



Geomorfología del piedemonte oeste de las Serranías Occidentales: Influencia de una morfoestructura de plegamiento en las Sierras Pampeanas Australes, San Luis, Argentina

Guillermo OJEDA^{1,2}, Jorge CHIESA¹ y Jael ARANDA¹

¹ Departamento de Geología, Universidad Nacional de San Luis.

² Esc. de Ingeniería y Medio Ambiente, Universidad Nacional de Villa Mercedes.

Email: wojedae@gmail.com

Editor: Juan Manuel Alcacer Sánchez

Recibido: 10 de junio de 2023

Aceptado: 16 de noviembre de 2023

RESUMEN

Se presenta la geomorfología del piedemonte occidental de las Serranías Occidentales, en el ámbito de las Sierras Pampeanas Australes. El análisis jerárquico del relieve permitió distinguir 4 Regiones, 2 Asociaciones y 11 Unidades Geomorfológicas dentro de la Asociación Geomorfológica del Piedemonte Occidental de las Serranías Occidentales, entre las que destacan geoformas erosivas y agradacionales. Estas últimas se agrupan en 4 tipos principales: A) Abanicos aluviales areno-fangosos de grandes dimensiones, B) Abanicos terminales areno-fangosos, C) Abanicos aluviales gravo-arenosos de pequeñas dimensiones, y D) Piedemontes con flujos canalizados. Las características de los abanicos aluviales están en estrecha relación con sus cuencas hidrográficas; la relación entre el área del abanico aluvial vs. el área de la cuenca muestra una tendencia positiva para todos los casos; de igual manera, las características texturales de los depósitos se relacionan de manera directa con las zonas de alimentación. No obstante, los abanicos areno-fangosos presentan tamaños y pendientes que los diferencian de los depósitos aluviales definidos para otros piedemontes pampeanos del sector austral; sus dimensiones exceden ampliamente los tamaños frecuentes, mientras que, los valores de pendiente son inferiores. Los depósitos que conforman los abanicos se vinculan a secuencias sedimentarias con edades pleistocenas a holocenas superior y el encajamiento actual de su canal principal se interpreta asociado a una variación del clima y cambios en sus niveles de base local, a los que podrían estar vinculados la disminución de los caudales del río Desaguadero y la actividad neotectónica.

Palabras clave: Pleistoceno-Holoceno Superior, Abanicos aluviales areno-fangosos, control morfo-estructural

ABSTRACT

Geomorphology of the piedmont of the Serranías Occidentales: Influence of a folding morphostructure in the Sierras Pampeanas Australes, San Luis, Argentina.

The geomorphology of the western piedmont of the Serranías Occidentales, within the southern Sierras Pampeanas, is presented. The hierarchical analysis of the relief allowed us to distinguish 4 Geomorphological Regions, 2 Geomorphological Associations and 11 Geomorphological Units. Within the Geomorphological Association of the Piedemonte Occidental de las Serranías Occidentales, we recognize erosional and aggradational geoforms. The latter are grouped into 4 main types: A) large sandy-muddy alluvial fans, B) sandy-muddy terminal fans, C) small gravelly-sandy alluvial fans, and D) piedmont with channelled flows. The characteristics of alluvial fans are closely related to their watersheds; the relationship between the fan area shows a positive trend for all cases; similarly,

the textural characteristics of the deposits are directly related to the source zone. However, the sandy-muddy fans present sizes and slopes that differentiate them from the alluvial deposits defined for other Pampean piedmont of the southern sector; their dimensions greatly exceed the frequent sizes, while the slope values are lower. The deposits that make up the fans are linked to sedimentary sequences with Pleistocene to upper Holocene ages and the current wedging of its main channel is interpreted to be associated with a climate variation and changes in their local base levels, which could be linked to the decrease in the flow of the Desaguadero River and neotectonic activity.

Keywords: Pleistocene-Upper Holocene, Sandy-muddy alluvial fans, Morpho-structural control.

INTRODUCCIÓN

El ambiente septentrional del Cordón de las Serranías Occidentales (González Díaz 1981) está constituido por una serie de elevaciones discontinuas con alturas máximas de 1060 m s.n.m., que integran el ambiente de Sierras Pampeanas en el oeste de la provincia de San Luis. El sistema está asociado a una compleja morfoestructura producto de fallamiento y plegamiento, regionalmente vinculada a la falla regional Valle Fértil-Desaguadero y localmente a la falla El Gigante (Gardini et al. 1996, Costa et al. 2001 a) (Fig. 1). El Cordón de las Serranías Occidentales limita al oeste con la Depresión Occidental y ambiente de la Cuenca Desaguadero-Salado, y al este, con la Depresión Longitudinal Central (González Díaz 1981). De sur a norte se pueden diferenciar las elevaciones principales correspondientes al Alto Pencoso (667 m s.n.m.), la cerrillada de Las Cabras (760 m s.n.m.), la sierra de El Gigante (1140 m s.n.m.), la sierra de Las Quijadas (1060 m s.n.m.) y las sierras de Guayaguas y Cantantal (780 y 820 m s.n.m.) (Fig. 1b).

El piedemonte occidental asociado a estas elevaciones comprende una faja de amplitud variable entre 5 y 20 km y unos 180 km de longitud, limitada al oeste por el río Desaguadero e integrada principalmente por depósitos aluviales con formas de abanico en planta, vinculadas a los cursos efímeros emergentes de las áreas serranas y cuyos rasgos morfológicos y litológicos evidencian el control ejercido por la morfoestructura de plegamiento anticlinal de estas elevaciones (Ojeda et al. 2022). Los estudios de índole geomorfológicos precedentes en el área son escasos, pudiéndose destacar las descripciones realizadas por Canalis (1993) y aquellas limitadas al contexto de las hojas geológicas San Luis y San Francisco a escala 1:250.000 (Costa et al. 2001 a y b).

El objetivo principal de este trabajo es analizar y describir las unidades geomorfológicas que integran el piedemonte occidental del Cordón de las Serranías Occidentales, en el

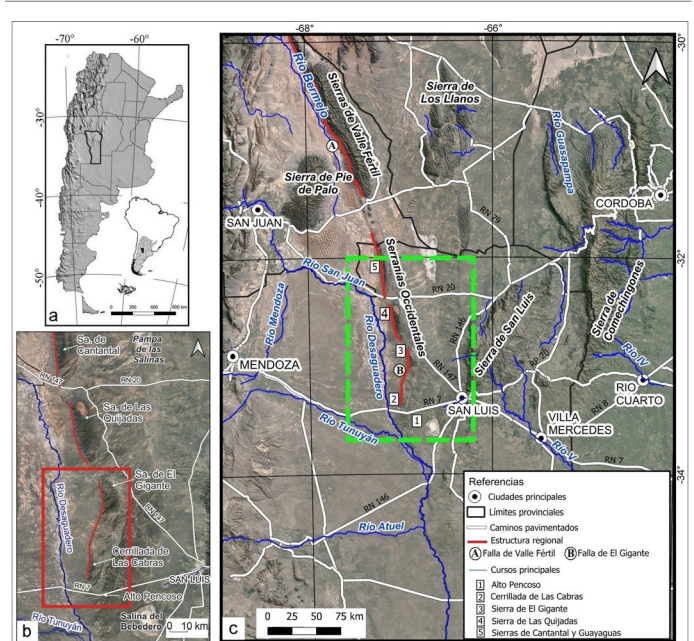


Figura 1. a) Mapa de ubicación general; b) Figura de ubicación regional basada en una imagen satelital Google Earth ©, el recuadro rojo delimita la zona ampliada de la Fig. 1c; c) Imagen de detalle, el recuadro verde indica la zona de estudio

tramo comprendido entre la cerrillada de Las Cabras y la sierra de El Gigante. El estudio es el primero que se realiza a nivel de detalle y permitirá aportar al conocimiento sobre la evolución pedemontana cuaternaria y el origen de las notorias diferencias existentes entre las características morfológicas, morfométricas y posicionales, respecto a aquellos presentes en piedemontes similares de la región pampeana, en particular las sierras de San Luis y de los Comechingones. La hipótesis planteada es que las formas, dimensiones y composición de los depósitos analizados con respecto a los abanicos estudiados en los piedemontes de la región serrana, responden a las diferentes características lito-estructurales de las zonas de aporte del basamento de las elevaciones pampeanas.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza a unos 70 km al oeste de la ciudad de San Luis. Comprende una superficie de 89 km de largo con un ancho entre 12 y 18 km, entre el río Desaguadero y el sector más austral del cordón septentrional de las Serranías Occidentales (Fig. 1). El acceso a la misma se puede realizar a través de la ruta nacional N° 7, luego mediante la ruta provincial N° 26, hacia el norte, y finalmente a través de numerosos caminos vecinales.

La geología del área está dominada por la presencia de las secuencias clásticas y evaporíticas de edades cretácicas y neógenas que conforman el Cordón de las Serranías Occidentales, deformadas en una estructura de plegamiento braquianticlinal producto de fallas propagantes cuya generación está vinculada a la orogenia Andina (Costa et al. 2001 a y b). Las rocas cretácicas comprenden los depósitos pertenecientes al Grupo El Gigante asignado fundamentalmente al Cretácico y conformado por las formaciones Los Riscos (conglomerados arenosos), El Jume (areniscas), La Cantera (limolitas), El Toscal (areniscas) y La Cruz (conglomerados arenosos), asimismo, sobre esta última apoya la Fm. Lagarcito (areniscas limosas del Cretácico inferior) (Flores 1969, Rivarola y Spalletti 2006, Castillo Elías 2016). Las sucesiones neógenas afloran de manera saltuaria en el flanco oriental y comprenden a las formaciones San Roque (areniscas conglomerádicas) y Las Mulitas (areniscas limosas) (Flores 1969, Chiesa et al. 2011). A partir de las elevaciones saltuarias del Cordón de las Serranías Occidentales se desarrollan depósitos aluviales, referidos mayormente al Cuaternario (Ojeda et al. 2021), formando los piedemontes ubicados tanto al oeste como al este de las mismas (Fig. 2).

Las características climáticas responden a su localización en el borde oriental de la Diagonal Árida Sudamericana (Bruniard 1982) donde el rasgo común corresponde a precipitaciones inferiores a los 300 mm anuales (Cazenave 2015) bajo la influencia de las lluvias del Sistema Monzónico Sudamericano (Garreaud et al. 2009) y el Anticiclón del Pacífico Sur (Vera et al. 2006). Los registros obtenidos de los últimos 10 años en la estación meteorológica Desaguadero (REM 2023), localizada en proximidades la localidad homónima (33° 24' 17,9" S, 67° 8' 57,8" O), arrojan valores medios de precipitación de 320,5 ± 124,5 mm/año, correspondiendo a lluvias de carácter torrencial con registros de intensidad máxima de 43 mm/h durante el verano, periodo donde se registra cerca del 80 % del total de las precipitaciones. La temperatura media anual calculada para el mismo periodo es de 17,7°C con mí-

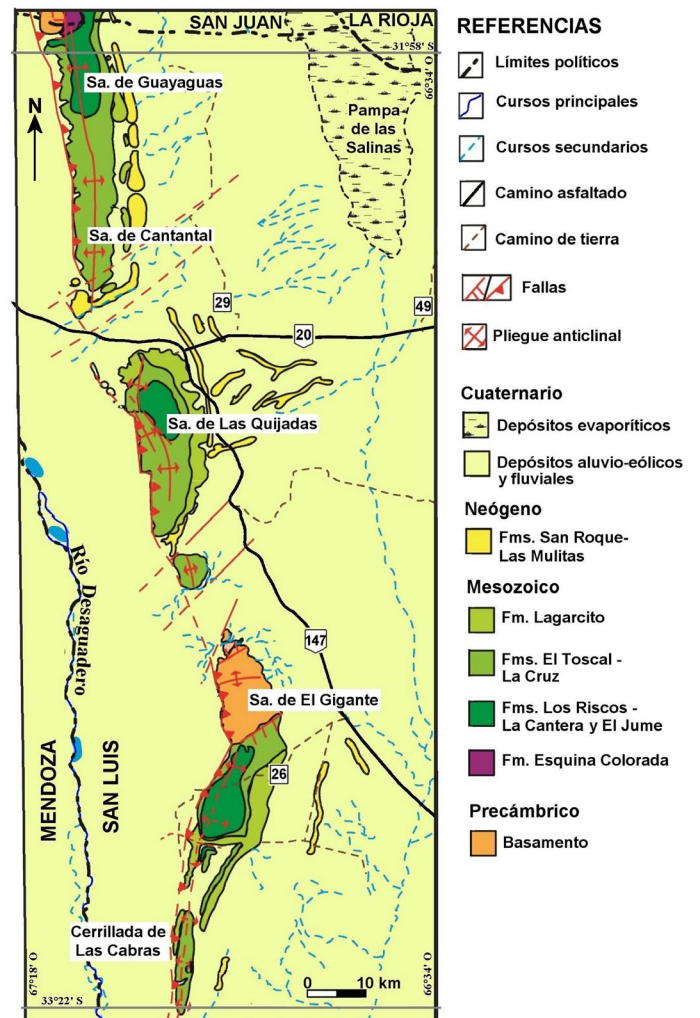


Figura 2. Mapa geológico regional (modificado de Castillo Elías (2016), basado en Flores 1969, Criado Roque et al. 1981, Yrigoyen et al. 1989; Rivarola y Spalletti 2006, Gardini 2009, entre otros).

nimas promedio de -8°C y máximas de 41°C, lo cual favorece una elevada evapotranspiración del suelo.

Según datos tomados de Trabucco y Zomer (2009) la evapotranspiración media anual para el sector varía entre 256 y 293 mm, lo que explica la escasa disponibilidad de agua superficial durante todo el año en la región. Sobre la base de los valores de precipitación y evapotranspiración correspondientes al periodo 1970-2020 obtenidos de la base de datos Worlclim.org (Fick y Hijmans 2017) y el Índice de Aridez Global (*Global-Aridity*) del consorcio CSI del CGIAR para la información espacial (<https://cgiarcsi.community/>) (Zomer et al. 2008), se obtiene un índice de aridez basado en PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) entre 0,13 y 0,20 que permite clasificarla como Árida. Según datos de la estación meteorológica de La Tranca (REM 2023), ubicada a unos 50 km más al norte del área de estudio (32° 20' 22,8" S, 67°15' 58,3" O), durante el periodo anual de 2020

a mayo de 2021, las velocidades medias del viento fueron de $16 \pm 6,5$ km/h pero con valores máximos de hasta 52,2 km/h con predominio de vientos de mayor intensidad y frecuencia desde el este y noreste.

El déficit hídrico dominante en la zona de estudio condiciona el desarrollo de cursos fluviales de carácter efímero asociados a las lluvias locales. Este hecho, sumado a las características sedimentológicas de los depósitos superficiales, donde predominan texturas arenosas, condiciona el desarrollo de suelos, que en general son poco evolucionados, y en los sectores distales salinos, Peña Zubiate y d'Hiriart (2007) los clasificaron en su mayoría como Entisoles según la clasificación del Soil Taxonomy, con contenidos de materia orgánica inferior al 1 %.

