



UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Departamento de Ciencias Geológicas

2025

Trabajo Final de Licenciatura

Análisis de la estructura y procedencia de la Formación Toro Negro, Valle Hermoso, La Rioja



Rosa Jimena Feiguin

Director: Andrés Folguera

Codirectora: Eliana Acevedo

Jurados: Dres. Alfonsina Tripaldi
y Maximiliano Naipauer

Resumen

En este Trabajo Final de Licenciatura se presenta el estudio de los depósitos terciarios de la Formación Toro Negro en las inmediaciones del río Grande de Valle Hermoso, provincia de La Rioja. Esta unidad, junto a la subyacente Formación Vinchina, forman parte del relleno de la cuenca de Vinchina, y se exponen en el área de estudio mediante el desarrollo de una faja plegada y corrida híbrida, donde los depósitos cenozoicos tienen un comportamiento epidérmico, con vergencia oriental.

Para presentar los resultados del relevamiento se confeccionó un mapa geológico regional, dos perfiles sedimentarios, un estudio petrográfico en areniscas y una descripción detallada de la estructura en tres sectores principales: a) margen occidental del río Grande de Valle Hermoso, con la subdivisión en *sector noroeste*, lugar donde se conformó una sección estructural, y *sector sudoeste*, b) margen oriental del río Grande de Valle Hermoso, donde también se subdividió en *sector noreste* y *sector sudeste*, y c) una descripción detallada de un sector de la Sierra de Famatina a la altura de la localidad de Villa Castelli.

A partir del análisis sedimentario se interpretó un ambiente de abanico aluvial dominado por flujos mantiformes (sheetfloods), en donde el perfil sedimentario oriental representa una posición proximal a media, mientras que para el perfil occidental se interpreta una posición distal. A partir de este gradiente granulométrico se interpreta que el aporte provenía del este, potencialmente desde la Sierra de Famatina. A partir del análisis petrográfico se realizó una caracterización de la procedencia de la Formación Toro Negro, donde se discriminaron posibles áreas de aporte. La composición modal de las muestras de areniscas coincide con las unidades que se exponen en la Sierra de Famatina. Estos resultados, integrados con estudios de procedencia y termocronología, sugieren que la Sierra de Famatina habría estado levantada durante la sedimentación de la Formación Toro Negro y habría actuado como principal área de aporte para el sector estudiado.

En el margen occidental del río Grande de Valle Hermoso se delimitó el contacto entre la Formación Vinchina y los depósitos plio-cuaternarios mediante un corrimiento con vergencia oriental. A su vez, se identificaron pliegues anticlinales y sinclinales en los depósitos terciarios y evidencias de neotectónica en los depósitos plio-cuaternarios.

Respecto al margen oriental del río Grande de Valle Hermoso, en el *sector noreste* se identificó un corrimiento con vergencia occidental, y más hacia el sudeste se halló un sistema de dos corrimientos con vergencia oriental. En el *sector sudeste* del mismo margen del río, se identificó actividad neotectónica que pone en contacto tectónico a la Formación Toro Negro por encima de los depósitos plio-cuaternarios.

Por último, en la zona estudiada de la Sierra de Famatina, se identificaron evidencias de actividad neotectónica en estructuras con vergencia occidental. Estas estructuras están relacionadas con el levantamiento de la sierra e involucran a las formaciones De la Cuesta (Pérmico), Nuñorco (Ordovícico) y a los depósitos plio-cuaternarios.

Índice

1.	Introducción	3
1.1	Objetivos	3
1.2	Metodología	3
1.3	Ubicación y acceso.....	4
1.4	Antecedentes en el área.....	4
2.	Marco Geológico.....	6
2.1	Estratigrafía.....	6
2.1.1	Antecedentes de las unidades precámbricas y paleozoicas.....	7
2.1.2	Precámbrico - Proterozoico.....	8
2.1.3	Fanerozoico - Paleozoico	8
2.1.3.1	Ordovícico-Silúrico	8
2.1.3.2	Carbonífero-Pérmico	10
2.1.4	Fanerozoico – Cenozoico.....	13
2.1.4.1	Paleógeno (Oligoceno)	13
2.1.4.2	Neógeno (Mioceno-Plioceno).....	14
2.1.4.3	Cuaternario	19
2.2	Estructura	21
3.	Resultados	24
3.1	Análisis sedimentológico de la Formación Toro Negro.....	26
3.2	Análisis petrográfico	40
3.3	Estructura y neotectónica en Valle Hermoso.....	49
3.3.1	Margen occidental del RGVH.....	49
A)	Sector NO	49
A.1)	Sección estructural	52
B)	Sector SO – Falla Santa Clara.....	54
3.3.2	Margen oriental del RGVH.....	57
A)	Sector NE - Falla de Catinzaco	57
B)	Sector SE - Falla La Ciénaga	59
3.4	Estructura en Sierra de Famatina	62
4.	Discusión.....	65
4.1	Implicancias regionales.....	68
5.	Conclusiones	74
	Agradecimientos	76
	Bibliografía	77
	Anexo Petrográfico	86

1. Introducción

En el presente Trabajo Final de Licenciatura se presenta un estudio estructural, estratigráfico y petrográfico de las unidades terciarias que afloran en las inmediaciones del río Grande de Valle Hermoso, entre la Sierra de Famatina y las Sierras Pampeanas Occidentales, las Sierras de Toro Negro y Umango-Espinal. El área de estudio se encuentra en el noroeste de la provincia de La Rioja, Argentina.

1.1 Objetivos

El objetivo principal de este trabajo consiste en comprender la evolución cenozoica del río Grande de Valle Hermoso. Para cumplir dicho objetivo, se realizó un relevamiento geológico con la finalidad de confeccionar un mapa geológico del área de estudio a escala 1:515000. A su vez, se estudiaron la estratigrafía y la petrografía de la Formación Toro Negro, unidad asignada al Mioceno superior - Plioceno, con la finalidad de caracterizar la procedencia de dicha unidad. Finalmente, se realizó un relevamiento de las estructuras que afectan a los depósitos cenozoicos, con el objetivo de comprender la temporalidad de los pulsos tectónicos que afectaron la zona de estudio.

1.2 Metodología

a) *Recopilación de datos bibliográficos y cartográficos.*

En esta instancia se recopilaron aquellos antecedentes correspondientes al área de estudio y a sus inmediaciones. Esto consta de publicaciones en revistas, tesis de grado y posgrado, publicaciones acerca de congresos geológicos, tanto nacionales como internacionales, y la información disponible en hojas geológicas dispuestas por el SEGEMAR.

b) *Mapeo preliminar.*

Se interpretaron las imágenes satelitales obtenidas en el software *Google Earth* de las unidades aflorantes, determinando la estratigrafía y las estructuras. A su vez, se utilizaron mapas geológicos confeccionados por Fauqué y Caminos (2006), Amidon et al. (2016) y Limarino et al. (2016).

c) *Trabajo de campo.*

Se realizó una campaña hacia el área de estudio en mayo de 2023, en donde se identificaron las unidades estratigráficas, sus componentes litológicos y las estructuras localizadas en puntos GPS para la confección de una sección estructural. Se tomaron datos de actitud y espesores de los estratos para el levantamiento de perfiles sedimentarios y se tomaron muestras para el estudio de cortes petrográficos. El equipamiento para la realización de este trabajo fue una brújula tipo *Brunton*, un GPS *Garmin* y una cámara fotográfica.

d) *Trabajo de gabinete.*

Al regresar de la campaña se realizó el mapeo geológico a escala 1:515000 en donde se utilizó el software ArcGIS para su confección, corrigiendo el mapeo preliminar sobre la base de las observaciones realizadas en el campo. Se confeccionaron dos perfiles sedimentarios por medio del software SedLog y se analizaron los ambientes de depositación. Se realizaron 9 cortes delgados de las muestras en el taller de cortes del Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, los que fueron analizados mediante el microscopio

petrográfico *Zeiss Axioplan2*, el cual presenta una cámara *Zeiss Axiocam 105* y se tomaron fotografías con el software *Zen* para ilustrar junto a la descripción de sus características. Se analizaron los resultados del conteo de clastos de las areniscas de la Formación Toro Negro, según el método Gazzi-Dickinson (Ingersoll et al., 1984) y se graficaron los resultados en el diagrama de clasificación de areniscas de Folk et al. (1970), los diagramas ternarios de discriminación tectónica de Dickinson et al. (1983) y el diagrama complementario de Dickinson y Suczek (1979). Las potenciales áreas de aporte se compararon mediante histogramas. Por último, se realizó una descripción detallada de la estructura mediante el análisis de las fotografías capturadas y los datos tomados por GPS.

