoba, Argentina. Actas Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería 6: 154-168.
- Massabie, A., Cegarra, M. y Sanguinetti, A. 2006. Estructura y edad de fallamiento cuaternario a la latitud de Biale Massé, Sierra Chica de Córdoba. 12° Reunión sobre Microtectónica y Geología Estructural. Asociación Geológica Argentina, publicación especial 9: 107-112, Salta.
- McCalpin, J.P. 1996. Paleoseismology, Academic Press Inc., 587 p., California.
- McCalpin, J.P. 2009. Paleoseismology 2nd Edition, Academic Press Inc., 615 p., California.
- Meghraoui, M. y Doumaz, F. 1996. Earthquake-induced flooding and paleoseismicity of the El Asnam, Algeria, fault-related fold. Journal of Geophysical Research 101: 17,617-17,644.
- Pasotti, P. 1974. La Neotectónica en la Llanura Pampeana. Fundamentos para el mapa neotectónico. Instituto de Fisiografía y Geografía. Universidad Nacional de Rosario 58: 1-28.
- Pilger, R. 1981. Plate reconstructions, aseismic ridges, and low-angle subduction beneath the Andes. Geological Society of America Bulletin, Part 1 92: 448-456.
- Ramos, V. 1999. Rasgos estructurales del territorio argentino. En: Caminos R. (ed.), Geología Argentina. SEGEMAR, Anales 29 (24): 715-784.
- Ramos, V., Crispallini, E. y Pérez, D. 2002. The Pampean flat-slab of the Central Andes. Journal of South American Earth Sciences 15: 59-78.
- Richardson, T., Gilbert, H., Anderson, M. y Ridgway, K.D. 2012. Seismicity within the actively deforming Eastern Sierras Pampeanas, Argentina. Geophysics 188: 408-420.
- Sagripanti, G.L. y Villalba, D. 2009. Paleosismicidad y estimación del intervalo de recurrencia de fuertes terremotos asociados a fallas de intraplaca a la latitud de 33° S: Falla Las Lagunas, Sampacho, Córdoba. Revista de la Asociación Geológica Argentina 65: 417-428.
- Sagripanti, G.L. y Villalba, D. 2011. Movimientos prehistóricos y recientes en la intraplaca argentina a la latitud 33° S, falla Las Lagunas, Sampacho, Córdoba. Revista de la Asociación Geológica Argentina 68 (4): 491-501.
- Sagripanti, G. y Villalba, D. 2020. Deformaciones holocenas en el piedemonte oriental de la sierra de Comechingones. Falla Las Lagunas. Revista de la Asociación Geológica Argentina 77 (2): 245-260.
- 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.
- Sagripanti, G.L., Villalba, D., Bettiol, A. y Seitz, C. 2009. Sismicidad y paleosismicidad en la región sur de la provincia de Córdoba. Análisis del peligro y riesgo sísmico asociado. Revista de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente 23: 45-53.
- Sagripanti, G.L., Schiavo, H.F., Felizzia, J., Villalba, D., Aguilera, D., Giaccardi, A. y Membrives, J. 2011. Fuertes paleosismos de intraplaca y sus retornos vinculados a la falla Las Lagunas, Sierras Pampeanas de Córdoba. Revista de la Asociación Geológica Argentina 68: 52-70.
- Sagripanti, G.L., Villalba, D. y Villegas, M. 2012. Nuevas evidencias de deformaciones cuaternarias asociadas a la falla Sierra Chica. Sierras Pampeanas de Córdoba. Revista de la Asociación Geológica Argentina 69 (4): 624-639.

- Sagripani, G.L., Villalba, D., Villegas, M., Castaldi, G., Benito, E. y Muratore, N. 2014. Avances en la Valoración del Peligro Sísmico en Fallas con Actividad Cuaternaria. Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis. *Revista de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente* 32: 93-105.
- Sagripani, G., Villalba, D., Castaldi G., Giménez, M., Aguilera, D. y Giacardi, A. 2018. Actividad cuaternaria asociada a la falla Las Rosas, Sierras Pampeanas de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 75 (3): 409-424.
- Smalley, R.Jr., Pujol, J., Regnier, M., Chiu, J.M., Chatelain, J.L., Isacks, B.L., Araujo, M. y Puebla, N. 1993. Basement seismicity beneath the Andean Precordillera thin-skinned thrust belt and implications for crustal and lithospheric behavior. *Tectonics*, 12: 63-76.
- Villalba, D. y Sagripani, G.L. 2014. Análisis morfológico de escarpas asociadas a una falla de intraplaca con actividad cuaternaria: falla Las Lagunas, Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 71 (1): 86-95.
- Villalba, D., Castaldi, G. y Sagripani, G. 2017. Nuevas evidencias de actividad cuaternaria en la sierra de Comechingones: falla La Esther. 20° Congreso Geológico Argentino, Actas: 192-103, San Miguel de Tucumán.
- Yeats, R., Sieh, K. y Allen, C. 1997. *The geology of earthquakes*. Oxford university press. 568 p.