La erosión laminar es intensa por lo que impide un buen desarrollo de los estratos herbáceo pero el estrato arbustivo es relativamente denso, con una tipología y densidad variable dependiendo de los rasgos texturales y contenido salino de los suelos. Esto favorece en algunos sectores los procesos de deflación y desarrollo de formas de acumulaciones en forma de mantos y dunas eólicas (Ojeda et al. 2013). Peña Zubiate et al. (1998) destacaron que en los sectores proximales dominan el arbusto y el monte achaparrado, espinoso y desprovisto de hojas (Dominio Chaqueño), mientras que, en las franjas ribereñas abunda la vegetación halófila, expandiéndose y mezclándose con la xerófila, con los cachiyuyos o zampa (*Atriplex* spp), el jume (*Suaeda divaricata*) y la vidriera (*Allenrolfea vaginata*) como plantas más comunes.

METODOLOGÍA

El estudio fue realizado mediante técnicas de interpretación y análisis geomorfológico basadas en dos tipos de imágenes satelitales en particular: a) imágenes ópticas de alta resolución espacial provistas por el sistema online Google Earth® y b) mapas de sombreado artificial (*hillshades*) o capa de relieve sombreado (Olaya 2020). Este último es un producto derivado del Modelo Digital de Elevación del Instituto Geográfico Nacional (IGN) (MDE-Ar v2.0), con resolución espacial de 30 m y precisión vertical de aproximadamente 2 m. La identificación y mapeo de los rasgos geomorfológicos fue realizada en forma digital en el entorno de la herramienta SIG QGIS® en su versión 3.30.

Las geoformas cartografiadas fueron posteriormente controladas en el terreno y simultáneamente, se obtuvieron muestras de los materiales sedimentarios que las conforman. Estas fueron tomadas en superficie o mediante el levantamiento de perfiles estratigráficos en aquellos sitios con cortes

naturales en el terreno. Se obtuvieron fotografías de los rasgos de las geoformas en el terreno y de los cortes en los afloramientos más destacados. Debido a los escasos desniveles pedemontanos, se recurrió además a fotografías aéreas tomadas desde un dron DJI Mavic-mini. Las muestras fueron procesadas en el laboratorio de Suelos del Departamento de Geología de la UNSL para su caracterización textural. En el caso del levantamiento de perfiles se realizó el análisis litofacial basado en la propuesta de clasificación de Miall (1996), mientras que para las muestras de sedimentos obtenidas de superficie solo se restringió a un análisis de su textura predominante. Se utilizó separación mecánica en seco con tamices para la fracción más gruesa (arenas y gravas finas) y el método del hidrómetro de Bouyoucos para las partículas más finas. Las aperturas de malla de los tamices utilizados corresponden al límite de la escala Udden Wentworth. Los colores fueron descritos con la tabla de colores de Munsell®.

Para el análisis geomorfológico se recurrió a una metodología que hace uso de jerarquías del relieve y que tiene sus orígenes y fundamentos en los trabajos de Laut et al. (1977) donde se establecen unidades territoriales de conjunto (homogéneas). Esta metodología es similar al sistema australiano denominado "*Landsystems*" de Christian y Stewart (1968), donde la delimitación de las unidades homogéneas está basada en la asunción de que los patrones topográficos, de suelos y vegetación se encuentran altamente correlacionados, de manera que unos pueden ser utilizados para la predicción de los otros, y de esta forma, la información así generada puede ser utilizada tanto para estudios de carácter básico como aplicados. En particular se siguió la propuesta realizada para la provincia de Tucumán por Sayago (1982) quien la aplica en un ambiente similar de Sierras Pampeanas. En la misma se establecen 5 niveles de análisis a diferentes escalas de percepción. Las jerarquías del relieve establecidas son: Provincias Geomorfológicas, Regiones Geomorfológicas, Asociaciones Geomorfológicas, Unidades Geomorfológicas y Elemento del Relieve. En este estudio dicha metodología fue aplicada con cierto grado de flexibilidad respecto a la original, en particular en cuanto a la consideración del factor escala para la clasificación jerárquica, basada en experiencias previas de los autores (Ojeda 2005, Aranda 2020). De esta manera, se considera el nivel de Asociaciones Geomorfológicas dentro de una definición amplia y simple que puede ser entendida como un área caracterizada por la recurrencia espacial de una o más geoformas, sin entrar en otras connotaciones que las definen, por ejemplo, las climáticas.

A los fines de realizar un análisis comparativo entre el tamaño de los abanicos aluviales y el tamaño de su cuenca de alimentación, estas últimas fueron digitalizadas haciendo coinci-

dir su desembocadura con el ápice de los cuerpos aluviales. Por último, a los fines de su caracterización morfológica y morfométrica, y su comparación con otros abanicos aluviales presentes en los piedemontes occidentales de las sierras de San Luis y Comechingones, se elaboraron perfiles longitudinales de los abanicos aluviales. Estos fueron realizados siguiendo su curso principal, desde el ápice al pie, mediante el trazado de un segmento siguiendo la línea del *talweg*. Se utilizó de base el MDE-Ar v2.0 y herramientas para la obtención de perfiles de elevación (*Terrain profile*) del SIG QGIS 3.30.

RESULTADOS

En base a la metodología de análisis jerárquico descrita previamente y al esquema regional planteado por González Díaz (1981), la zona de estudio puede ser dividida en tres unidades principales a nivel de Regiones Geomorfológicas (Fig. 3): 1) Depresión Longitudinal Central, 2) Cordón de las Serranías Occidentales y 3) Depresión Occidental y Ambiente de la cuenca del río Desaguadero-Salado. Hacia el oeste, ya en territorio de la provincia de Mendoza, se identifica una cuarta unidad dominada por los rasgos del piedemonte distal del mega-abanico del río Tunuyán, cuyas unidades geomorfológicas fueron descritas por Ojeda y Chiesa (2014).

Región Geomorfológica de la Depresión Longitudinal Central

Constituye una amplia depresión de origen tectónico, con elongación en dirección NNO, limitada al oeste por el suave flanco oriental de las estructuras de inversión tectónica de las Serranías Occidentales y al este por el piedemonte del frente de levantamiento de la sierra de San Luis (Costa et al. 2001 a). De esta amplia región, solo se considera una pequeña parte correspondiente al sector del piedemonte oriental del cordón de las Serranías Occidentales (Fig. 3). Corresponde al sector pedemontano proximal constituido por depósitos areno-limosos de origen aluvio-eólicos, que cubren en forma de mantos relativamente delgados, con espesores generales menores a 5 m, el sector distal de un relieve de cuevas asociado al flanco oriental del anticlinal Las Cabras. Estos mantos desarrollan un relieve con desniveles suaves y pendientes entre 1-3% hacia el este (Figs. 3, 4). En esta unidad se destaca además la presencia de varios arroyos con nacientes en las elevaciones serrana al este del alto estructural Donado-Pencoso-Quijadas.

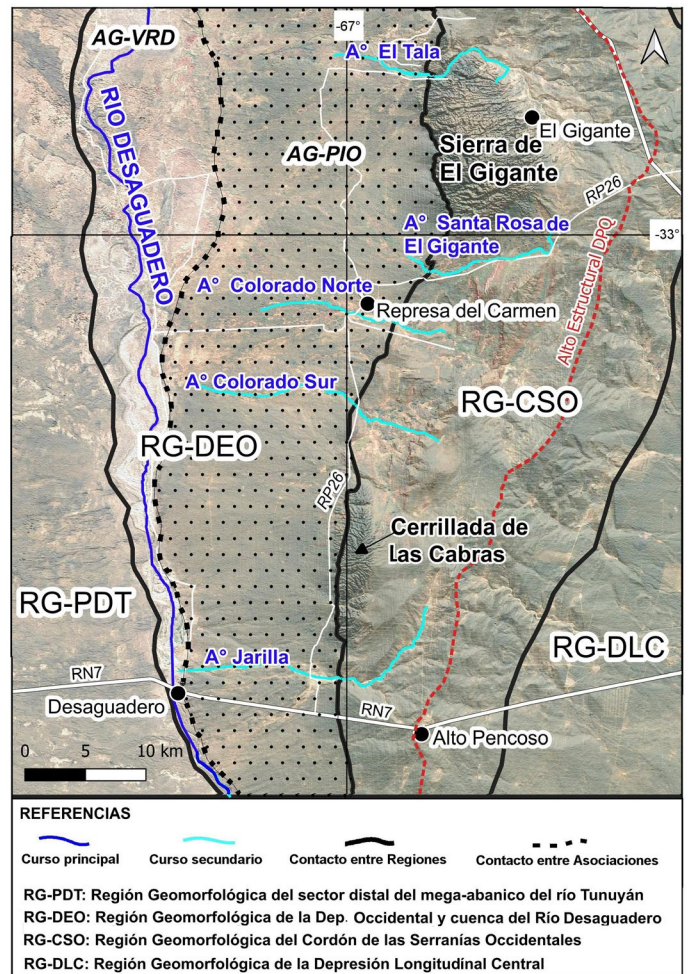


Figura 3. Regiones Geomorfológicas del área de estudio. Para la RG-DEO se discriminan las Asociaciones Geomorfológicas AG-VRD y AG-PIO. Esta última con patrón punteado

Región Geomorfológica del Cordón de las Serranías Occidentales

En esta unidad, parcialmente descrita en las secciones previas del trabajo, resaltan los rasgos geomorfológicos asociados al desmantelamiento por erosión de las estructuras de plegamiento anticlinal, en rocas cretácicas-neógenas. En el anticlinal asimétrico Las Cabras (Gardini et al. 1996), cuyo eje de rumbo meridiano pasa aproximadamente sobre la cerrillada de Las Cabras, las geformas presentes resultan de la erosión fluvial de dicha morfoestructura, dando lugar a paisajes estructurales del tipo "Relieve Jurásico" (Archambault et al. 1970) donde se distinguen geformas tales como combes, crestas, cuevas, etc. De esta manera la cerrillada de Las Cabras es considerada aquí un elemento tipo *mont*, mientras que, la sierra de El Gigante presenta geformas asociadas al modelado pasivo en rocas de basamento cristalino de edad precámbrica a paleozoica inferior, tal como lo señalan Costa

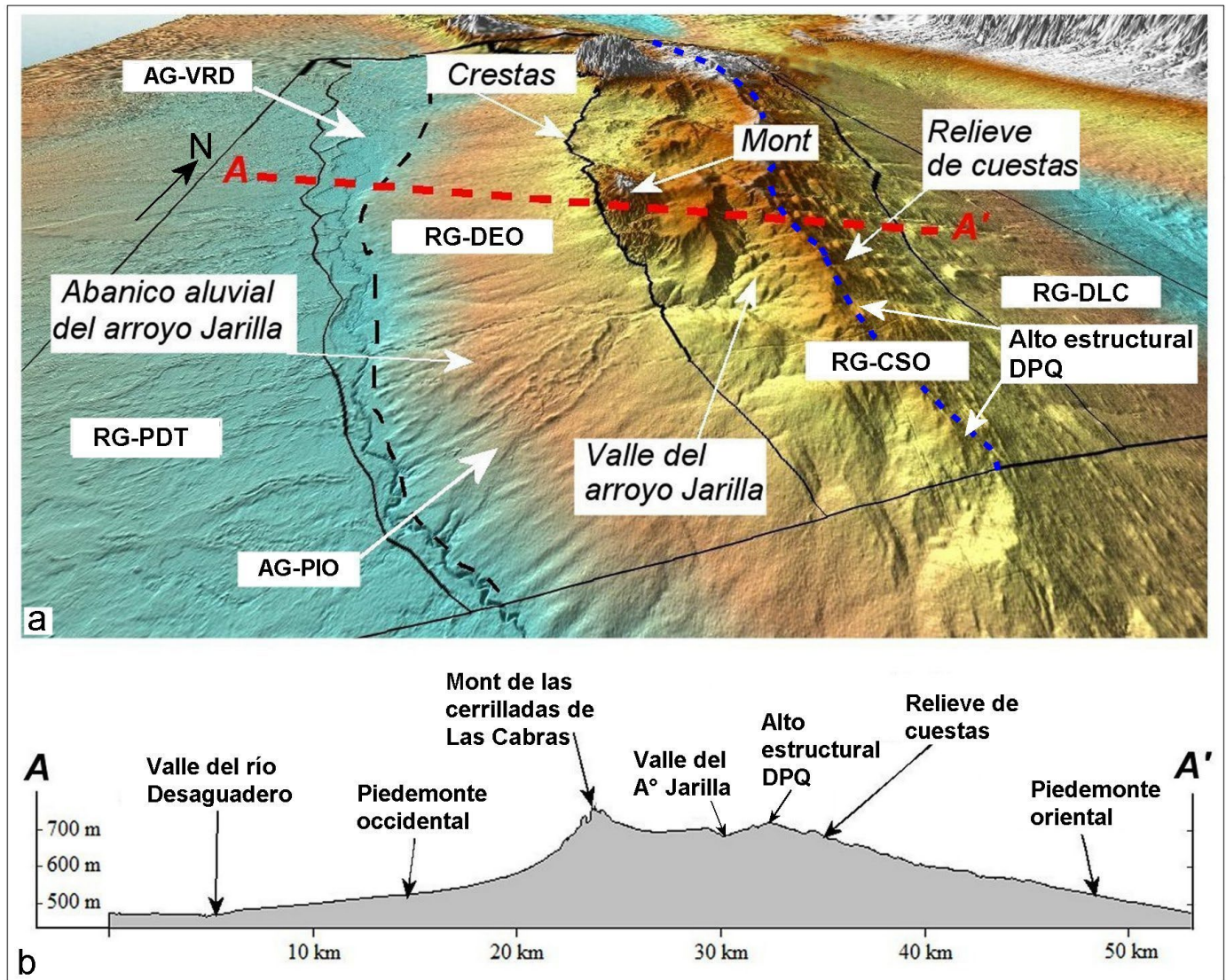


Figura 4. a) Vista en perspectiva del área de estudio desde el sur obtenida a partir del MDE y su despliegue como un mapa de sombreado artificial en colores b) Perfil topográfico A-A' exagerado para mayor claridad (25x)

et al. (2001 a) (Figs. 3, 4).

El fuerte control ejercido por la estructura plegada del anticlinal Las Cabras dio lugar además a un relieve residual con rasgos topográficos particulares que incluyen una doble divisoria de aguas hacia la cuenca del río Desaguadero. Esto se relaciona a la geometría que Gardini et al. (1996) identificaron como un plegamiento en caja muy abierto, cuya erosión diferencial en el oeste, modeló las elevaciones que integran las cerrillada de Las Cabras y la sierra de El Gigante. Hacia el este, este proceso origina además un alto topográfico referido en este trabajo como Alto Estructural Donado-Pencoso-Quijadas (DPQ) (Fig. 3).

Debido a esta particularidad, las cuencas hidrográficas principales que alimentan los depósitos aluviales del piedemonte occidental, se desarrollan ampliamente al este de las elevaciones principales de las cerrillada de Las Cabras y de

la sierra de El Gigante (Figs. 3, 4). Esto ha generado valles en dirección norte-sur, pero que, en los extremos de las elevaciones principales, cambian abruptamente hacia el oeste cortando la estructura de plegamiento. La erosión interna en el pliegue ha originado grandes combes de flanco, abiertas hacia el oeste, dando lugar a la presencia de elementos residuales como crestas, mientras que el flanco oriental se destaca el desarrollo de cuestras con pendientes estructurales de 2-2,5 % hacia el este.