1.3 Ubicación y acceso

El área de estudio se encuentra localizada en el sector noroccidental de la provincia de La Rioja, en el departamento de Vinchina, entre los puntos 28° 16' 16,2'' S - 68° 18' 38,4'' O y 29° 4' 25,8'' S - 67° 51' 37,2'' O. El relevamiento geológico principal se realizó sobre el valle del río Grande de Valle Hermoso (*Figura 1.1*). Adicionalmente se estudió un sector de la Sierra de Famatina, a la altura de la localidad de Villa Castelli (*Figura 1.1*).

Se accede al área de Valle Hermoso por la ruta nacional 76 hasta la localidad de San José de Vinchina y desde allí se toma la ruta provincial 21 (camino de ripio). Se recorren aproximadamente 50km hasta llegar a la Escuela rural N° 212 en el poblado denominado “Casa Pintada”, Valle Hermoso. El acceso a los afloramientos se realizó utilizando el lecho del río Grande de Valle Hermoso y sus tributarios.

Para acceder al sector de la Sierra de Famatina también es por ruta nacional 76, hasta la localidad de Villa Castelli. Desde allí se recorren 23 km por el camino indicado en la *Figura 1.1*, paralelo al río Potrero Grande, hasta llegar al área de estudio.

1.4 Antecedentes en el área

Bodenbender (1911, 1912, 1916, 1924) hizo un estudio detallado de la región y utilizó el término “Estratos de Paganzo” para agrupar sedimentitas de edades neopaleozoicas, a los cuales subdividió en tres Pisos (I, II y III) correspondientes al Carbonífero, Pérmico y Triásico respectivamente, que posteriormente fueron tratados por distintos autores para redefinirlos (Azcu y Morelli, 1970; Frenguelli 1946; entre otros).

Turner (1964, 1967) publicó las hojas 15C Vinchina y 13b Chaschuil, donde describió las características geológicas de una amplia región que incluye el área de estudio. Turner (1960, 1962, 1964, 1967) mapeó los afloramientos presentes en la Sierra de Famatina y lugares aledaños, y fue quien otorgó varios de los nombres formacionales presentes en este trabajo.

Maisonave (1979) publicó la Hoja 14c, Cerro Cumichangos, Provincias de La Rioja y Catamarca, en escala 1:200000 como un aporte al relevamiento realizado por el Servicio Geológico Nacional, donde se refleja el sector del valle del río Grande de Valle Hermoso en el que identificó rocas pertenecientes a las formaciones paleozoicas, terciarias y cuaternarias vistas en este trabajo, y describió rasgos estructurales caracterizando a este sector como un valle tectónico que conforma un sistema de *horst* y *graben*, con presencia de pliegues anticlinales, sinclinales y fallamiento inverso asociadas al Ciclo Ándico. En particular, en la Sierra de Famatina, Durand (1996) separó al sistema en tres segmentos e hizo un estudio detallado de la región.

Posteriormente, Fauqué y Caminos (2006) realizaron la descripción de la Hoja Geológica 2969-II Tinogasta a escala 1:250000, donde integraron la información previamente publicada.

Los estudios estratigráficos, particularmente para la Formación Toro Negro, objeto de estudio de este trabajo, se realizaron en la Sierra de los Colorados por diversos autores (Ramos 1970; Marensi et al., 2000; Limarino et al., 2011; Ciccioli y Marensi, 2012; Ciccioli, 2008, entre otros), así como también la determinación de edades absolutas (Ciccioli et al., 2005; Ciccioli, 2008; Amidon et al., 2016; Tabbutt, 1990) y análisis de procedencia (Ciccioli et al., 2014a; Amidon et al., 2016).

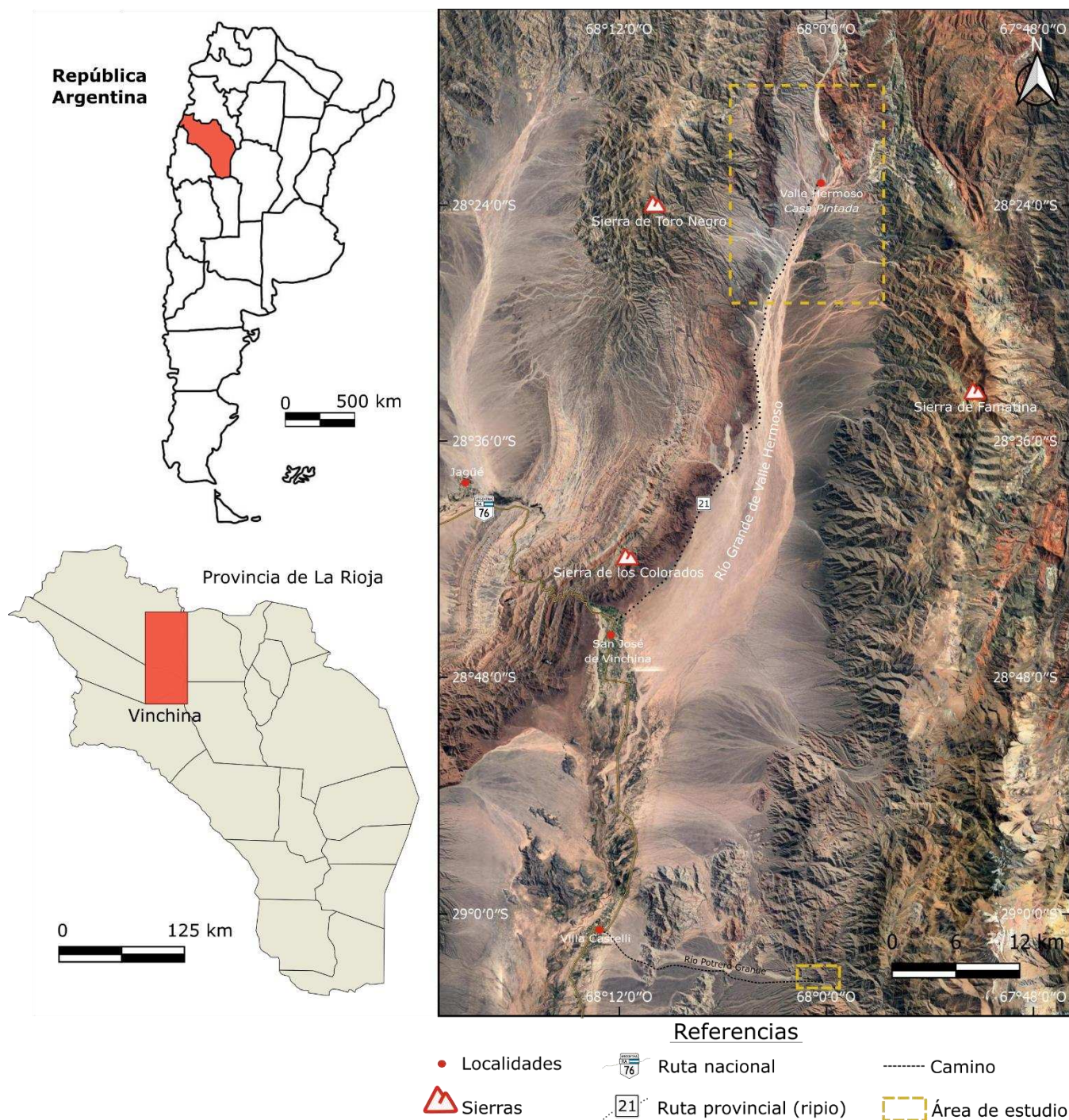


Figura 1.1. Ubicación geográfica y acceso al área de estudio.