Región Geomorfológica de la Depresión Occidental y Ambiente de la cuenca del río Desaguadero-Salado

González Díaz (1981) caracterizó el entorno del río Desaguadero como un "río enlagueado" constituido por lagunas extensas y poco profundas al norte y con un tramo inferior

Cuadro 1. Unidades geomorfológicas del piedemonte occidental del Cordón de las Serranías Occidentales entre la cerrillada de las Cabras y la sierra de El Gigante

Provincia	Región	Asociación	Unidades Geomorfológicas
Sierras Pampeanas	Depresión occidental y ambiente de la cuenca del río Desaguadero-Salado	Piedemonte occidental del Cordón de las Serranías Occidentales	Abanico aluvial del arroyo Jarilla (1)
			Complejo de abanicos aluviales de la cerrillada de Las Cabras (2)
			Abanico aluvial del arroyo La Ripiera (3)
			Abanico aluvial del arroyo de la cerrillada de Las Cabras norte (4)
			Abanico terminal del arroyo Colorado Sur (5)
			Abanico terminal del arroyo Colorado Norte (6)
			Abanico aluvial del arroyo Santa Rosa de El Gigante (7)
			Complejo de abanicos aluviales de la sierra de El Gigante (8)
			Abanico aluvial del arroyo El Tala (9)
			Piedemontes con flujos canalizados o pendientes aluviales indiferenciadas (10)
			Pedimentos (11)

con salinas y lagunas circunstanciales. Debido a los aportes prácticamente nulos de caudales del río San Juan, actualmente el río Desaguadero puede clasificarse como un curso no permanente, con aporte originados principalmente por las lluvias locales, mayormente recto ($IS = 1,28$) y pendiente longitudinal muy baja ($0,03-0,06 \%$) (Ojeda et al. 2021). El lecho del cauce está representado por delgados espesores de sedimentos areno-limosos, que exponen parcialmente rocas sedimentarias referidas al Miembro Río Desaguadero (Chiesa et al. 2015) de la Fm. Arco del Desaguadero (Rodríguez y Barton 1993). Hasta el siglo pasado, las crecidas estivales asociadas al deshielo desarrollaban extensas y pandas lagunas temporales con profundidades estimadas no mayores a los 2 m en general (Ojeda et al. 2013). Estas antiguas zonas de anegamiento constituyen actualmente amplios sectores, de piso notoriamente llano y limoso-salino, fácilmente reconocibles en las imágenes satelitales en el tramo desde el arroyo Jarilla al sur hasta el límite provincial al norte, donde el cauce principal del río Desaguadero se encuentra incidido con profundidades máximas de hasta 6-8 m.

Hacia el este, el valle del río Desaguadero limita con los depósitos aluviales que constituyen el piedemonte occidental de la Región Geomorfológica del Cordón de las Serranías Occidentales. De esta manera, la Región Geomorfológica de la Depresión Occidental y Ambiente del Río Desaguadero-Salado, se puede subdividir en dos elementos jerárquicos menores a nivel de Asociación Geomorfológica: a) Valle del río Desaguadero y antiguas zonas de enlagonamiento y b) Piedemonte Occidental de las Serranías Occidentales (Figs. 3 y 4). Las características generales de esta última se describen en detalle por corresponder al área principal objeto de estudio.

Unidades Geomorfológicas de la Asociación Geomorfológica del piedemonte Occidental entre la cerrillada

de Las Cabras y la sierra de El Gigante: En concordancia con lo señalado por Suriano y Limarino (2009), es importante destacar que existe una mayor variedad de depósitos de piedemonte que la frecuentemente asumida, comúnmente abanicos aluviales y sistemas de bajadas. En la Asociación Geomorfológica del Piedemonte Occidental se pudieron distinguir 11 elementos a nivel jerárquico de Unidades Geomorfológicas; si bien la mayoría corresponden a abanicos aluviales, se reconocen además otras geoformas como abanicos terminales, piedemontes con flujos canalizados o pendientes aluviales indiferenciadas y pedimentos (Cuadro 1, Fig. 5).

A ello se suma la diferenciación de dos tipos de abanicos aluviales en función de sus dimensiones y del tamaño de sus componentes.

El abanico aluvial del arroyo Jarilla (1) ocupa un área de $99,3 \text{ km}^2$ y es bien reconocible en las imágenes a través de su red de paleocanales con un diseño de drenaje distributivo (Fig. 5). En la actualidad la superficie aluvial se encuentra desconectada del canal de alimentación principal, el arroyo Jarilla, debido a su incisión en el cuerpo del abanico con profundidades entre 2 y 6 m (Figs. 6 a, e). Tognelli (1998) asoció esta profundización del canal a una divergencia del escurrimiento coincidente con obras vinculadas al trazado del ferrocarril y de la antigua ruta nacional N° 7. En concordancia con ello, Ojeda et al. (2013) y (2021) plantean además cambios en el nivel de base de erosión asociado a la notoria disminución de los caudales del río Desaguadero y la desaparición durante el siglo pasado de las lagunas temporarias con las cuales se conectaba. En su sector medio el cuerpo del abanico mide unos 12 km de longitud y 9,5 de ancho, con un perfil longitudinal mayormente recto con tramos de muy suave concavidad y una pendiente general de $0,76 \%$. El perfil transversal es convexo con desniveles máximos entre 9 y 15 m entre la parte central y los sectores laterales. Internamente,

los paleocanales desarrollan desniveles con promedios de $2 \pm 0,5$ m.

La mayor parte de la superficie de la cuenca hidrográfica del arroyo Jarilla (80,9 km²) se desarrolla al este de las elevaciones de la cerrillada de Las Cabras, donde el valle ha erosionado principalmente sedimentos arenosos de las formaciones Las Multitas y Alto Pencoso. Con base en perfiles estratigráficos levantados en el sector distal a medio y los antecedentes sedimentarios aportados por Canalis (1993), Garcés (2012) y Chiesa et al. (2015), se caracterizó a la secuencia del abanico como de textura predominantemente arenosa fina y limosa, dispuesta en cuerpos tabulares con estruc-

tura masiva a débilmente laminada (Fig. 6 b, d). En las capas basales se observan arenas limosas (Sm) y arenas con limos y arcillas subordinadas (Sm), moderadamente consolidadas, de color marrón rojizo (5YR 6/4) a marrón claro (7.5 YR 6/4) y estructura masiva. Sobre este material se desarrolla un horizonte orgánico de 30 cm de espesor que es cubierto en contacto neto por sedimentos de textura arenosa con limos y arcillas subordinados, color marrón claro (7.5 YR 6/4), estructura entrecruzada (Sp) y mineralogía predominante cuarzosa con granos de contornos subangulosos a subredondeados; en este nivel se identifican lentes asociados a paleocanales (40 cm de ancho y 10 cm de espesor) con textura predominante

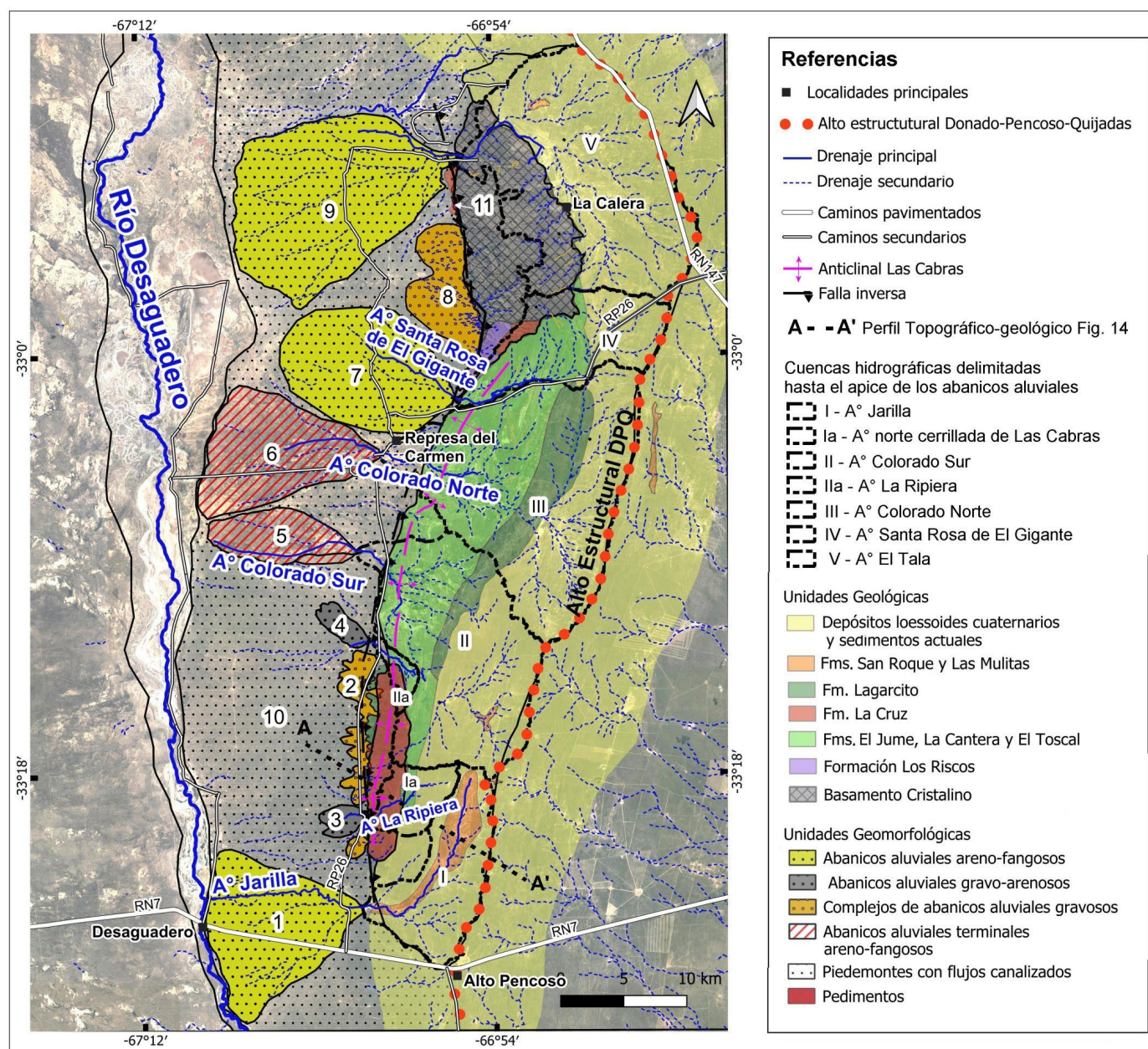


Figura 5. Mapa de unidades geomorfológicas del piedemonte occidental y unidades litológicas del cordón de las Serranías Occidentales. A-A' perfil topográfico-geológico de la Fig. 15.

areno-gravosa masiva (SGm). Finalmente, la secuencia es cubierta en contacto neto por 80 cm de arenas con limos y arcillas subordinados (Sh) de color rosado (5YR 8/4), laminadas, moderadamente friable, con mineralogía dominante de clastos de cuarzo angulosos a subangulosos y agregados de yeso y carbonatos que transicionan a bancos masivos.

El depósito se interpreta como un sistema fluvial entrelazado arenoso con periodos de colmatación y generación de

lagunas temporarias en los sectores distales, en las que la actividad biológica favoreció el desarrollo de la pedogénesis, particularmente en depósitos de llanura de inundación con vegetación y saturación de agua; en los estratos superiores se reconoce el desarrollo de un sistema aluvio-eólico con depósitos de escorrentía y de mantos arenosos por deflación. Las litofacies indican corrientes acuosas tractivas de relativamente baja energía, tanto en el sector proximal como el distal.

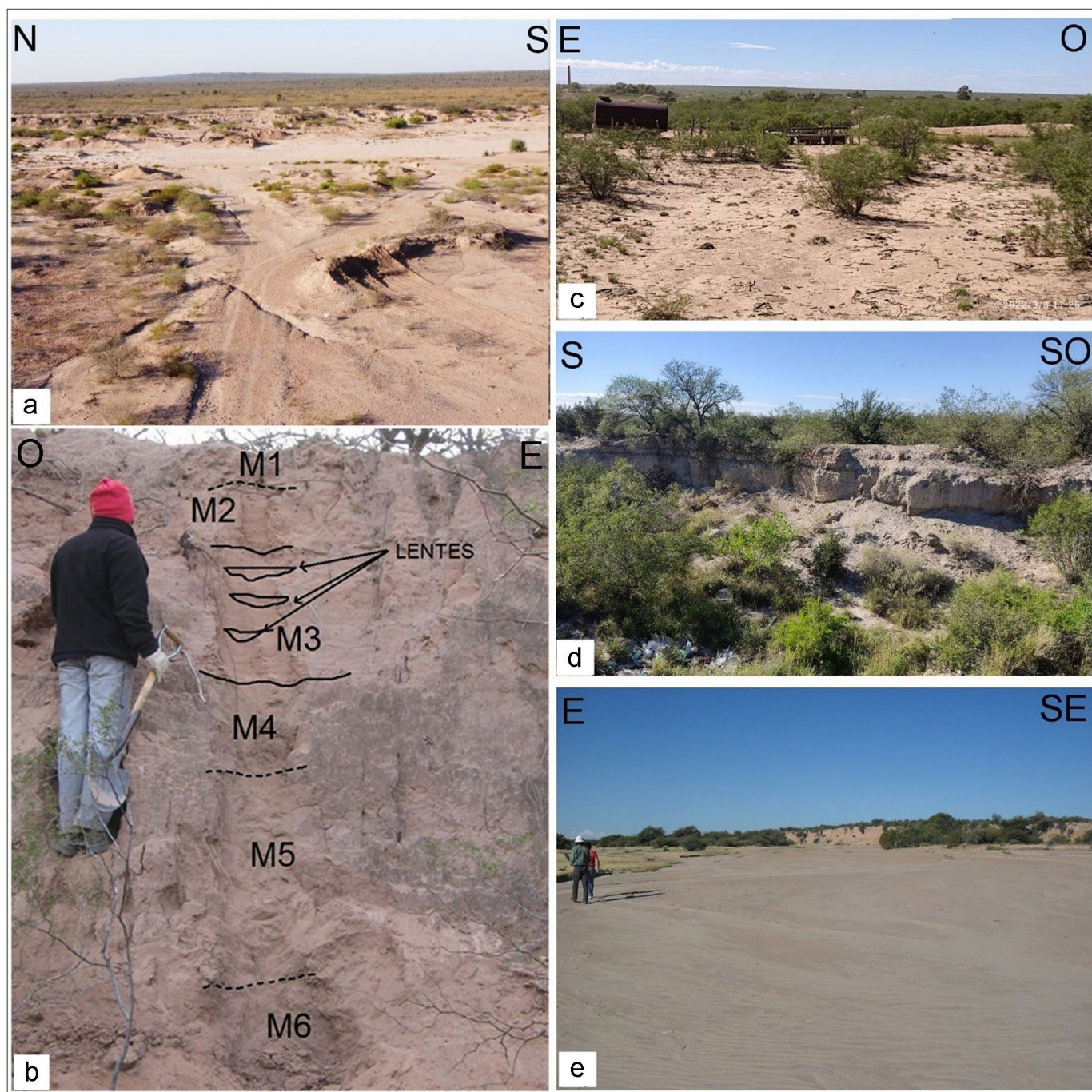


Figura 6. a) Vista de la superficie del abanico aluvial del arroyo Jarilla, el canal incidido actual y al fondo la cerrillada de Las Cabras; b) Características de la barranca del arroyo Jarilla en la margen derecha; c) Superficie del abanico aluvial del arroyo Jarilla vista hacia el sur, al fondo a la izquierda se observa la antigua chimenea de la fábrica de vidrio de la localidad; d) Antiguos canales fluviales en la superficie del abanico aluvial; e) Llanura aluvial del arroyo Jarilla

El abanico aluvial del arroyo La Ripiera (3) cubre una superficie de 6,8 km² y es un cuerpo bien diferenciado en el sector del piedemonte proximal de la cerrillada de Las Cabras, a través de imágenes de sombreado artificial.