2. Marco Geológico

2.1 Estratigrafía

La estratigrafía de la zona de estudio comprende una serie de unidades, que abarcan desde el Precámbrico hasta el Cuaternario y que representan eventos discretos de sedimentación. Las rocas más antiguas conforman un basamento neoproterozoico compuesto por rocas metamórficas cuarzo-feldespáticas pertenecientes al Precámbrico (Ramos et al., 1986; Frigerio et al., 2015, entre otros), representado por la Formación Espinal, que se exhuma mayormente en el sector occidental de la región. Hacia el sector oriental, se exhuma un basamento Famatiniano conformado principalmente por dos formaciones ordovícicas: Formación Suri (Ordovícico inferior) (Harrington y Leanza 1957) que se compone de lutitas, areniscas, cuarcitas, margas, calizas y tobas, y la Formación Ñuñorco (Ordovícico-Silúrico) compuesta por granodioritas, monzogranitos y tonalitas (Turner, 1962). Por encima se encuentran las Formaciones Agua Colorada y De la Cuesta del Carbonífero-Pérmico. La primera corresponde a una amplia variedad de sedimentos continentales como conglomerados, areniscas feldespáticas, lutitas carbonosas, entre otras, y la segunda a potentes bancos de conglomerados y areniscas de color rojizo (Turner 1960, 1964).

Luego se encuentra una unidad oligocena compuesta por una espesa secuencia de areniscas pardas con sets entrecruzados de gran escala pertenecientes a la Formación Vallecito (Borello y Cuerda, 1968), la cual se distribuye a lo largo de la Sierra de los Colorados.

La secuencia suprayacente se encuentra con mayor distribución areal, de edad neógena, y está conformada por las formaciones Vinchina y Toro Negro (Turner, 1964). Consta de depósitos fluviales: areniscas, arcilitas y conglomerados de coloraciones rojizas pardas.

Por último, depósitos aluviales cuaternarios, que cubre en varios sectores a las formaciones previamente mencionadas.

Otras unidades relevantes cercanas al área de estudio son las formaciones Morado y Las Planchadas de edades ordovícicas, y las formaciones Río Tendal (Triásico inferior) y Vaquerano (Triásico medio-superior). La Formación Morado (Turner, 1964) consta de riodacitas y traquitas, donde las primeras se presentan en coloraciones moradas, grisáceas y amarillentas, mientras que las segundas poseen una estratificación en la base y se vuelven homogéneas hacia el techo, en coloraciones pardas, y donde los afloramientos principales se hallan en las altas cumbres de los cerros Morado y Negro (Fauqué y Caminos, 2006). La Formación Las Planchadas, definida por Turner (1967), presenta volcanitas sinsedimentarias como tobas, ignimbritas y brechas de composición ácida a intermedia, que intercala con niveles delgados de sedimentitas marinas, las que constan de pelitas ricas en materia orgánica y niveles de chert de manera subordinada, las cuales forman parte de las altas cumbres de la sierra de Toro Negro. La Formación Río Tendal (Faroux, 1969) consiste en un conjunto de pórfidos y brechas de composiciones intermedias a félsicas (dacítica, riodacítica y riolítica) de color blanquecino a verdoso claro (Faroux, 1971). Los afloramientos aparecen en las inmediaciones de la quebrada del río Tendal y en las altas cumbres de la sierra de Toro Negro (Fauqué y Caminos, 2006). La Formación Vaquerano (Maisonave, 1973) contiene pórfidos basálticos y sieníticos, de coloración negra cuando se ve en corte fresco, y rojizos producto de alteración (Zoraires, 2019). Son de extensión areal reducida, y se presentan en

formas elongadas en sentido N-NO tanto en la Precordillera como en las Sierras Pampeanas Occidentales y el Sistema de Famatina (Fauqué y Caminos, 2006).

2.1.1 Antecedentes de las unidades precámbricas y paleozoicas

La Formación Espinal fue definida por Turner (1964) en el extremo septentrional de la Sierra del Espinal y en algunos sectores menores dentro del valle de Vinchina.

La Formación Suri fue definida por Harrington y Leanza (1957) en los afloramientos ordovícicos del área del Río Cachiuyo de Famatina, La Rioja. Turner (1964, 1967) mapeó los afloramientos de esas sedimentitas en la Sierra de Famatina y en la zona de Chaschuil. Por su parte, Maisonave (1979) le otorga la misma denominación a la secuencia que aflora en el extremo septentrional del Sistema de Famatina.

La Formación Nuñorco fue definida por Turner (1962), dadas las rocas graníticas presentes en la Sierra de Famatina. Otras denominaciones fueron Formación Sañogasta de Fidalgo (1968), Formación Guacachico (Turner, 1960). La primera mención de la existencia de diques de lamprófiro, en el Sistema de Famatina fue hecha por Bodenbender (1916), quien describió en varias localidades la petrografía, composición mineralógica y textura. Toselli et al. (1996b) analizaron la petrografía, geoquímica, tectónica y petrogénesis de los diques.

La Formación Agua Colorada fue definida por Turner (1960). Posteriormente, Turner (1964, 1967) incluye dentro de la unidad a las sedimentitas carboníferas que afloran en el tramo medio de la Sierra de Famatina y en las serranías Chaschuil y Narváez. Previamente, Bodenbender (1911, 1912, 1916) utilizó el término “Estratos de Paganzo” para agrupar un conjunto de sedimentitas neopaleozoicas del noroeste argentino, a los cuales subdividió en tres Pisos (I, II y III) correspondientes al Carbonífero, Pérmico y Triásico respectivamente, siendo entonces homologable al Piso I. Es también homologable con los “Estratos de Tupe” estudiados por Frenguelli (1946). Posteriormente, Azcuy y Morelli (1970) establecieron formalmente el Grupo Paganzo en la comarca Paganzo-Amaná, conformado por las formaciones Lagares, La Colina y Amaná, por lo que la Formación Agua Colorada es homologable a la Formación Lagares que estos autores describieron para el sector sur del Sistema de Famatina.

El trabajo de Bodenbender (1911) asignó los depósitos pérmicos continentales del centro-oeste argentino al Piso II de la serie “Estratos de Paganzo”. Frenguelli (1949) redefine a estos como “Estratos de Patquía”, con su localidad tipo en Los Colorados de Patquía, en el extremo sur de la sierra de Velasco, nombre que se extendió al resto de los afloramientos de las Sierras Pampeanas y de la Precordillera septentrional. La Formación De La Cuesta fue definida por Turner (1964) para niveles equivalentes que afloran en el Sistema de Famatina. Azcuy y Morelli (1970) reunieron las unidades pérmicas junto con las de edad carbonífera superior dentro del Grupo Paganzo. En el mismo año, Ramos realizó estudios en un nuevo afloramiento de la formación, siendo un buen ejemplo de una superficie de erosión neopaleozoica generada en rocas metamórficas precámbricas (Formación Umango), donde esta se apoya. Los estudios realizados para la determinación de los procesos y ambientes sedimentarios de esta unidad fueron realizados por Limarino (1984) y Limarino (1987). Fernández Seveso et al. (1993) efectuaron el análisis estratigráfico secuencial de esta unidad, así como también Buatois y Mángano (1996).

2.1.2 Precámbrico - Proterozoico

Formación Espinal

Turner, 1964

Esta unidad conforma el basamento de las Sierras Pampeanas Occidentales (Toro Negro-Umango-Maz-Espinal) y se distinguen de aquellas del basamento de la Precordillera-Cuyania principalmente por el mayor grado metamórfico (Frigerio et al., 2015). Se trata de rocas de medio-alto grado metamórfico, mayormente esquistos micáceos y cuarzo-feldespáticos, en donde los primeros son generalmente de grano fino, de color gris verde pálido en corte fresco, con esquistosidad muy marcada que constituyen crenulaciones (Turner, 1964).

En el sector alto de la Sierra de Toro Negro se encuentran rocas graníticas y migmatíticas que se asocian a las primeras. Se tratan de granitos, tonalitas y granodioritas granulares, que presentan minerales como plagioclasas de composición albitica, andesinas y microclinos, en tanto que, las migmatitas presentan la misma composición y son la transición entre las rocas magmáticas y los esquistos (Maisonave, 1979).

La unidad está cubierta en discordancia por rocas de las formaciones Suri, Agua Colorada y De la Cuesta y dado el importante control estructural por la tectónica compresiva, se encuentra en contacto tectónico con unidades terciarias (Formación Toro Negro) mediante fallas inversas (Fauqué y Caminos, 2006). También está en contacto con depósitos plio-cuaternarios.

En el margen occidental de la Sierra de Toro Negro se obtuvo una edad máxima de sedimentación de 905 ± 14 Ma, que por consiguiente se considera a esta formación de edad neoproterozoica (Frigerio et al., 2015). También se realizaron análisis de U-Pb en titanitas que muestran edades de metamorfismo de alto grado entre 450 y 433 Ma, coincidente con la orogenia Oclógica y la colisión del terreno Cuyania (Lucassen y Becchio, 2003).