En superficie los canales presentan un diseño distributivo no muy desarrollado (Fig. 5) que se pueden distinguir por una mayor densidad de vegetación. En su eje axial el abanico presenta una longitud de 3.8 km con 2.4 km de ancho en su sector medio. El perfil longitudinal es suavemente cóncavo y con una pendiente de 14.6 % (Fig. 7 a), mientras que el transversal suavemente convexo con un desnivel de 9 m entre su zona central y los laterales. La cuenca hidrográfica asociada tiene una superficie de 27.7 km², desarrollada mayormente al este de la cerrillada de Las Cabras, pero con un valle principal que atraviesa la cerrillada en dirección NE-SO en el extremo sur, erosionando los sedimentos conglomerádicos-arenosos de la Fm. La Cruz y areno-limosos de la Fm. Lagarcito.

En un corte sobre el arroyo La Ripiera en el piedemonte suroeste de la cerrillada de Las Cabras y a los que previamente se refirieron Canalis (1993), Pizarro (2020) y Chiesa et al. (2021), se observa una interestratificación de depósitos conglomerádicos y arenosos (Fig. 7 b). Se reconocen dos unidades principales, una inferior identificada como un conglomerado polimíctico de carácter fluvial y otra superior caracterizado como un paraconglomerado coluvial. Los estratos basales tienen geometría lenticular, base erosiva, moderadamente consolidados a friables, espesor aproximado de 1 m y color gris claro (10YR 7/2). Están representados por una interestratificación de gravas (Gh) y arenas (Sh), que en conjunto tienen una potencia aproximada de 6 m. La litofacies Gh tiene estratificación plano paralela grosera, fábrica clasto-sostén, esqueleto conformado por gravas finas a arenas medias y matriz psamítica fangosa con clastos angulosos a subangulosos. La litofacies Sh presenta una textura arenosa media, con granos subangulosos a redondeados y mala selección textural. La mineralogía dominante es cuarzo, subordinando a feldespato potásico, plagioclasas, filosilicatos, turmalina, granate, biotita y líticos de metamorfitas y granitoides. El carácter es friable, con geometría tabular dominante, generalmente base erosiva aunque por sectores es plana, su espesor es inferior a 1 m y el color varía en tonos de marrón, amarillo y rojo (10YR 8/4, 7.5YR 8/6, 5YR 7/8, 2.5YR 6/2).

Los depósitos se interpretan como flujos fluidos turbulentos con carga tractiva de fondo de canal en alto régimen de flujo y en donde las gravas representan la acumulación de barras longitudinales y las arenas el relleno del canal de lecho plano.

Los estratos cuspidales están constituidos por gravas (Gm) y arenas (Sm) y en su conjunto la potencia general-

mente supera los 2 m. La litofacies Gm corresponde a gravas finas polimícticas masivas, fábrica clasto sostén, esqueleto gravo-arenoso y matriz arena muy fina a fangosa. La consolidación es friable, con geometría tabular, relación de base erosiva, espesor de los estratos generalmente es de 0.50 m y color amarillo pálido (2.5Y 7/4). Las areniscas masivas (Sm) contienen guijas medianas dispersas de contornos subangulosos a redondeados. La mineralogía está dominada por cuarzo y feldespato potásico; de manera subordinada presentan líticos de metamorfitas y granitoides. Los bancos se presentan moderadamente consolidados y friables, con geometría tabular y base erosiva; el espesor de los estratos varía entre 0,50 y 1 m y presenta color amarillo, amarillo rojizo, amarillo pálido y rosado (5YR 7/8, 7.5YR 7/6, 10YR 7/8).

Los depósitos se interpretan como flujos gravitatorios viscosos (pseudoplásticos) que representan las gravas de ambiente pedemontano proximal y flujos hiperconcentrados con abundancia de arena y depositación rápida, que caracterizan el abanico aluvial del arroyo La Ripiera.

El abanico aluvial del arroyo ubicado al norte de la cerrillada de Las Cabras (4) cubre una superficie de 7.7 km² con forma alargada en planta. Su longitud máxima es de 4,8 km y su ancho en el sector medio es de 1,6 km (Fig. 5). El perfil longitudinal es irregular, con un tramo inferior de suave concavidad y otro medio a superior con forma convexa suave. El perfil transversal es convexo con desniveles máximos entre la parte central y laterales de aproximadamente 5 m. Este cuerpo está conectado al arroyo denominado informalmente como arroyo norte de la cerrillada de Las Cabras, asociado a una cuenca hidrográfica de 9 km² con su cuenca alta desarrollada mayormente al este de la cerrillada de Las Cabras, sobre sedimentitas de la Fm. La Cruz y Fm. Lagarcito. Luego el curso principal se dirige en dirección SO-NE a través de un valle consecuente que corta el extremo norte de la cerrillada. Debido a la ausencia de cortes destacados en el terreno y considerando las observaciones realizadas en superficie y su proximidad con el abanico aluvial del arroyo La Ripiera, se caracteriza este cuerpo aluvial como gravo-arenoso.

Los complejos de abanicos aluviales asociados a los frentes occidentales de la cerrillada de Las Cabras (2) y la sierra de El Gigante (8) comprenden abanicos aluviales poco diferenciados entre sí, pero que se reconocen en las imágenes de sombreado artificial y se agrupan como una unidad (Fig. 5).

Los cuerpos aluviales presentan superficies individuales aproximadas de 15 a 24 km² si bien, como se dijo previamente, sus límites precisos no son claramente visibles. Las observaciones de las unidades en las inmediaciones de la ruta provincial N° 26 dan cuenta de un relieve ondulado con desniveles entre 3 y 6 m asociado a los pequeños cuerpos

de abanicos (0,5 a 1,5 km²), constituidos por sedimentos de características gravo-arenosos, con similitudes texturales respecto de los abanicos aluviales del arroyo La Ripiera y el arroyo ubicado al norte de la cerrillada de Las Cabras. A diferencia del resto de las unidades aluviales, las cuencas de aporte de estos depósitos son pequeñas (< 1 km²) y se encuentran restringidas espacialmente a la ladera occidental de la cerrillada de Las Cabras y la ladera suroccidental de la sierra de El Gigante. La textura relativamente gruesa de los depósitos del complejo de abanicos aluviales de la cerrillada de Las Cabras (2) se vincula a la erosión de los sedimentos conglomerádicos de la Fm. La Cruz, mientras que en el com-

plejo de abanicos aluviales de la sierra de El Gigante (8), se reconocen sedimentos gravosos constituidos principalmente por rocas metamórficas que incluyen principalmente cuarcitas, esquistos, mármoles y anfibolitas (Fig. 8).

El abanico terminal del arroyo Colorado Norte (6), en forma similar al abanico terminal Colorado Sur (5), corresponden a geoformas que no cumplen con la definición clásica de un abanico aluvial, pero que son correspondientes a una acumulación de materiales clásticos, en forma de conoide, situada aguas abajo de una ruptura de pendiente sierra-piedemonte y que se ha generado como consecuencia de la pérdida de encajamiento del canal principal alimentador del sistema aluvial.

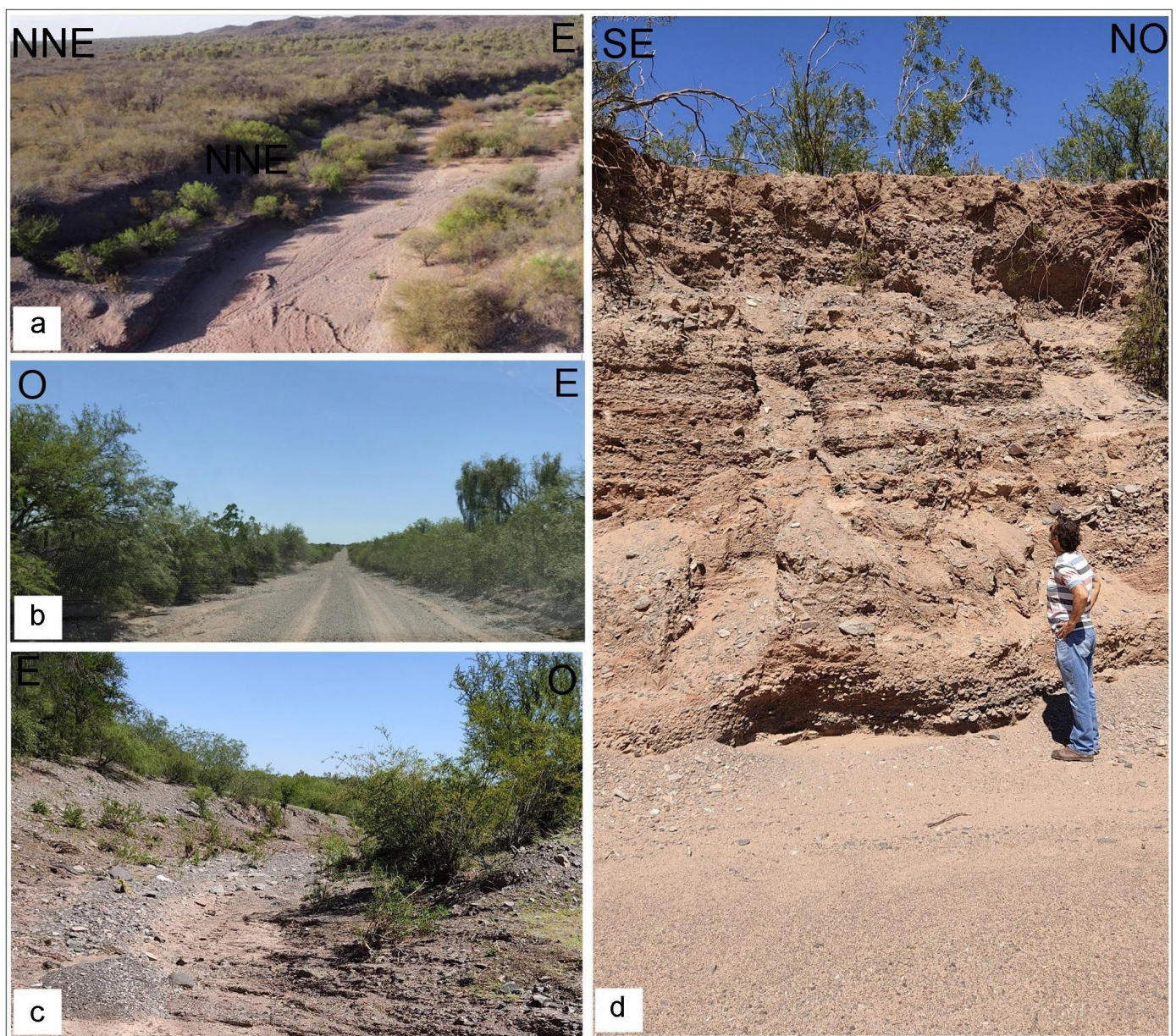


Figura 7. a) Vista aérea del abanico del arroyo La Ripiera en primer plano, al fondo la cerrillada de Las Cabras; b) Vista de la superficie del abanico sobre la ruta provincial N° 26; c) Sedimentitas de la Fm. La Cruz parcialmente cubiertas por los sedimentos gravosos del abanico, sector apical del abanico aluvial en el arroyo La Ripiera; d) Depósitos del sector proximal del abanico en las barrancas del arroyo La Ripiera.

En este caso, tanto los depósitos asociados al arroyo Colorado Sur como al arroyo Colorado Norte, además de que no presentan quiebres importantes de pendientes entre la zona de serranías y el piedemonte, tienen la particularidad de que sus depósitos se desarrollan alejados del frente de montaña. Colombo (2010) señaló que los abanicos terminales (*terminal fans*) son unos cuerpos de acumulación que en planta se asemejan a abanicos aluviales y que acostumbran a situarse hacia las partes más lejanas de un sistema fluvial y que han sido generados por corrientes acuosas efímeras, cuando éstas alcanzan una zona plana. Dicho autor señaló además la predominancia de sedimentos arenosos finos a muy finos con estructuras sedimentarias tractivas que se indentan con materiales lutíticos.

Su sector apical se localiza a unos 3,5 km del borde oeste del anticlinal Las Cabras, al suroeste de la localidad de Represa del Carmen. Su cuenca hidrográfica tiene una superficie de 252.5 km² medida hasta el inicio del sistema de derrame aluvial del abanico. El cuerpo presenta una superficie de 90 km² con morfología de abanico en planta y rasgos superficiales que indican una intensa actividad morfodinámica en la actualidad (Fig. 9 b, c, e). Su longitud máxima es de 13.8 km con un ancho de 7.7 km, en su sector medio. El perfil longi-

tudinal muestra una muy tenue concavidad hacia arriba y el transversal una suave concavidad, pero asimétrica, con sus mayores alturas en el extremo norte. La superficie del cuerpo presenta escasa vegetación y está constituida por sedimentos de textura areno-limosos, de coloración rojiza provenientes de la erosión de las sedimentitas arenosas referidas al Cretácico. Se presentan surcos de poca profundidad y fuerte evidencia de erosión laminar como la presencia de rocas en pedestal (Fig. 9 c).

Los análisis texturales de laboratorio para las muestras de superficie indican que en la fracción arenosa predominan arenas finas (15 %) a muy finas (26 %), con variaciones desde arena-limosa (grava 1 %, arena 57 %, limo 29 % y arcilla 13 %) en el sector proximal, pasando por limos-arenosos (arena 40%, 49 limo y arcilla 11%) hasta limos arcillosos (arena 4 %, 75 % limo y arcilla 21 %) en el distal. En algunos sectores se observó una mayor frecuencia de gravas finas, interpretadas como depósitos del subsuelo, con exposiciones parciales por erosión y removilización fluvial.