2.1.3 Fanerozoico - Paleozoico

2.1.3.1 Ordovícico-Silúrico

Formación Suri

Harrington y Leanza, 1957

La unidad se encuentra distribuida en ambas laderas de la Sierra de Famatina, conformando largas fajas angostas, de orientación N-S (Turner, 1964). Las rocas de mayor predominancia son las areniscas silicificadas de alta dureza, las limolitas y lutitas con coloraciones verdes, en arreglos grano-estratocrecientes, con intercalaciones de bancos delgados de margas y tobas que sugiere la existencia de un volcanismo sinsedimentario (Fauqué y Caminos, 2006).

El tercio superior de esta unidad ha proporcionado abundantes fósiles encontrados en las lutitas, margas y mudstones (Harrington y Leanza, 1957) como trilobites, braquiópodos, pelecípodos, crinoideos y graptolites (Turner, 1964).

La totalidad de esta formación se encuentra atravesada por diques subverticales de composición básica y filones capa de composición intermedia que varían en espesor desde escasos centímetros hasta un metro (Mángano y Buatois, 1994).

Según Mángano y Buatois (1994), la unidad exhibe una amplia gama de ambientes y subambientes de sedimentación para la zona de Chaschuil, representando una megasecuencia regresiva, integrada de base a techo por depósitos de talud, plataforma y delta volcánico.

Si bien la base de la Formación Suri no ha podido ser observada porque está siempre en relación de falla, se encuentran sedimentos marinos que se apoyan en forma discordante sobre el basamento precámbrico que se creen que pertenecen a la unidad (Mángano y Buatois, 1994). Se encuentra en contacto tectónico con las formaciones Agua Colorada y Vinchina, así como también con la Formación Nuñorco, que muchas veces intruye (ver Hoja Tinogasta, Fauqué y Caminos, 2006).

Varios autores realizaron investigaciones paleontológicas presentes en la formación en la zona de Chaschuil otorgándole una edad arenigiana-llanvirniana temprana. Esto se hizo en base a estudios de trilobites, nautiloideos cónicos, conodontes, braquiópodos y bivalvos (Aceñolaza y Toselli, 1977; Harrington y Leanza, 1957; Benedetto, 1994, entre otros). La edad máxima de sedimentación definida por Armas et al. (2021) es de $464,4 \pm 4,4$ Ma expuesto en el norte del Sistema de Famatina, en la zona de Chaschuil.

Formación Nuñorco

Turner, 1962

Serie de plutonitas que constituyen el cuerpo principal de la Sierra de Famatina. Los Granitoides se hallan intruidos por diques de lamprófiros, levemente más jóvenes, que son incluidos en la unidad (Fauqué y Caminos, 2006).

La unidad magmática está constituida principalmente por monzogranitos y granodioritas biotíticas, y algunas zonas de composición tonalítica. El “ígneo tipo” ha sido definido en la Cuesta de Miranda donde aflora un monzogranito con abundante cuarzo y biotita. Geoquímicamente, estas rocas definen una suite calcoalcalina, metaluminosa (Candiani et al., 2011). En líneas generales, las plutonitas son de grano mediano a grueso, leucocráticas, con una coloración gris claro-rosado y estructura masiva, compuestas de cuarzo, microclino, plagioclasa y escasas biotitas (Toselli, 1977) (*Figura 2.1*).

El contacto entre la Formación Suri y los granitoides es tectónico en la mayoría de los casos, y en otros se han descripto relaciones de intrusión. Las formaciones Agua Colorada y De La Cuesta (Carbonífero-Pérmico) suprayacen en discordancia a los granitoides de la Formación Nuñorco (Fauqué y Caminos, 2006). También se han descripto los contactos tectónicos entre los granitoides y las formaciones Vinchina y Toro Negro.

Villar Fabre et al. (1973) realizaron dataciones radimétricas por el método K/Ar que otorgaron un valor de 448 ± 22 Ma para las rocas graníticas, ubicando el momento de la intrusión en el Ordovícico superior-Silúrico inferior.

El magmatismo principal del Sistema de Famatina se ha establecido entre los 460 y 410 Ma, contemporáneo con las fases Guandacol y Oclógica (Rapela et al., 1992; Lopez, 2004).

Mediante análisis geocronológicos U-Pb en circones se ha establecido la edad de la Formación Nuñorco dentro del rango 472 a 463 Ma (Loske et al., 1996; Otamendi et al., 2017).

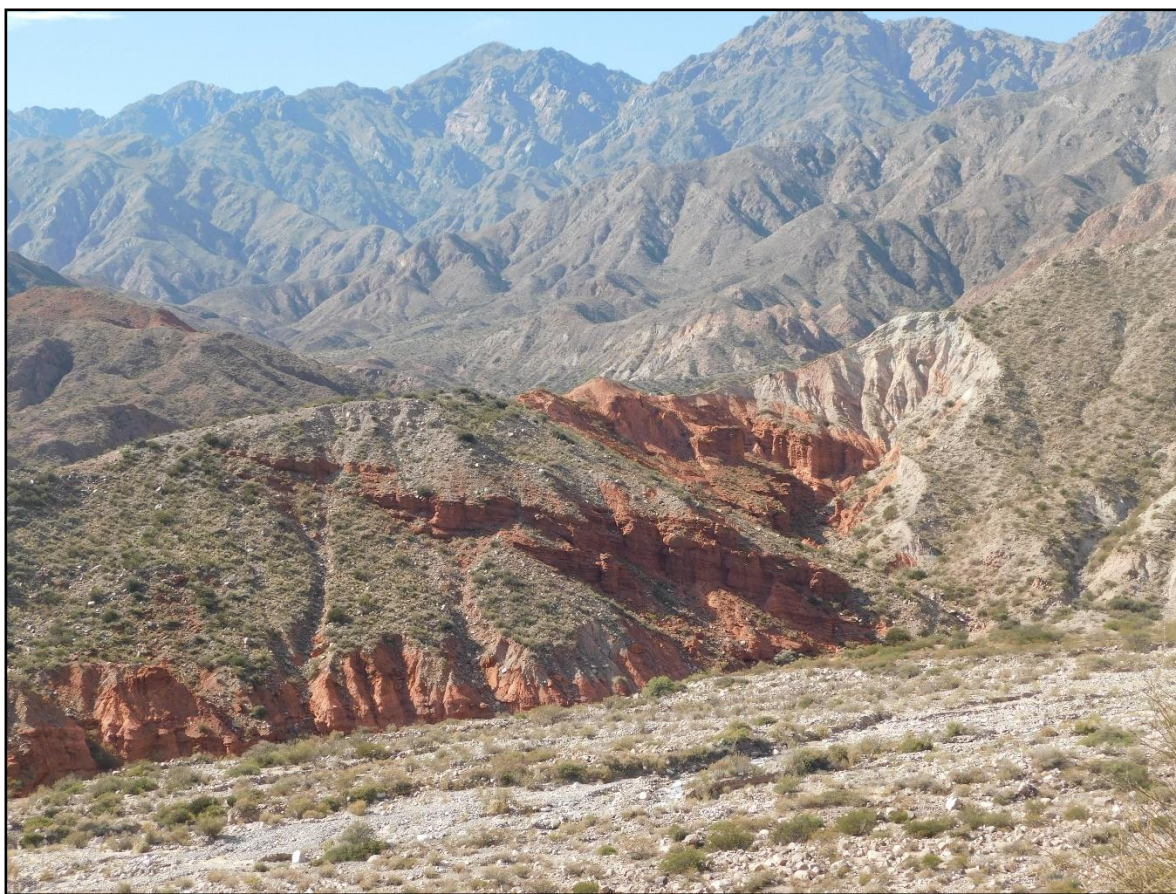


Figura 2.1. Sierra de Famatina, donde se observan los granitos ordovícicos (Formación Nuñorco) en coloraciones rosadas y la Formación De la Cuesta en coloraciones rojizas.

2.1.3.2 Carbonífero-Pérmico

Formación Agua Colorada

Turner, 1960

Se extiende en la ladera oriental de la Sierra de Famatina en forma de fajas alargadas en sentido N-S. Según las descripciones de Turner (1964, 1967) se encuentran afloramientos en el tramo medio de la sierra de Famatina y más al norte, en las serranías de Chaschuil y Narváez. También se ubican en la Sierra de Toro Negro (Fauqué y Caminos, 2006).

Presenta litologías muy variadas, desde diamictitas hasta carbones, con predominancia de areniscas (Gutiérrez, 1995). Los sedimentos continentales están constituidos por conglomerados, areniscas feldespáticas, areniscas de grano fino a grueso de color blanquecino, lutitas carbonosas (Turner, 1964) (*Figura 2.2*).

Limarino (1987) describe cinco facies sedimentarias en el sector austral y central de la Sierra de Famatina, entre las cuales se encuentran depósitos de abanicos fluviales, fluvial entrelazado, lacustre, glaciar, y fluvial anastomosado.

Buatois y Mángano (1996) reconocieron, de base a techo, sistemas fluviales entrelazados, abanico aluvial, lago profundo que transiciona a somero, delta y fluvial entrelazado que transiciona a meandriforme.

Limarino et al. (2010) establecieron una asociación de facies que relaciona diamictitas monomícticas y polimícticas con el evento glacial gondwánico de edad namuriana bien conocido en las cuencas occidentales de Argentina.

La unidad se apoya en discordancia erosiva sobre las formaciones Suri y Nuñorco (entre otras) (Gutiérrez, 1995). En su techo la secuencia muestra un pasaje concordante y transicional hacia las areniscas y pelitas rojas pérmicas de la Formación De La Cuesta (Fauqué y Caminos, 2006). También se encuentra en contacto tectónico con la Formación Toro Negro.

La Formación Agua Colorada ha brindado una abundante y variada megafloora como *Fedekurtzia argentina*, *Botrychiopsis weissiana*, *Bumbudendron versiforme*, *Nothorhacopteris argentinica*, *Cordaite* sp. A, entre otras, localizada en los depósitos lacustres y en los depósitos fluviales, asignando una edad carbonífera tardía (Gutiérrez, 1995; Fauqué y Caminos, 2006).



Figura 2.2. Areniscas blanquecinas y pelitas rojas de geometría tabular en la Formación Agua Colorada (tomado de Zoraires, 2019).

Formación De la Cuesta

Turner, 1964

Esta unidad consta de un miembro basal con potentes y macizos conglomerados de coloraciones rosadas a blanquecinas y estructuras sedimentarias tractivas, como estratificación entrecruzada con intercalaciones de lentes de areniscas blanquecinas a rojizas, seguido de un miembro intermedio con areniscas de color ladrillo, de grano fino a

medio, con intercalaciones ocasionales de conglomerados que hacia el techo gradan a bancos más arcillosos, en tanto que el miembro superior está compuesto por areniscas y lutitas de color morado y borravino (Turner, 1964). Presenta un espesor mínimo de 2000 m (Maisonave, 1973) y una flora gondwánica típica: *Glossopteris* junto con *Cyclopius dichotoma* (Bodenbender, 1911). *Barokaria dichotoma* (Frenguelli, 1949).

Se puede encontrar en la pendiente occidental de la Sierra de Famatina un afloramiento de estas areniscas rojas (Figura 2.3), en la quebrada de Las Pircas o Tambillos (Turner, 1964). Por su parte, Ramos (1970) encuentra un afloramiento de reducidas dimensiones que aflora en la ladera este de la Sierra de Toro Negro. Es de dirección N-S, con más de 1,5 km de longitud y ~250 m de ancho.

Caselli y Limarino (2002) reconocieron un total de 7 asociaciones de facies: dos que corresponden a depósitos de abanicos aluviales (proximales y distales) junto a sistemas fluviales entrelazados proximales, que se interdigitan con secuencias sabulíticas-arenosas de ríos de baja sinuosidad, las que a su vez son cubiertas por secuencias fluviales con canales de alta sinuosidad y planicies; culmina con un campo de dunas e interdunas y depósitos someros lacustres, que progradan a sistemas fluviales de alta sinuosidad. Tomando en cuenta el patrón de apilamiento de las asociaciones de facies descriptas anteriormente, los autores encontraron dos secuencias depositacionales: la secuencia inferior, que se encuentra mayormente extendida en toda la Cuenca de Paganzo, conforma una secuencia granodecreciente, formada por sistemas fluviales de carga mixta que culminan en un importante manto de dunas eólicas. La secuencia depositacional superior, sólo aflorante en Guandacol, corresponde a una secuencia granocreciente, interpretada como una progradación fluvial sobre depósitos lacustres someros, que nuevamente culminan con dunas e interdunas.

Según lo observado en la Hoja de Tinogasta (Fauqué y Caminos, 2006), la Formación De la Cuesta se encuentra en discordancia erosiva y por sectores en contacto tectónico tanto con la Formación Suri como con la Formación Agua Colorada. Presenta contactos tectónicos con las secuencias terciarias (Formación Toro Negro y Formación Vinchina), y cubierto por depósitos aluviales cuaternarios.

Frenguelli (1946) menciona que en la sección media del Piso II de los “Estratos de Paganzo” de Bodenbender, en el Cerro Colorado de La Antigua se encuentran depósitos glaci-lacustres con restos de *Dadoxylon*, que presentan anillos anuales de crecimiento, lo que indicaría plantas del Pérmico, dado que el Carbonífero carece de estos anillos. También se encuentran pelecípodos como *Palaeonodonta* que presenta características afines con otras especies halladas en la parte inferior de los “Beaufort Beds” (Sudáfrica), que con seguridad fueron asignadas al Pérmico. El complejo glaciar se sincroniza con los depósitos de la Formación Sauce Grande (Grupo Pillahuincó), provincia de Buenos Aires. A partir de la identificación de megaflora y contenido palinológico, tanto en la Formación De la Cuesta como en sus equivalentes, formaciones Patquía y La Colina, se le atribuye una edad pérmica.

Las edades radimétricas U-Pb de la Formación De la Cuesta en su base, en 311,89 Ma, y su techo, en 278,84 Ma, permiten constreñir la edad de depositación entre el Moscoviano y el Kunguriano (Césari et al., 2019; Limarino et al., 2021).



Figura 2.3. Estratos rojos de la Formación De la Cuesta (Pérmico) en el flanco occidental de la Sierra de Famatina.

2.1.4 Fanerozoico – Cenozoico

2.1.4.1 Paleógeno (Oligoceno)

Formación Vallecito

Borello y Cuerda, 1968

Esta unidad fue estudiada en las inmediaciones de la Ciénaga del Vallecito en la provincia de San Juan por Bracaccini (1946), quien la definió como “Grupo de las areniscas eólicas”, y posteriormente Borello y Cuerda (1968) le otorgaron el nombre formacional.

La Formación Vallecito se encuentra en el área de estudio en la base de la Sierra de los Colorados en escasos afloramientos. Anteriormente se la consideraba parte de la Formación Vinchina (Schencman, 2016).

Se trata de una secuencia espesa de areniscas pardas, grises y anaranjadas con sets entrecruzados de gran escala, que fue interpretado como un extenso campo eólico de areniscas finas a muy gruesas, que presentan laminación horizontal o entrecruzadas de bajo ángulo (Tripaldi, 2001; *Figura 2.4*). Pueden aparecer sets tabulares de estratificación entrecruzada de escala grande y gigante, de hasta 20 m de potencia, megaformas (draas), donde se describieron interdunas para el miembro inferior y dunas crecientes de crestas rectas con interacción eólica-fluvial para el miembro superior (Tripaldi y Limarino, 2005). Su perfil más completo fue registrado en la quebrada de La Flecha en el depocentro de La Troya, alcanzando una potencia de hasta 1200 m (Tripaldi y Limarino 2005).

Es cubierta en el depocentro de Vinchina y en el sector norte del depocentro de La Troya por la Formación Vinchina, en contacto erosivo (Limarino et al., 2017). Se encuentra cubierto por los depósitos cuaternarios del río Grande de Valle Hermoso.