El abanico terminal del arroyo Colorado Sur (5) tiene sus nacientes a unos 8 km del borde occidental del anticlinal Las Cabras, el cual se encuentra fuertemente erosionado en este sector originando una gran combe y abras que cortan las ca-

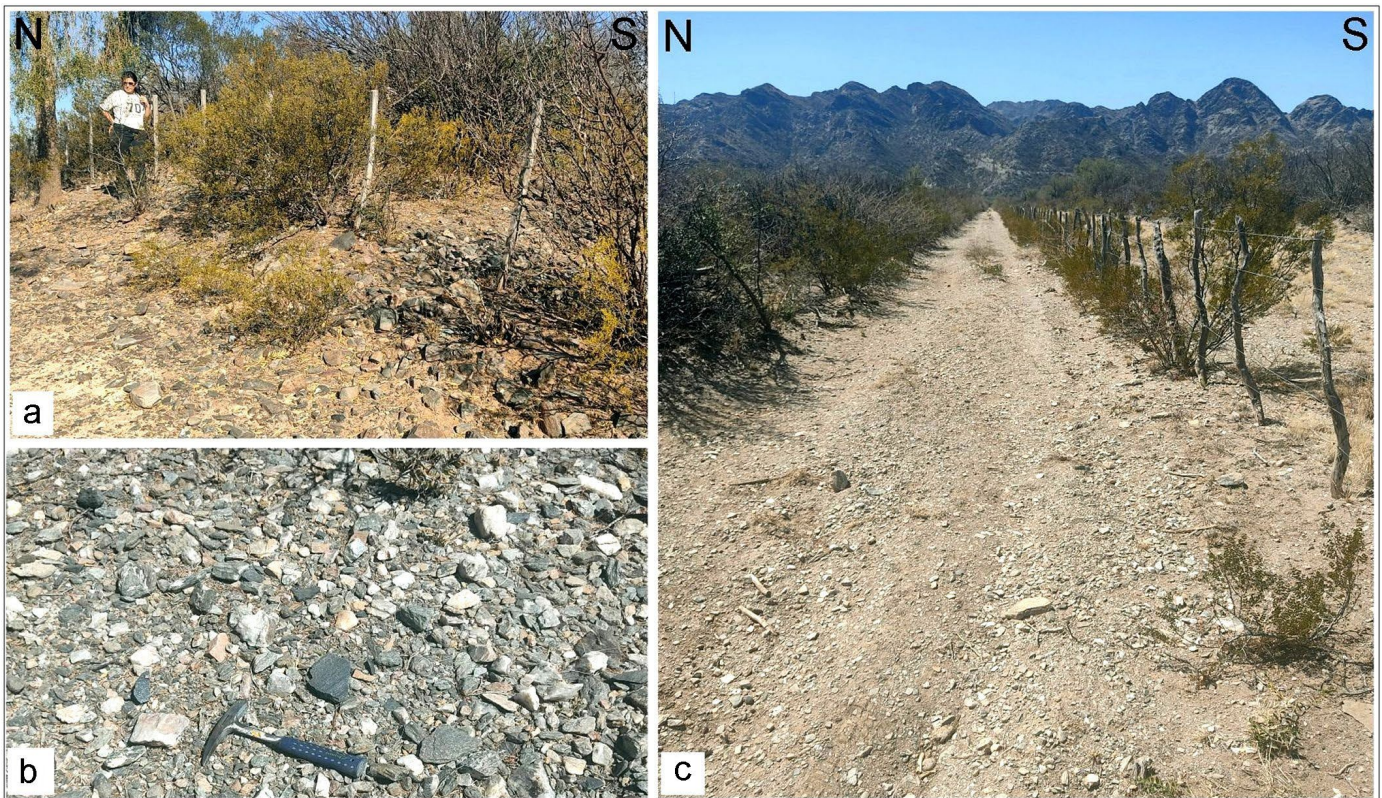


Figura 8. a) Depósitos gravosos en lomada del complejo de abanicos aluviales de la cerrillada de Las Cabras; b) Detalle de la superficie aluvial con predominio de gravas finas a medias de cuarcitas, esquistos y anfíbolitas en el piedemonte de la cerrillada de Las Cabras; c) Vista del piedemonte y el sector sur de la sierra de El Gigante

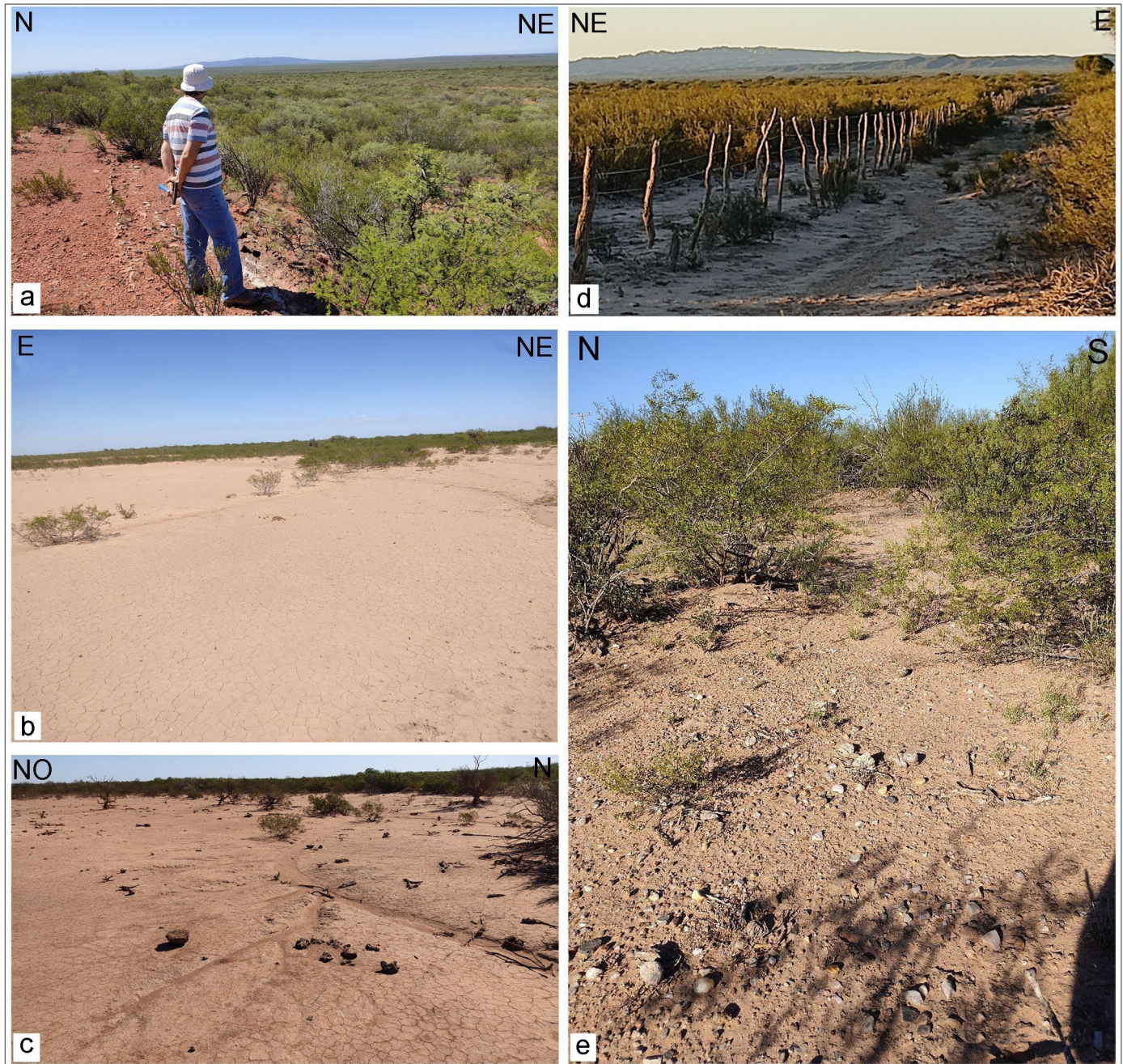


Figura 9. a) Vista panorámica desde las crestas del borde occidental del anticlinal Las Cabras; al fondo la sierra de El Gigante; b) Vista de la superficie del abanico terminal en su tramo medio; d) Vista panorámica del abanico terminal del arroyo Colorado Norte; al fondo la elevación de una cresta residual del anticlinal y la sierra de El Gigante; e) Depósitos gravosos finos en la superficie de la zona media del abanico terminal.

pas sedimentarias del flanco occidental, correspondientes a las formaciones arenosas de edad cretácica. La superficie de la cuenca de drenaje es amplia (186,4 km²) pero sus caudales se encuentran parcialmente controlados por la presencia, en su porción sur, de una depresión conocida como Laguna Seca, que actúa como nivel de base local e interfiere en la afluencia de la escorrentía superficial al colector principal. A unos 2 km al oeste, donde se produce una leve disminución de la pendiente de 0,8 % a 0,68 %, se desarrolla el sistema de derrames del arroyo que originan el abanico terminal. Pre-

senta una superficie de 22,7 km² con morfología en planta de abanico alargado en dirección general este-oeste, con aproximadamente 12 km de longitud y 4.5 km de ancho máximo en su sector medio; muestra claras evidencias de un funcionamiento activo en la actualidad. Su perfil longitudinal es recto, con una pendiente general de aproximadamente 0,60 %, mientras que el transversal es convexo con un desnivel de 4 m entre las partes centrales y laterales.

El depósito aluvial no presenta incisiones importantes por lo que se desconoce el espesor y la caracterización textu-

ral es solo superficial, con predominio de arenas en el sector proximal y de arenas-limosas y arcillas en el sector distal. Considerando las similitudes de este cuerpo con el abanico terminal del arroyo Colorado Norte se extrapolan las características texturales de los sedimentos observadas en este último mediante una transecta longitudinal.

El abanico aluvial del arroyo Santa Rosa de El Gigante (7) y aquel asociado al arroyo el Tala, más al norte, responden a la erosión fluvial desarrollada sobre el flanco oriental de la sierra de El Gigante. El primero cuenta con una superficie de drenaje de 88.4 km² y ocupa un área de 102,4 km², con 14,3 km de longitud máxima y 8,5 m de ancho en su zona media (Fig. 5). El perfil longitudinal presenta suave concavidad mientras que el transversal es convexo con un desnivel de 8 m entre el sector central y sus bordes. La pendiente longitudinal promedio es de 0,93 %. La superficie actual es mayormente inactiva en relación al canal de alimentación principal, debido a la incisión del arroyo en el sector proximal del borde norte, con texturas arenosas dominantes (Fig. 11 b), que en el sector medio del cuerpo del abanico se caracterizan por texturas areno-gravosas (15 % de grava fina, 77 % de arena mediana a gruesa, 5 % de limo y 3 % de arcilla). En el borde suroeste de la sierra de El Gigante, en el sector apical del abanico aluvial, se describió un perfil cuyos datos fueron complementados con base en otras contribuciones (Canalis 1993, Chiesa y Ojeda 2022). El perfil está constituido por gravas y arenas con cuerpos de base erosiva y estructura masiva dominante y horizontal subordinada (Figs. 11 a, b). Los estratos basales están constituidos de gravas (Gh) medias a finas y de arenas (Sh), que gradan a arenas gravosas, con contenidos menores de limo y arcilla. Su espesor promedio varía entre

1 y 1,5 m, geometría tabular, estratificación horizontal, color castaño rojizo oscuro (5YR 4/4) y son de consistencia moderadamente friables; suprayacen arenas fangosas (Sm) con gravas finas dispersas, espesor de 3,50 m, geometría tabular, estructura maciza y laminada subordinada, color castaño rojizo claro a pardo amarillento (5YR 6/4) y moderadamente consolidadas; asimismo, y de manera aislada, se reconocen lentes de arenas gravosas (SGm) de menos de 1 m de espesor y hasta 3 m de largo; por encima, se identifica un horizonte fango arenoso (Sm) con materia orgánica, espesor de 0,30 m, geometría tabular, estructura maciza y color pardo rojizo oscuro (5YR 4/4); en el techo se desarrolla la sucesión dominada por fangos arenosos (Fh) con grava fina dispersa, espesor de 0,70 m, geometría tabular, laminación horizontal, relativamente friable y color pardo rojizo claro (5YR 6/4). Se interpreta la sucesión descrita como un sistema fluvial entrelazado que se inicia con flujos fluidos a viscosos y evoluciona en corrientes tractivas muy débiles a decantativas.

El abanico aluvial del arroyo El Tala (8) es el cuerpo de mayores dimensiones dentro del área de estudio con 176.5 km², 18 km de longitud máxima y 12.5 km de ancho en su sector medio y una cuenca de 244.3 km² (Fig. 5). Presenta un perfil longitudinal recto con escasos tramos de suave concavidad y perfil transversal convexo-asimétrico, donde las mayores elevaciones se encuentran hacia el borde norte del cuerpo. El máximo desnivel medido en relación al borde sur es de 30 m. La pendiente es de 0.5 % en su tramo distal y de 0.8 % en su sector medio y proximal. En la superficie del sector proximal del abanico está representado por sedimentos gravosos finos a medios mientras que en el sector medio y distal pasan a sedimentos de textura arenosa (5 % de grava fina, 81 % de are,-

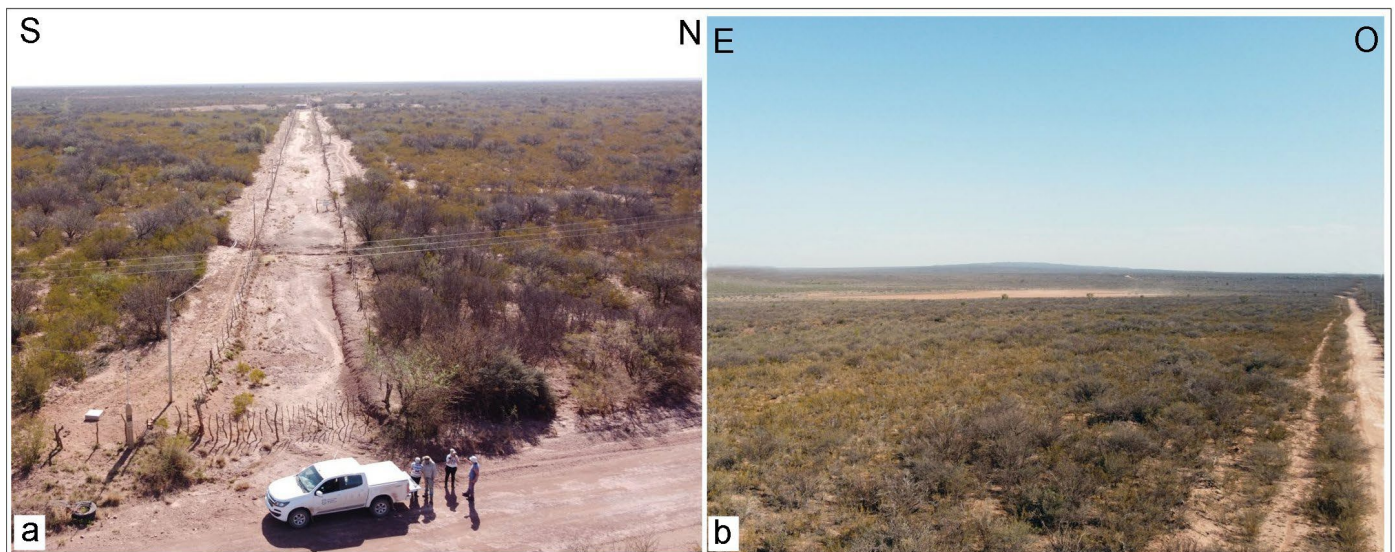


Figura 10. a) Arroyo Colorado Norte canalizado sobre la ruta provincial n° 26 al fondo los derrames del abanico terminal b) Vista aérea de la depresión (laguna temporaria) dentro de la estructura erosionada del pliegue, al fondo, la cerrillada de Las Cabras.