La edad de esta formación puede ser estimada por sus escasas dataciones radimétricas en circones detríticos, donde Fosdick et al. (2017) obtuvieron edades máximas para esta unidad en la Precordillera de San Juan, mediante circones detríticos que la ubican entre los ~33 y 23 Ma. También se puede establecer la edad por sus relaciones estratigráficas, dado que hacia el techo se encuentra datada la Formación Vinchina en 15.6 ± 0.4 Ma por Ciccioli et al. (2014b) en La Cueva, Precordillera. Collo et al. (2017) determinaron edades U-Pb en el miembro inferior de la Formación Vinchina y obtuvieron $12,62 \pm 0,40$ Ma y $16,3 \pm 1,2$ Ma en la quebrada de La Troya Norte y Sur, respectivamente.

Se propone entonces un rango desde el Oligoceno-Mioceno inferior para la sedimentación de esta unidad.



Figura 2.4. Aspecto de la Formación Vallecito (tomado de Limarino et al., 2017).

2.1.4.2 Neógeno (Mioceno-Plioceno)

Formación Vinchina

Turner, 1964

En el trabajo de Hausen (1921) se realizó una revisión preliminar de la estratigrafía de la quebrada de La Troya, dividiendo a la secuencia en dos unidades, una de edad jurásica-cretácica y otra terciaria (mio-pliocena). Más adelante, estas rocas (junto con las que se le sobreponen) fueron integradas en los “Estratos Famatinenses” de Bodenbender (1924), mientras que Frenguelli (1950) se refirió a las mismas como pertenecientes a sus “Estratos de Patquía” (homologable al Piso II de Bodenbender, Pérmico). Estas últimas se describieron como areniscas y arcillas rojas parduscas, bien estratificadas.

Turner (1964) fue quien utilizó la denominación de Formación Vinchina y, tomando en cuenta su aspecto, litología, entre otras características, la asimiló al complejo que aflora en Campana (Famatina), por lo que asignó a esta formación al Mioceno por su vinculación con los Estratos Calchaquenses. Él describió una potente sucesión de bancos rojos

compuesta por areniscas, pelitas, conglomerados y muy escasas tobas, que caracterizan a la sierra de los Colorados, situada al oeste del poblado de Vinchina.

Posteriormente, Ramos (1970) dividió a la secuencia en dos miembros según la participación de material volcánico presente, en tanto que Marensi et al. (2000) reconocieron una discordancia intraformacional que separa a los mismos (superficie erosiva de bajo ángulo).

Esta unidad contiene conglomerados, areniscas y arcilitas de color rojo pardo a pardo claro. Tomando la descripción de Turner (1964) del perfil de La Troya: areniscas de grano fino a medio, de aproximadamente 50 m de espesor. Continúa con un miembro de areniscas finas con arcilitas de color pardo chocolate, ambas estratificadas en láminas delgadas (*Figura 2.5*). Presentan grietas rellenas con el mismo material o yeso y algunas intercalaciones conglomerádicas de color blanquecino. La transición hacia el miembro superior consiste en un material más pálido y friable.

Siguiendo la clasificación de Ramos (1970): el miembro inferior está compuesto por areniscas pardo-moradas de grano fino-medio, de mediana potencia, con estratificación entrecruzada abundantes ondulitas y grietas de desecación. Más hacia el techo se encuentra una transición a coloraciones más rojizas. El miembro superior se caracteriza por la presencia de material volcánico y clastos de vulcanitas a diferencia del anterior. En los primeros niveles se encuentran andesitas hornblendíferas de grano medio de color gris azulado. Subiendo en secuencia aparecen clastos de riolitas, riolacitas y escasos pórfidos de la misma composición. En este miembro predomina el color pardo rojizo a claro (en contraposición a los colores más oscuros subyacentes). Hacia el techo tiene más presencia de lentes conglomerádicas y hacia el límite con la Formación Toro Negro aumenta la participación de material piroclástico, con la identificación de areniscas tufíticas.

Se extiende desde los 28° 00' hasta los 29° 30' de latitud sur, conforman una extensa faja de afloramientos NNE-SSO que se prolonga por unos 180 km, formando el núcleo de la sierra de Los Colorados en el oeste de la provincia de La Rioja y su prolongación septentrional en la provincia de Catamarca (Tripaldi 2001).

Presenta una potencia variable según la localidad que se esté analizando, siendo esta de 2700 m en la quebrada Los Pozuelos y 6500 m en la quebrada del Yeso (Schenckman et al., 2018; Schenckman 2016). Asimismo, Limarino et al. (2017) describe que los espesores parecieran incrementarse de sur a norte en el depocentro de La Troya, a diferencia del depocentro de Vinchina, que lo hace de norte a sur.

Para la sección inferior de la Formación Vinchina se propone el desarrollo de sistemas fluviales anastomosados coexistentes con sistemas eólicos intermontanos (Limarino et al., 1999; Tripaldi 2001). También para este miembro, Schenckman et al. (2018) proponen que la sedimentación inicial habría ocurrido en sistemas fluviales entrelazados efímeros, que luego evolucionan a sistemas fluviales anastomosados. Esta variación en la dinámica fluvial indica un aumento en el espacio de acomodación, que en este caso se atribuye al levantamiento de la Sierra de Toro Negro, que a su vez habría actuado como área de aporte para la sección inferior de la Formación Vinchina (Schenckman et al., 2018). Estos depósitos correspondientes al miembro inferior se basculan por un importante episodio de deformación, y le da inicio al miembro superior, en el cual se describen ambientes de ríos entrelazados que evolucionan a sistemas fluviales meandriformes efímeros, luego gradan a anastomosados con interacción eólica y, en una etapa posterior, se desarrollan sistemas lacustres (Schenckman et al., 2018).

Se encuentra en contacto tectónico con el basamento de la Formación Espinal (Turner, 1964), con las sedimentitas ordovícicas de la Formación Suri, y con la Formación De la Cuesta, según la información otorgada por la hoja de Tinogasta (Fauqué y Caminos, 2006). Su límite con la infrayacente Formación Vallecito es una discordancia levemente erosiva (Schencman, 2016). También sobreyace en contacto erosivo la Formación Toro Negro.

Tabbutt (1990) dató tobas intercaladas en la secuencia terciaria, en las inmediaciones de Villa Unión, obteniendo una edad de $7,6 \pm 1,8$ Ma para la Formación El Buey, que se correlaciona a la Formación Vinchina, según el trabajo de Deri et al. (2021).

Una nueva datación en una toba expuesta en la Sierra de los Colorados, ubicada en el miembro inferior de la unidad fue realizada por Dávila et al. (2008), obteniendo una edad ~ 19 Ma. Ciccioli et al. (2014b) reportan edades U-Pb en circones obtenidos en una toba del miembro inferior de la unidad que consta de $15,6 \pm 0,4$ Ma (La Cueva, Precordillera) y otra del miembro superior de $9,24 \pm 0,034$ Ma (Quebrada de Los Pozuelos). A partir de estas nuevas edades U-Pb, se establece que la formación se depositó durante el Mioceno, posiblemente entre los 16 y 8 Ma.



Figura 2.5. Estratos subverticales de la Formación Vinchina.

Formación Toro Negro

Turner, 1964

Turner (1964) utilizó este nombre formacional para los afloramientos del sector occidental de la Sierra de Los Colorados, compuestos por areniscas, arcilitas, lentes conglomerádicas, y entre los que se intercalan bancos tobáceos y yesíferos. La asignó a los “Estratos Araucanenses”.

Anteriormente (y ya descrito en los antecedentes de la subyacente formación), Bodenbender (1924) incluyó a aquellos sedimentos que afloran en la Sierra de Los Colorados a los “Estratos Famatinenses” de edad cretácica, y a los que afloran en la Sierra de Famatina a los “Estratos Calchaqueños” de edad pliocena (Bodenbender, 1916).

Más adelante, Ramos (1970) detalló la estratigrafía y estructura de la Sierra de Los Colorados e incluso utilizó un nivel de tobas blancas para marcar la base de la Formación Toro Negro.

Numerosos trabajos contribuyeron en el estudio de esta unidad para análisis sedimentológico y estratigráfico (Ciccioli, 2008; Ciccioli et al., 2010; Ciccioli y Marensi, 2012; Ciccioli et al., 2018), paleontológico (Krapovickas et al., 2009), radiométrico (Ciccioli et al., 2005; Amidon et al., 2016; Ciccioli et al., 2018), petrológico (Ciccioli et al., 2014) y evolución tectosedimentaria (Ciccioli et al., 2011). Limarino et al. (2010) analizaron las implicancias tectónicas del contacto entre las formaciones Toro Negro y Vinchina.