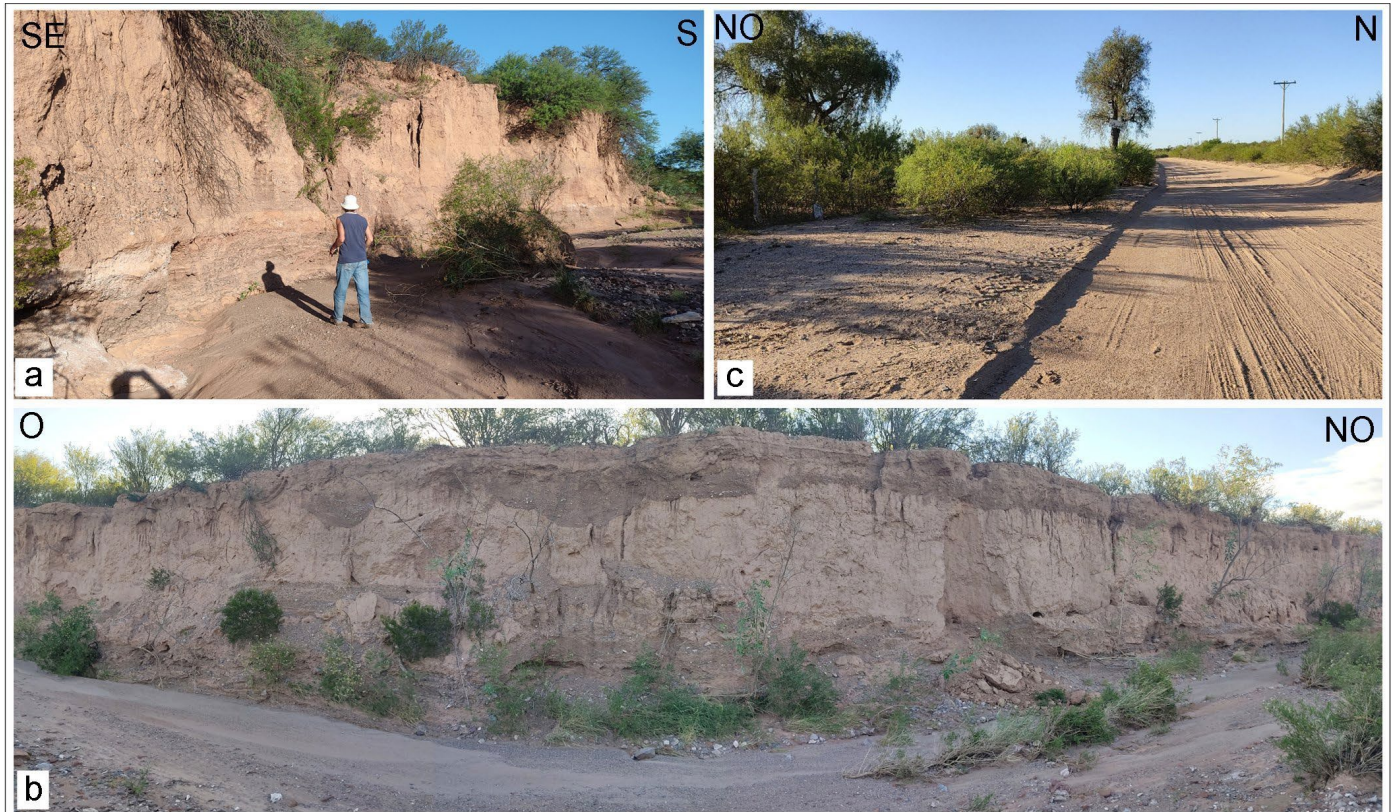


Figura 11. a) Corte sobre el arroyo Santa Rosa de El Gigante en el sector proximal del abanico aluvial; b) Vista de la barranca del arroyo Santa Rosa de El Gigante con depósitos gravosos en la parte inferior y superior, estos últimos canalizados; c) Vista de la superficie del abanico aluvial sobre la ruta provincial N° 26

na mediana a gruesa, 8 % de limo y 6 % de arcilla) (Fig. 12).

Los piedemontes con flujos canalizados y pendientes aluviales indiferenciadas (10) comprenden planicies de suave pendiente (0.6 % - 1.4 %) hacia el oeste donde no se diferencian morfologías de abanicos y muestran un sistema de canales efímeros con diseño en planta paralelo a subparalelo. El perfil longitudinal de estas superficies es mayormente recto a suavemente cóncavo y se desarrollan particularmente asociados a los frentes serranos, al oeste de los depósitos de los complejos de abanicos aluviales gravosos. Las cuencas de alimentación son de pequeñas dimensiones y mayormente desarrolladas sobre la propia superficie aluvial. Las mayores extensiones de esta unidad se encuentran al oeste del Complejo de abanicos aluviales de la cerrillada de Las Cabras (2) y al sur del Abanico aluvial del arroyo Jarilla (1) (Fig. 5).

Estos sectores pedemontanos presentan una cobertura vegetal densa que impide una clara visualización de sus rasgos morfológicos en el terreno y dificulta su acceso. Los materiales superficiales son mayoritariamente arenosos a areno-limosos (grava 5 %, arena 45 %, limo 40 %) en los sectores proximales a medios. Mientras que, en sus sectores distales, próximos al ambiente del río Desaguadero, muestran evidencias de removilización eólica, con texturas dominadas

por arenas muy finas a finas, vinculadas al desarrollo de pequeñas acumulaciones dunarias o proto-dunas (nebkas).

Finalmente, en el extremo norte de la ladera occidental de la sierra de El Gigante se presentan superficies notoriamente horizontales interpretadas como superficies pedimentadas. Estas ocupan una superficie aproximada de 1,5 km² adosadas al frente serrano, desarrolladas mayormente sobre esquistos con intercalaciones de mármoles, cuarcitas, escasos gneises y anfibolitas del basamento cristalino de la sierra y parcialmente sobre conglomerados finos a medianos y areniscas consolidadas, con abundante cemento calcáreo, correlacionables con la Fm. La Cruz (Fig. 13). Se interpreta la misma como una antigua superficie de erosión adosada a la ladera occidental del macizo serrano, limitada hacia el oeste por un resalto de 1-3 m de altura asociados al efecto de la erosión retrocedente. Hacia el oeste esta unidad se integra con la suave superficie del abanico aluvial del arroyo El Tala.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y DISCUSIONES

Las geoformas agradacionales presentes en el piedemon-



Figura 12. Vista aérea de la superficie del abanico aluvial del arroyo El Tala en su sector medio a proximal. Al fondo el extremo sur de la sierra de El Gigante

te oeste de las Serranías Occidentales se pueden agrupar en 4 tipos principales: A) Abanicos aluviales de grandes dimensiones con texturas dominantes areno-fangosas (Unidades Geomorfológicas 1, 7, 9), B) Abanicos terminales con texturas areno-fangosas (Unidades Geomorfológicas 5, 6), C) Abanicos aluviales con dimensiones menores que los del tipo 1 y texturas dominantes gravo-arenosas (Unidades Geomorfológicas 2, 3, 4, 8) y D) Piedemontes con flujos canalizados con diseños paralelos a subparalelos, constituidos por mantos aluvio-eólicos con texturas areno-limosas (Unidad Geomorfológica 10).

La composición de los materiales en las cuencas de alimentación muestra que las variaciones texturales de los cuerpos aluviales responden primariamente a las de las zonas de aporte. Los depósitos con texturas mayormente areno-fangosas (abanicos Tipo 1 y 2), se generan a partir de la erosión de las secuencias sedimentarias arenosas del anticlinal Las Cabras, localizadas mayormente sobre su flanco oriental (Fig. 14), correspondientes a las formaciones cretácicas El Toscal, La Cruz y Lagarcito y las neógenas San Roque y Las Mulitas, todas ellas parcialmente cubiertas por mantos delgados areno-limosos referidos al Cuaternario.

Los abanicos Tipo 3, de texturas mayormente gravo-arenosas, tienen sus zonas de aporte en los conglomerados de la Fm. La Cruz, aunque pueden alcanzar también otras se-

cuencias arenosas.

Los abanicos terminales asociados a los arroyos Colorado Sur y Colorado Norte resultan mayormente producto de la erosión del núcleo del anticlinal Las Cabras, donde predominan los sedimentos areno-limosos de las formaciones El Toscal y Lagarcito.

La distribución geográfica de las unidades litológicas presentes en las cuencas de alimentación responde al control ejercido por la estructura plegada. Esto ha dado lugar a un relieve residual con rasgos topográficos particulares que incluyen una doble divisoria de aguas hacia la cuenca del río Desaguadero ubicada al oeste. Esto se asocia a la geometría que genera un plegamiento en caja muy abierto, cuya erosión diferencial ha originado las elevaciones de las cerrilladas de Las Cabras y la sierra de El Gigante, mientras que hacia el este, ha dado lugar a una elevación de carácter continua aquí referida como alto estructural Donado-Pencoso-Quijadas. Este último, constituye la verdadera divisoria de aguas entre las cuencas hidrográficas del río Desaguadero y las ubicadas al este, la cuenca del Bebedero y de Vilance y no las elevaciones mayores del Cordón de las Serranías Occidentales (Figs. 14, 15).

Bull (1964) postula que el tamaño de un abanico aluvial está controlado principalmente por características de su cuenca de drenaje como el área, la pendiente, la relación

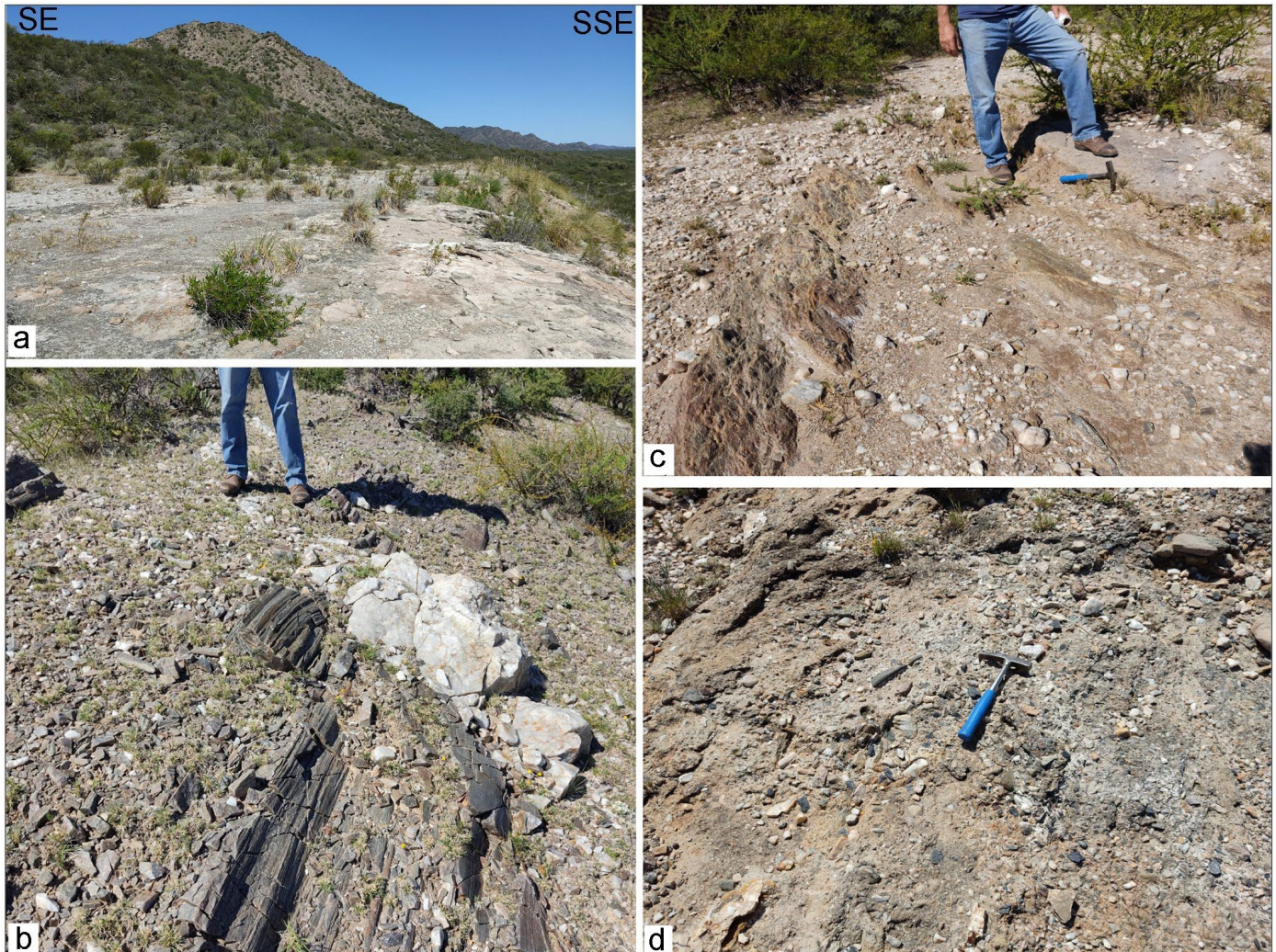


Figura 13. a) Vista panorámica tomada desde la superficie del pedimento; b) Cuarzitas y calizas del basamento de la sierra de El Gigante en la superficie de erosión; c) esquistos parcialmente cubiertos por depósitos de conglomerádicos finos delgados, moderadas a bien consolidadas; d) Detalle de la superficie de pedimentación con una cubierta de depósitos conglomerádicos

agua-sedimento y la erodabilidad de las rocas expuestas. Posteriormente, otros autores han demostrado, también, que la relación entre el área del abanico y de la cuenca muestra siempre una tendencia positiva, pudiendo ser esta isométrica o alométrica (Harvey et al. 1999, entre otros).

No obstante, y a pesar de esta relación directa y evidente, Bull (1964) y Colombo (2010) señalaron que los abanicos aluviales derivados de cuencas caracterizadas principalmente por rocas de mayor erodabilidad duplicaban en tamaño a su cuenca de drenaje, en comparación a aquellos abanicos en los que sus cuencas de drenaje están caracterizadas por rocas comparativamente menos erodables.

En los abanicos aluviales del arroyo El Tala (9) y del arroyo Colorado Norte (5) se observa que los postulados de Bull (1964) y Colombo (2010) no cumplen la relación entre el tamaño del abanico y la erodabilidad de las rocas en las cuencas de aporte (Fig. 16). En este caso, para cuencas de

aproximadamente la misma superficie, los cuerpos aluviales muestran una importante diferencia en su extensión areal. Por otra parte, haciendo una comparación entre la litología que caracteriza a cada cuenca, aquella del arroyo el Tala, atraviesa rocas del basamento de la sierra de El Gigante, en tanto que la cuenca del arroyo Colorado Norte se desarrolla sobre sedimentitas mesozoicas. En este trabajo, esta condición se atribuye a las diferencias que muestran las cuencas de alimentación en sus características internas, en cuanto a forma y recorrido del cauce principal asociado a la pendiente y control de la estructura interna de las serranías. La cuenca del arroyo El Tala se muestra más alargada en su eje longitudinal, tiene mayor pendiente y su cauce principal conserva a lo largo de todo su recorrido una dirección concordante al eje principal; en tanto que, la cuenca del arroyo Colorado Norte es más alargada en su eje transversal, tiene menor pendiente y su cauce principal muestra un recorrido perpendicular al eje



Figura 14. Bloque diagrama que muestra las características del relieve del área de estudio y la situación de las divisorias de aguas de las principales cuencas hidrográficas. A-A' perfil topográfico-geológico de la Fig. 15.