También se realizaron estudios geocronológicos que involucraron trabajos de determinación de la estratigrafía de polaridad magnética (Ré y Vilas, 1990; Ré y Barredo, 1995) y trazas de fisión en las secuencias terciarias (Tabbutt 1990).

Subdividida en dos miembros por Ramos (1970), donde el inferior está constituido por niveles de conglomerados grises, areniscas medianas a finas de colores pardos amarillentos y verdosos, con intercalaciones de arcilitas rojas (Ciccioli et al., 2005). También se presentan intercalaciones de tobas y yeso. El miembro superior, que se encuentra dividido del anterior por un contacto neto erosivo (Ciccioli 2008), corresponde casi exclusivamente a conglomerados grises, y en menor medida areniscas, limolitas y tobas.

En líneas generales, presenta coloraciones rosadas, parduscas claras, amarillentas y blancas. Son abundantes las intercalaciones de lentes conglomerádicas, bancos delgados de arcilitas verdosas de entre 3 y 5 centímetros, y bancos de tobas.

Aflora en el sector occidental de la Sierra de Los Colorados y se prolonga hasta el sector oriental de la Sierra de Toro Negro (Ramos 1970). También se pueden encontrar pequeños afloramientos en el sector occidental de la Sierra de Famatina, en el área de Valle Hermoso (*Figura 2.6*). Ramos (1970) otorgó los espesores máximos para ambos miembros en la quebrada de los Pozuelos, de la Troya y del Yeso (de norte a sur) siendo, para el miembro inferior, 3670 m, 1792 m y 1811 m respectivamente. Para el superior, yendo de sur a norte (donde observó una disminución), obtuvo 1584 m, 752 m y 872 m.

Ciccioli (2008) obtuvo valores parecidos para el miembro inferior (Pozuelos: 3150 m; Troya: 1684 m; Yeso 1592 m), mientras que para el miembro superior observó 1022 m en la quebrada de La Troya (sector central) y 808 m para la quebrada del yeso, en el sur.

Mediante el reconocimiento de 16 asociaciones de facies, Ciccioli (2008) interpretó que gran parte de estas fueron generadas por sistemas fluviales predominantemente anastomosados de clima semiárido con grandes grietas de desecación e intercalación de depósitos eólicos, y sistemas fluviales entrelazados en menor medida. Reconoció sistemas lacustres silicoclásticos y mixtos, abanicos terminales, planicies aluviales y piedemontes dominados por flujos canalizados.

En la Sierra de los Colorados cubre en discordancia erosiva a la Formación Vinchina (Ramos 1970; Marensi et al., 2000). Resulta una superficie de incisión de alto relieve relativo que claramente indica el desarrollo de un paleovalle labrado sobre la Formación Vinchina, el que muestra una sección aproximadamente norte-sur con su eje orientado en sentido oeste-este (Limarino et al., 2010).

Ciccioli et al. (2004) establecen el contacto entre la unidad en cuestión y su subyacente Vinchina como un importante cambio en la arquitectura de los sistemas fluviales, en donde hacia el techo de la Formación Vinchina se describen depósitos fluviales distales al frente orogénico, con baja tasa de subsidencia, mientras que, para la base de Toro Negro, al ser canales de índole areno-conglomerádicos, se los describe como fuertemente incisos, es decir, poco equilibrados y en mayor cercanía al frente orogénico, por lo que esto lo relaciona a movimientos tectónicos o a cambios en la tasa de subsidencia.

Se encuentra en contacto tectónico con las formaciones Espinal, Nuñorco, y con aquellas del Carbonífero-Pérmico (Agua Colorada y Patquía-De la Cuesta). Hacia el techo está cubierto por depósitos cuaternarios.

Los megatéridos encontrados en el miembro inferior por Ramos (1970), correspondientes a *Plesiomegatherim* sp., permitieron asignarlo al Plioceno medio, mientras que al miembro superior lo ubica en el Plioceno superior, por considerar que su depositación se interrumpe por el tercer movimiento del Ciclo Ándico (que origina las Sierras Pampeanas), producido entre el Plioceno y el Pleistoceno.

Posteriormente, Ciccioli et al. (2005) delimitaron la edad de la Formación Toro Negro mediante 2 edades K/Ar sobre roca total en niveles de tobas vítreas en el sector alto del miembro inferior ($8,6 \pm 0,3$ y $6,8 \pm 0,2$ Ma). Estos nuevos valores establecen una edad miocena superior para la parte media-superior de la unidad, en tanto que Amidon et al. (2016) presentaron recientemente dataciones U-Pb en distintos niveles tobáceos abarcando desde los 6,87 – 4,95 Ma el miembro inferior y donde culmina en 2,37 Ma el miembro superior para la sección de la quebrada de La Troya. Se establece entonces que la edad mínima para la Formación Toro Negro es de 8,6 a 2,37 Ma.



Figura 2.6. Areniscas de la Formación Toro Negro en las inmediaciones del río Grande de Valle Hermoso.

Depósitos aluviales inactivos

Ramos (1970) reconoce dos niveles de agradación en la Sierra de los Colorados y en las serranías cercanas. El primer nivel aflora al pie de la Sierra de Toro Negro (al este, oeste y sur) y está formado por rocas del basamento de la Sierra, con clastos de tamaño mediano a grueso. El segundo nivel aflora en el pie de casi todas las serranías de la zona.

También se encuentran desarrollados en el piedemonte oriental de la sierra de Famatina y presentan una amplia distribución areal. Zoraires (2019) ha identificado diferentes niveles de agradación para estos depósitos, que se encuentran compuestos por sedimentos clásticos poco consolidados, y reconoció conglomerados matriz-soportados de clastos subangulosos y subredondeados de metamorfitas verdes, granitos y sedimentitas rojas y blancas.

Hay un frente de estos depósitos que presenta una leve inclinación hacia el este, conformado por abanicos levantados.

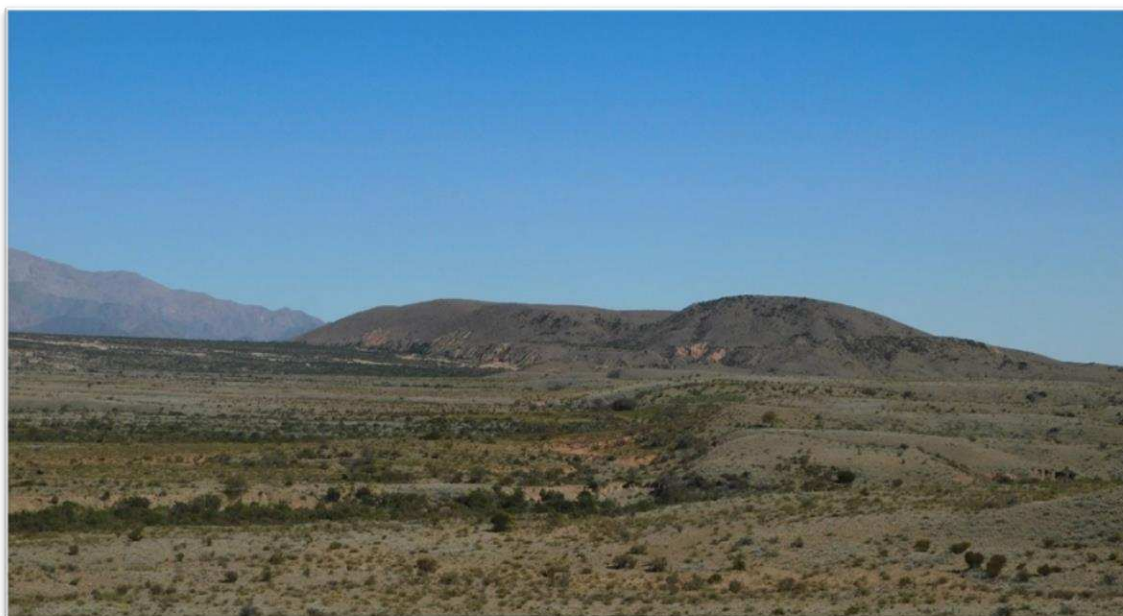


Figura 2.7. Depósitos pedemontanos antiguos que presentan inclinación hacia el Este.

Depósitos aluviales activos

Ramos (1970) describe que entre Vinchina y Villa Castelli se encuentran depósitos eólicos en el sector central del valle de Vinchina. El resto de los depósitos son de tipo aluvial, en el cual se destacan aquellos correspondientes a crecidas por su falta de selección y los grandes bloques que se encuentran.