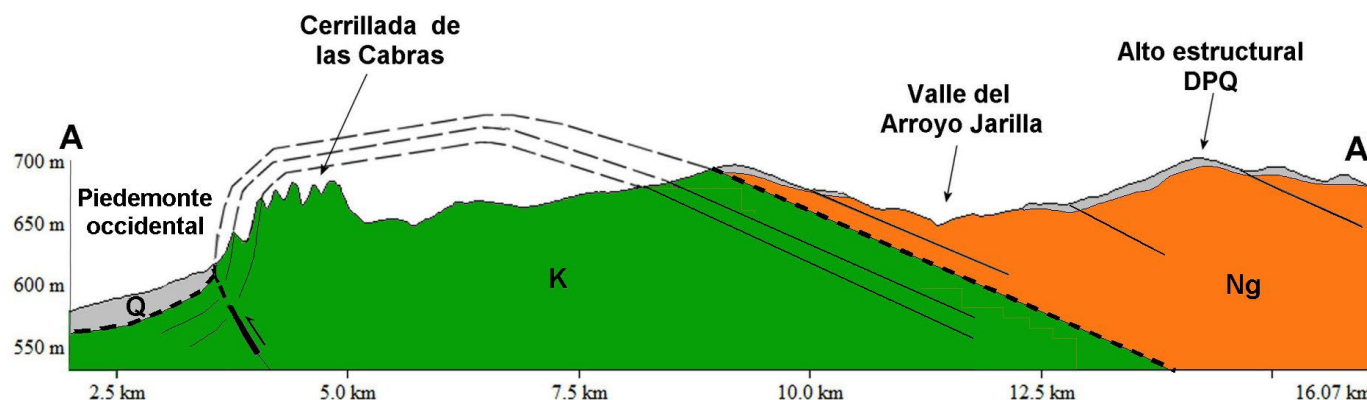


Figura 15. Perfil topográfico-geológico esquemático en dirección oeste-este sobre la cerrillada de Las Cabras (ver ubicación en Fig. 14) (Modificado de Gardini et al. 1996). Los contactos de las unidades geológicas son aproximados, el relieve y los espesores se encuentran exagerados para su visualización

principal de la cuenca en su porción alta a media, tornándose longitudinal en el último tramo (Fig. 17). Estas características permiten proponer que si bien la cuenca del arroyo Colorado Norte es capaz de producir mayor cantidad de sedimentos, sus rasgos morfológicos y morfométricos condicionan la eficacia en la transferencia de los mismos al depósito aluvial.

Estas interpretaciones se ajustan a los planteamientos de Blair y McPherson (1994), respecto a la linealidad que Bull (1964) propone para la correlación entre el área del abanico aluvial y su cuenca de alimentación. Estos autores no des-

estiman que otros causales y condicionantes, como pueden ser la forma de la cuenca y el espacio de acomodación en el piedemonte, generen alteraciones en esta relación.

Considerando las características sedimentológicas de los depósitos descritos en el ambiente pedemontano de la cerrillada de Las Cabras, es posible asignarlos a distintas condiciones depositacionales en respuestas a eventos climáticos que se vinculan al Pleistoceno tardío-Holoceno. Chiesa et al. (2021) propusieron el nombre de Fm. Alto Pencoso a la sucesión periférica aflorante en el área austral de las Serranías



Figura 16. Gráfico de puntos del tipo x,y que muestra la relación entre las variables tamaño de la cuenca y tamaño de los abanicos aluviales.

Occidentales y cuyos depósitos se asignan al Pleistoceno, los que, en el piedemonte occidental de la cerrillada de Las Cabras, corresponden a los estratos basales que suprayacen a la Fm. La Cruz y Fm. Lagarcito (Cretácico), integrados por conglomerados y areniscas que se asocian a los abanicos aluviales identificados como Tipo 3 (gravosos). Hacia el piedemonte distal estas secuencias gradan a areniscas y limolitas con concreciones carbonáticas y láminas de yeso. Mientras que, en el área sur y este de la cerrillada de Las Cabras, en afloramientos basales de las barrancas del arroyo Jarilla, suprayacentes a la Fm. Las Mulitas (Neógeno), se expone una sucesión sedimentaria compuesta por areniscas y limolitas interpretadas como facies fluviales de moderada a baja energía que caracterizan a los abanicos del Tipo 1 y Tipo 2. La presencia hacia el techo de un estrato areno-limoso, de carácter friable, con espesores variables (máximo 0,30 m) y 3-4 % de contenido de materia orgánica en la cuenca media del arroyo Jarilla, sería indicador de un periodo de mayor estabilidad y aporte de humedad del paisaje respecto al actual. Considerando los rasgos sedimentológicos del horizonte orgánico se vincula su desarrollo a las características climáticas correspondientes al ciclo denominado Anomalía Climática Medieval (u Óptimo Cálido Medieval) y su correlación con los horizontes similares identificados por Chiesa et al. (2015) en el Miembro Dos Anclas (Holoceno tardío, 904-731 años cal. AP, 929-795 años cal. AP) de la Formación Arco del Desaguadero (Rodríguez y Barton 1993) en la cuenca del río Desaguadero y por Ojeda et al. (2021) en la Fm. El Chimborazo (1720-1575 años cal BP) en el noreste de las Serranías Occidentales (arroyo Los Hornos). Finalmente, el techo de las sucesiones corresponde a los depósitos fluviales y eólicos, los que en áreas proximales están representados por gravas arenosas y en facies distales por arenas limosas con grava muy fina dispersa, se vincula al último ciclo neoglaciar cordillerano reconocido como Pequeña Edad de Hielo y representado por el Miembro Dos Anclas (Holoceno tardío) (Chiesa et al. 2015).

En este contexto estratigráfico se destaca la ausencia del

Paleosuelo Chosmes, vinculado al Óptimo Cálido del Holoceno medio, situación que responde a la notable diferenciación en la estructura geológica entre los flancos de las Serranías Occidentales, según lo cual, la extendida paleotopografía oriental favoreció el desarrollo del horizonte orgánico, lo que no ocurre en el escarpado flanco occidental (Chiesa y Ojeda 2022).

Para sumar a la caracterización geomorfológica e interpretación genética de los depósitos aluviales se realizó un análisis comparativo de sus perfiles longitudinales (Fig. 17). Con esta información y en una intención de avanzar en la interpretación de estas geoformas en un contexto regional se propone una comparación preliminar de estos depósitos aluviales con los que caracterizan a los ambientes occidentales de la sierra de San Luis y la sierra de Comechingones, que junto a las Serranías Occidentales completan el esquema de Sierras Pampeanas para la provincia de San Luis.

Los perfiles longitudinales de los abanicos señalados aquí como Tipo 1 y Tipo 2 son más largos, con formas suavemente cóncavas a rectas y pendientes inferiores a 1 %, en cambio, los abanicos aluviales Tipo 3 son más cortos, con pendientes entre 1 y 2 % y con una concavidad bien definida. Estos últimos, muestran así una similitud morfológica y morfométrica con algunos abanicos aluviales presentes en el piedemonte occidental de la sierra de San Luis, correspondientes al 2° Nivel Aluvial (Aranda 2020, Aranda y Ojeda 2022) y otro preliminarmente tomado como equivalente, ubicado en el piedemonte occidental de la sierra de Comechingones. Mientras que, los abanicos Tipo 1 y 2 no presentan geoformas comparables en los piedemontes occidentales de las Sierras Pampeanas

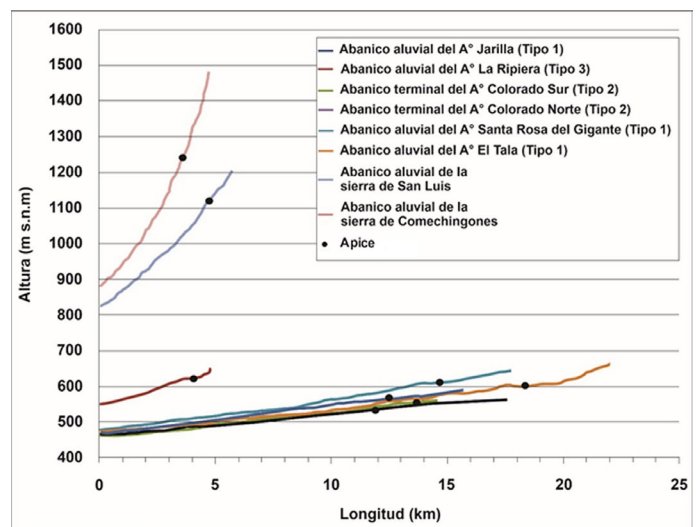


Figura 17. Perfiles longitudinales de los abanicos identificados en la zona de estudio. Se incluye perfiles de abanicos aluviales representativos de los piedemontes occidentales de la sierra de San Luis y la sierra de Comechingones.

dentro del ámbito de la provincia de San Luis.

Las pendientes de los abanicos aluviales y terminales con textura predominante arenosa son muy bajas en relación a las pendientes comúnmente establecidas en la literatura (Fig. 16) (Blair y McPherson 1994, Harvey et al. 2005). Colombo (2010) señaló que en general estas varían entre los 5° y 10° en la zona de la cabecera hasta 1-2° en la zona del pie, indicando además que aquellos generados mediante el concurso de corrientes predominantemente tractivas acuosas son por lo general de un tamaño mayor y sus gradientes se reducen a valores del orden de 3-5° en la parte apical hasta valores de 1° y aún menores en la zona del pie. Colombo (2010) destacó además que cuando los abanicos aluviales son de grandes dimensiones (decenas a centenares de kilómetros cuadrados), como es el caso de los abanicos arenosos descritos aquí, parece que las pendientes superficiales son relativamente uniformes y de poca entidad. El resultado es que la pendiente del abanico tiende a ser suave y relativamente uniforme (Calvache et al. 1997, Viseras et al. 2003).

A diferencia de lo que se observa para los piedemontes occidentales de las sierras de San Luis y de Comechingones, donde se han definido depósitos de abanicos aluviales de dimensiones más reducidas y caracterizados por su textura sedimentológica gruesa (conglomerádicos principalmente) y segmentados (Costa 1992, Costa et al. 2001 a, b, Aranda et al. 2012, Aranda 2020, Aranda y Ojeda 2022) en el área analizada los depósitos son principalmente arenosos, de grandes dimensiones y no se hallan incididos entre sí. Teniendo en cuenta que la segmentación de los abanicos en el piedemonte occidental de la sierra de San Luis ha sido explicada principalmente por la actividad tectónica que estructura el sistema serrano durante el Cuaternario (Ojeda 1991, Sozzi 1991, Costa 1992, Sozzi et al. 1995, Costa et al. 2001 a y b, entre otros) o bien a su combinación con las variaciones climáticas registradas para los últimos 10.000 años en la región (Latrubesse y Ramonell 1989, Latrubesse et al. 1990, Ramonell et al. 1992, Canalis 1993, Aranda et al. 2012, 2015, Aranda y Ojeda 2018, Indelicato 2020, Aranda 2020, Aranda y Ojeda 2022) se podría explicar el comportamiento más simple de los cuerpos bajo estudio de la siguiente forma: a) no hubo reactivaciones tectónicas significativas para el frente de levantamiento de las Serranías Occidentales durante el Pleistoceno tardío-Holoceno y/o b) las variaciones climáticas para la sierra de San Luis, no habrían tenido un carácter regional, con una respuesta diferencial de los niveles de base de ambas regiones pedemontanas, a lo que se asocian variaciones en los procesos de incisión de los cuerpos aluviales.

La incisión actual que presentan los abanicos aluviales desarrollados a partir de los arroyos Jarilla, Santa Rosa de El

Gigante y El Tala, se interpretan en asociación con variaciones del clima hacia episodios más húmedos, con mayor densidad de cobertura de vegetación en las cuencas hidrográficas y esorrentías canalizadas con menos carga de sedimentos y mayor poder erosivo. Teniendo además las evidencias de erosión en los depósitos producidos en épocas relativamente recientes (Ojeda et al. 2022), se propone como causa principal un mejoramiento climático posterior a la Pequeña Edad de Hielo y de ese modo, su correlación con los abanicos del borde occidental de las sierras de San Luis y Comechingones. Asimismo, se debe considerar el factor asociado a la disminución del nivel de base de erosión de dichos arroyos, por la pérdida ocurrida en los caudales del río Desaguadero y el ambiente de lagunas temporarias, asociados tanto a causas naturales como antrópicas (González Díaz 1981, Ojeda et al. 2013).

Aunque durante este trabajo no se han reconocido en el piedemonte occidental de las Serranías Occidentales rasgos de actividad neotectónica, se considera como otro factor asociado a la incisión de los arroyos. Perucca y Vargas (2014) mapean fallas con actividad tectónica como la falla Las Chacras, ubicada al suroeste de la sierra de la Huerta, también en el piedemonte septentrional de la sierra de Pie de Palo, la falla Pajaritos, entre otras, las que podrían tener conexión hacia el sur con la falla de El Gigante en base a lo sostenido por Criado Roque et al. (1981). Ojeda et al. (2013) señalaron que el valle del río Desaguadero presenta dos sectores claramente diferenciados: uno septentrional, caracterizado por un cauce de entre 10 y 20 m de amplitud, encajado entre 3 y 5 m de profundidad en una amplia superficie de 1 a 10 km de ancho y otro sector meridional, hacia el sur del arroyo Jarilla, donde la llanura de inundación es prácticamente inexistente, cuyo cauce se encuentra encajado entre barrancas de 10-12 m, situación que parece responder a los efectos de la neotectónica y su vinculación con un bloque entre ambas áreas.

CONCLUSIONES

Sobre la base de un análisis jerárquico del relieve, la unidad aquí denominada como Región Geomorfológica de la Depresión Occidental y Ambiente de la cuenca del río Desaguadero-Salado, se puede subdividir en dos elementos a nivel de Asociación Geomorfológica correspondientes a: 1) Valle del río Desaguadero y antiguas zonas de enlagueamiento y 2) Piedemonte Occidental de las Serranías Occidentales.

La investigación realizada permite agrupar las geoformas agradacionales del Piedemonte Occidental de las Serranías Occidentales en 4 tipos principales correspondientes a: A) Abanicos aluviales de grandes dimensiones con texturas

dominantes areno-fangosas, B) Abanicos terminales con texturas areno-fangosas, C) Abanicos aluviales con dimensiones menores que los del tipo 1 y texturas dominantes gravo-arenosas y D) Piedemontes con flujos canalizados en diseños paralelos a subparalelos, y menor proporción de contributarios, constituidos por mantos aluvio-eólicos con texturas areno-limosas. En el sector noroccidental de la sierra de El Gigante se reconoció una superficie de pedimentación sobre rocas del basamento cristalino y la Fm. La Cruz (Cretácico).

Los abanicos aluviales areno-fangosos desarrollan cuerpos con superficie extensas (100-180 km²) y de muy baja pendiente (<1 %), que constituyen características propias de este piedemonte asociado a una estructura de plegamiento anticlinal en rocas sedimentarias cretácicas y neógenas, que no se reconocen en los piedemontes de las sierras de San Luis y de Comechingones de composición ígneo-metamórfico. Asimismo, las dimensiones de los depósitos aluviales muestran relación positiva con su tamaño de cuenca de alimentación y las texturas granulométricas de las rocas sedimentarias presentes en las zonas de aporte.

Los depósitos que conforman los abanicos están vinculados a unidades sedimentarias definidas en el entorno, así, los estratos basales dominados por gravas y arenas corresponden a la Formación Alto Pencoso (Chiesa et al. 2021) y es asignada al Pleistoceno. Suprayacen los limos arenosos con materia orgánica asociada a la Formación El Chimborazo (Ojeda et al. 2021). Finalmente, en los estratos cuspidales dominan las arenas con variables porcentajes de gravas finas, limos y arcillas que son vinculados a la Formación Algarrobito (Latrubesse y Ramonell 1990) del Holoceno superior.

El encajamiento que presentan los arroyos Jarilla, Santa Rosa de El Gigante y El Tala en los respectivos cuerpos aluviales, y en cuyas barrancas se reconocen las variaciones sedimentológicas, permite una interpretación preliminar asociada a una variación del clima hacia condiciones más húmedas y vinculadas al ciclo actual, considerando que en superficie se identifican registros de la Pequeña Edad de Hielo y a cambios del nivel de base asociados a disminución de los caudales del río Desaguadero y la actividad neotectónica.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es una contribución al Proyecto de Investigación "Geología del Neógeno y Cuaternario de San Luis" (financiado por CyT-UNSL PROICO N° 030218). Un agradecimiento especial al Departamento de Geología (U.N.S.L.) por el apoyo en los aspectos profesionales y académicos. A la Dra. Johana

Fernández por su colaboración en tareas de campo y a los Revisores que contribuyeron a mejorar el trabajo.

REFERENCIAS

- Aranda, J. y Ojeda, G. 2022. Influencia de una estructura de piedmont foreland en el desarrollo y configuración de los depósitos aluviales del piedemonte occidental de la sierra de San Luis. San Luis, Argentina. 8° Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, Actas: 115, San Juan.
- Aranda, J., Ojeda, G. y Suvires, G. 2012. Abanicos Aluviales en el Sector Suyuque, San Luis, Argentina. 5° Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, Actas: 118, Río Cuarto.
- Aranda, J., Ojeda, G. y Suvires, G. 2015. Unidades Geomorfológicas aluviales del piedemonte suroccidental de la Sierra de San Luis. San Luis, Argentina. 6° Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, Actas: 205-206, Ushuaia.
- Archambault, M., Lhenaff, R. y Vanney, J.R. 1970. Deuxième fascicule: les reliefs structuraux. En: Colin A. (eds.), Documents et méthode pour le commentaire de cartes (géographie et géologie). Masson, 166 p., París.
- Blair, T.C. y Mc Pherson, J.G. 1994. Alluvial fans and their natural distinction from rivers based on morphology, hydraulic processes, sedimentary processes and facies. *J. Sediment. Res.* 64 (A): 451-490.
- Bruniard, E.D. 1982. La diagonal árida argentina: un límite climático real. *Revista Geográfica* 95: 5-20.
- Bull, W.B. 1964. Alluvial fans and near-surface subsidence in western Fresno County, California. *US Geol. Survey Prof. Paper* 437-A, 71 p., Washington.
- Calvache, M., Viseras, C. y Fernández, J. 1997. Controls on alluvial fan development-evidence from fan morphometry and sedimentology. *Sierra Nevada, Spain. Geomorphology* 21: 69-84.
- Canalis, R.A. 1993. La Evaluación de la Erosión Hídrica en la Provincia de San Luis. Trabajo Final Licenciatura, Universidad Nacional de San Luis (inédita), 233 p., San Luis.
- Castillo Elías, M.G. 2016. Aspectos paleoecológicos y sedimentológicos de la Formación La Cantera, Sierra del Gigante, Aptiano tardío, Sierras de San Luis. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de San Luis (inédita), 247 p., San Luis.
- Cazenave, H.W. 2015. La Cuenca Del Río Desaguadero: Un caso de Desertificación por Acción Antrópica. *Revista de Geografía e Interdisciplinaridad* 1(2): 225-236.
- Chiesa, J. y Ojeda, G. 2022. Depósitos cuaternarios en el sudoeste de las Serranías Occidentales. San Luis, Argentina. 8° Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, Acta: 4, San Juan.
- Chiesa, J., Basaez, A., Navio, J., Lucero, N., Ojeda, G. y Strasser, E. 2011. Estratigrafía del Neógeno de San Luis, Argentina. En: Salfity, J. y Marquillas, R. (eds.), *Cenozoic Geology of the Central Andes of*

- Argentina. Instituto del Cenozoico. Universidad Nacional de Salta: 75-89. SCS Publisher.
- Chiesa, J., Ojeda, G., Basaez, A. y Pizarro, L. 2021. Los depósitos pleistocenos en el sur de las Serranías Occidentales, San Luis, Argentina. 6° Simposio del Mioceno-Pleistoceno del Centro y Norte de Argentina (PeAPA), Actas 22 (R1): R13, Buenos Aires.
- Chiesa, J.O., Ojeda, G.E. y Font, E. A. 2015. Geología de las cuencas de Desaguadero y Bebedero. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 22 (1): 47-77.
- Christian, C.S. y Stewart, G.A. 1968. Methodology of integrated surveys. In: UNESCO (eds.), *Aerial surveys and integrated studies: Proceedings of Toulouse Conference (1964)*: 233-280. París.
- Colombo, F. 2010. Abanicos Aluviales: procesos de transporte y acumulación de materiales detríticos. En: Arche A. (ed.), *Sedimentología: del proceso físico a la cuenca sedimentaria*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas: 85-130, Madrid.
- Costa, C., 1992. Geotectónica del sur de la sierra de San Luis. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de San Luis (inédita), 390 p., San Luis.
- Costa, C.H., Gardini, C., Chiesa, J., Ortiz Suárez, A., Ojeda, G., Rivarola, D., Tognelli, G., Strasser, E., Carugno Durán, A., Morla, P., Guerstein, P., Sales, D. y Vinciguerra, H. 2001a. Hoja Geológica 3366-III, San Luis. Provincias de San Luis y Mendoza. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 293, 81p., Buenos Aires.
- Costa, C.H., Gardini, C., Ortiz Suárez, A., Chiesa, J., Ojeda, G., Rivarola, D., Strasser, E., Morla, P., Ulacco, H., Tognelli, G., Carugno Durán, A., Vinciguerra, P. Sales, D. y Alonso S. 2001b. Hoja Geológica 3366-I San Francisco del Monte de Oro. Provincias de San Luis, Mendoza y San Juan. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 278, 110p., Buenos Aires.
- Criado Roque, P., Mombrú C. y Moreno, J. 1981. Sedimentitas Mesozoicas En: M. Yrigoyen (Ed.). *Geología y Recursos Naturales de la Provincia de San Luis*. 8° Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 79-96, Buenos Aires.
- Criado Roque, P., Mombrú, C. y Ramos, V. 1981. Estructura e interpretación tectónica. En: M. Yrigoyen (Ed.). *Geología y recursos naturales de la Provincia de San Luis*. 8° Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 155-192, Buenos Aires.
- Fick, S. y Hijmans, R. 2017. World Clim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37(12): 4302-4315.
- Flores, M. 1969. El Bolsón de Las Salinas en la Provincia de San Luis. 4° Jornadas Geológicas Argentinas, Actas 1: 311-327, Mendoza.
- Garcés Graciano, L.E. 2012. Sedimentología y Geomorfología de la Planicie del Río Desaguadero entre el arroyo Jarilla y la laguna El Tapón. Provincias de Mendoza y San Luis. Trabajo Final de Licenciatura. Universidad Nacional de San Luis (inédita), 184 p., San Luis.
- Gardini, C., Costa, C. y Schmidt, C. 1996. Inversión tectónica en el sector sierra de El Gigante-Alto Pencoso, provincia de San Luis. 13° Congreso Geológico Argentino, Acta 2: 267-281, Buenos Aires.
- Gardini, C., Rivarola, D., Agüera, M. y Candela, G. 2009. Estructura de la región Sierra de Guayaguas - Marayes, provincias de San Juan y San Luis. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 65(3), 551-565.
- Garreaud, R., Vuille, M., Compagnucci, R. y Marengo J. 2009. Present-day South American Climate (LOTRED South America). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281:180-195.
- González Díaz, E. F. 1981. Geomorfología. En: Yrigoyen M. (ed.), *Geología y Recursos Naturales de la Provincia de San Luis*. 8° Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 193-236, Buenos Aires.
- González Díaz, E. y Ferrer, J. 1986. Geomorfología de la Provincia del Neuquén. Estudio Regional de Suelos. Relevamiento y Priorización de áreas con posibilidades de riego. Consejo Federal de Inversiones (inédito), 107 pp., Buenos Aires.
- Harvey, A., Mather, A. y Stocks, M. 2005. Alluvial fans: geomorphology, sedimentology, dynamics-introduction. A review of a alluvial-fan research. En: Harvey, A., Mather, A. y Stocks, M. (eds.), *Alluvial fans: Geomorphology, Sedimentology, Dynamics*. Geological Society, Special Publications, 251: 1-8, London.
- Indelicato, N. 2020. Análisis morfoodinámico de la Faja fluvial del río Nogolí: implicancias de la morfotectónica regional. San Luis, Argentina. Trabajo Final de Licenciatura, Universidad Nacional de San Luis (inédita), 96 p., San Luis.
- Latrubesse, E. y Ramonell, C. 1989. Geomorfología y paleoclimas en la provincia de San Luis, Argentina. 1° Reunión IGCP 281, Actas: 26-44, La Paz.
- Latrubesse, E. y Ramonell, C. 1990. Unidades litoestratigráficas del Cuaternario en la Provincia de San Luis, Argentina. 11° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 109-112. San Juan.
- Latrubesse, E., Ramonell, C. y Pessio, D. 1990. La Formación Las Chacras (Pleistoceno superior): depósitos pedemontanos de la Sierra de San Luis. 11° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 105-107, San Juan.
- Laut, P., Keig, G., Lazarides, M., Löffler, E., Margules, C., Scott, R.M. y Sullivan, M.E. 1977. Environments of South Australia. Province 8, Northern Arid. Vols. 1 -7. CSIRO Division of Land Use Research. Canberra.
- Miall, A.D. 1996. *The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology*. Springer, 582 p., Berlín.
- Ojeda G. 2005. Estudio Geológico-Geomorfológico y evaluación de la erosión hídrica en el piedemonte austral de la Sierra de San Luis. Tesis doctoral. Universidad Nacional de San Luis (inédita). 200 p., San Luis.
- Ojeda G., Candia Halupczok D., Chiesa J., Heider G., Gogichaishvili A., Greco C., Icazatti F., Irurzun A. y Gogorza C. 2021. Geomorphology of the Piedmont Area of the Central-East Region of the Serranías Occidentales: Fluvial Systems and Geoarcheology. San Luis, Argentina. En: Bouza P., Rabassa J. y Bilmes A. (eds.), *Advances in Geomorphology and Quaternary Studies in Argentina*. Springer Earth System Sciences: 192-218.
- Ojeda, G. 1991. Estudio geológico-sedimentológico del piedemonte se-

- rano al Norte del río Nogolí, Provincia de San Luis. Trabajo Final de Licenciatura, Universidad Nacional de San Luis (Inédita), 152 p., San Luis.
- Ojeda, G. y Chiesa, J. 2014. Características Geomorfológicas del "Gran Conoide del Tunuyán". Mendoza. Argentina. 19° Congreso Geológico Argentino, Actas en CD, Córdoba.
- Ojeda, G., Chiesa, J. y Aranda, J. 2022. Influencia de la estructura plegada de las Serranías Occidentales en la geomorfología pedemontana entre cerrillada de Las Cabras y la Sierra de El Gigante. San Luis. Argentina. 8° Congreso de Cuaternario y Geomorfología, Actas: 153-154, San Juan.
- Ojeda, G., Chiesa, J. y Gómez, D. 2013. Depósitos edícos del ambiente del río Desaguadero. Mendoza. Argentina. Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis 20 (2): 105-128.
- Olaya, V. 2020. Sistemas de Información Geográfica. <https://volaya.github.io/libro-sig/>.
- Peña Zubiate, C.A., Anderson, D.L., Demmi M.A., Saenz J.L. y d'Hiriart A. 1998. Carta de Suelos y Vegetación de la Provincia de San Luis. Esc. 1:500.000. INTA y Gobierno de San Luis, 115 p., San Luis.
- Peña Zubiate, C.A. y d'Hiriart, A. 2007. Carta de suelos de la República Argentina. Hoja San Luis, Provincia de San Luis. Esc. 1:100.000. INTA y Gobierno de San Luis, 148 p., San Luis.
- Pizarro, L.E. 2020. Estratigrafía de la sucesión Cenozoica aflorante entre las Cuencas de los Arroyos Jarilla y Chosmes, San Luis, Argentina. Trabajo Final de Licenciatura. Universidad Nacional de San Luis (inédita), 129 p., San Luis.
- Polanski, J. 1962. Estratigrafía, neotectónica y geomorfología del pleistoceno pedemontano entre los ríos Diamante y Mendoza. Provincia de Mendoza. Revista de la Asociación Geológica Argentina 17(3-4): 127-349.
- Ramonell, C., Iriondo, M., Krömer, R. y Latrubesse, E. 1992. 5° Reunión de Campo, Guía de campo centro-este de San Luis, p., 20. San Luis. REM, 2023. <http://www.clima.sanluis.gob.ar>
- Rivarola, D. y Spalletti, L. 2006. Model of continental sedimentation for the Cretaceous Central Argentinean rift: example from Las Quijadas hill, San Luis province. Revista de la Asociación Geológica Argentina 61 (1): 63-80.
- Rodríguez, E. y Barton, M. 1993. El Cuaternario de la Llanura. En: Ramos, V. (ed.), Geología y Recursos Naturales de Mendoza. 12° Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 173-194, Mendoza.
- Sayago, J. 1982. Las Unidades Geomorfológicas como base para la evaluación integrada del Paisaje Natural. Acta Geológica Lilloana 16 (1): 169-180.
- Sozzi, H. 1991. Estudio Geológico - Sedimentológico del piedemonte serrano de la zona de Nogolí (sector sur), Provincia de San Luis. Trabajo Final de Licenciatura, Universidad Nacional de San Luis (Inédito), 174 p., San Luis.
- Sozzi, H., Ojeda G. y Di Paola, E. 1995. Estratigrafía y sedimentología de abanicos aluviales cenozoicos en el área de Nogolí, San Luis. Revista Asociación Geológica Argentina 50: 165-174.
- Suriano, J. y Limarino C. 2009. Piedmont sedimentation in the headwaters of the Río Jachal and Pampa de Gualilán, Precordillera of San Juan. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 65 (3): 516-532.
- Tognelli, G. C. 1998. Evaluación de impacto ambiental de la cantera «Rucan Ché», Jarilla. Departamento La Capital, San Luis. Argentina. Fundación Universidad Nacional de San Luis (inédito). 19 p., San Luis.
- Trabucco, A. y Zomer, R. J. 2009. Global Aridity Index (Global-Aridity) and Global Potential Evapo-Transpiration (Global-PET) Geospatial Database. CGIAR Consortium for Spatial Information. Published online, available from the CGIAR-CSI GeoPortal at: <http://www.csi.cgiar.org/>.
- Vera, C., Higgins, W., Amador, J., Ambrizzi, T., Garreaud, R., Gochis, D., Gutzler, D., Lettenmaier, D., Marengo, J., Mechoso, C.R., Nogues-Paegle, J., Silva Dias, P.L. y Zhang, C. 2006. Toward a unified view of the American monsoon systems. Journal of Climate 19: 4977-5000.
- Viseras, C., Calvache, M. L., Soria, J. M. y Fernández, J. 2003. Diferential features of alluvial fans controlled by tectonic or eustatic accommodation space. Examples from the Betic cordillera, Spain. Geomorphology 50: 181-202
- Yrigoyen, M., Ortiz, A. y Manoni, R. 1989. Cuencas Sedimentarias de San Luis. En: Chebli G. y Spalletti L. (eds.), Cuencas Sedimentarias Argentinas. Instituto Miguel Lillo, Serie Correlación Geológica 6, 203-219, Tucumán.
- Zomer, R.J., Trabucco, A., Bossio, D.A., van Straaten, O. y Verchot, L.V. 2008. Climate Change Mitigation: A Spatial Analysis of Global Land Suitability for Clean Development Mechanism Afforestation and Reforestation. Agriculture Ecosystems & Environment 126 (1-2): 67-80.