Estos sedimentos actuales están caracterizados por materiales inconsolidados, de tamaño arena y grava, que conforman planicies aluviales, junto a algunas granulometrías más finas (arcillas) de coloración rojiza, rosada.



Figura 2.8. Granulometría areno-gravosa en el Río Grande de Valle Hermoso.



Figura 2.9. Planicie aluvial del Río Grande de Valle Hermoso.

2.2 Estructura

La región de estudio se encuentra en el marco de la provincia geológica de las Sierras Pampeanas Occidentales, y el Sistema de Famatina (Miró, 1999) que presentan características similares ya que se tratan de bloques de basamento cristalino de edad precámbrica-eopaleozoica y una cubierta sedimentaria (Jordan y Allmendinger, 1986).

Las Sierras Pampeanas Occidentales conforman una faja plegada y corrida de piel gruesa que se habría generado durante el Cenozoico tardío, producto de la deformación andina, donde el levantamiento se produce a partir de bloques de basamento (*Figura 2.9*; Ramos et al., 2002). La rotación de estos bloques habría estado controlada por niveles de despegue ubicados a distintas profundidades del basamento, generando el basculamiento a través de fallamiento de tipo lístrico e inverso (González Bonorino, 1950).

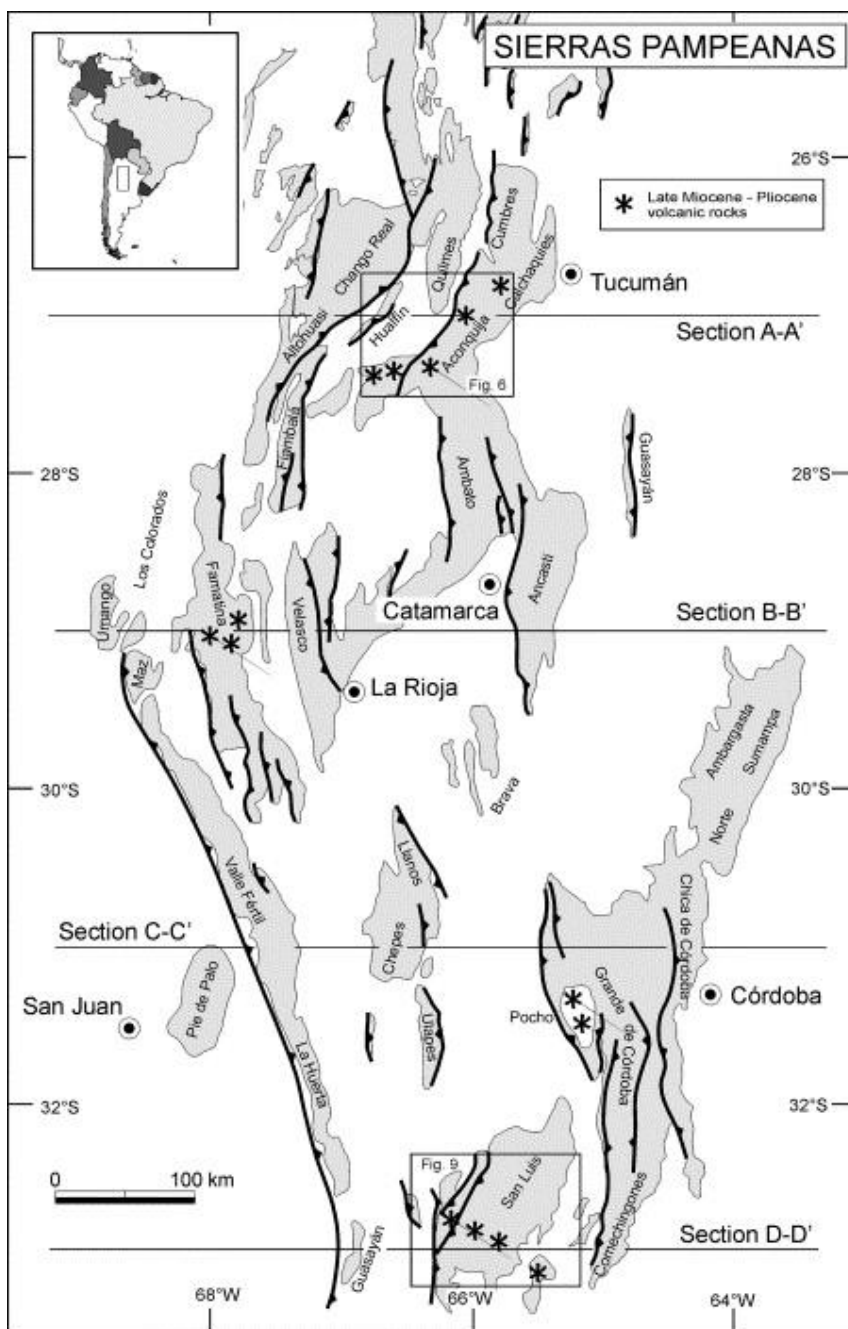


Figura 2.9. Levantamientos en las Sierras Pampeanas desarrollados por la compresión generada por la horizontalización de la placa de Nazca (tomado de Ramos et al. (2002)).

La deformación andina comienza entre el Cretácico superior y el Cenozoico inferior, y está caracterizada por cabalgamientos, fallas inversas y pliegues, de vergencia predominantemente oriental (*Figura 2.10*), presentan cuencas de antepaís asociadas, cuyo relleno registra actividad sinorogénica y que, eventualmente con el avance de la deformación hacia el este, se restringen como cuenca de *piggy back* plio-cuaternarias (Starck, 2011).

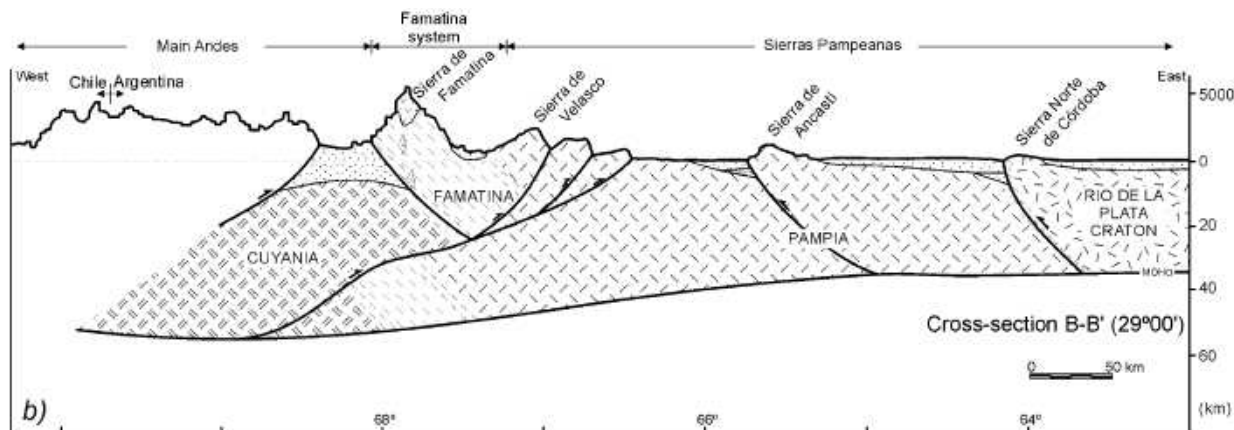


Figura 2.10. Sección estructural de las Sierras Pampeanas a la latitud 29° que muestra el levantamiento producido en el Cenozoico tardío (tomado de Ramos et al. (2002)).

Parte del área de estudio también se encuentra concentrada en el ámbito de la Sierra de Famatina cuya estructuración se habría generado a partir del régimen compresivo que se instauró desde el Mioceno en el margen de la placa Sudamericana por la subducción de la Dorsal de Juan Fernandez, en el marco de la Orogenia Andina (Yañez et al., 2002; *Figura 2.11*). Tanto la Sierra de Famatina como las Sierras Pampeanas Occidentales, se encuentran en el segmento donde la Placa de Nazca se encuentra subhorizontal, por lo que la estructura actual y sus reactivaciones neotectónicas son el reflejo de la zona de subducción horizontal pampeana (Jordan y Allmendinger (1986); Ramos et al. (2002), entre otros).

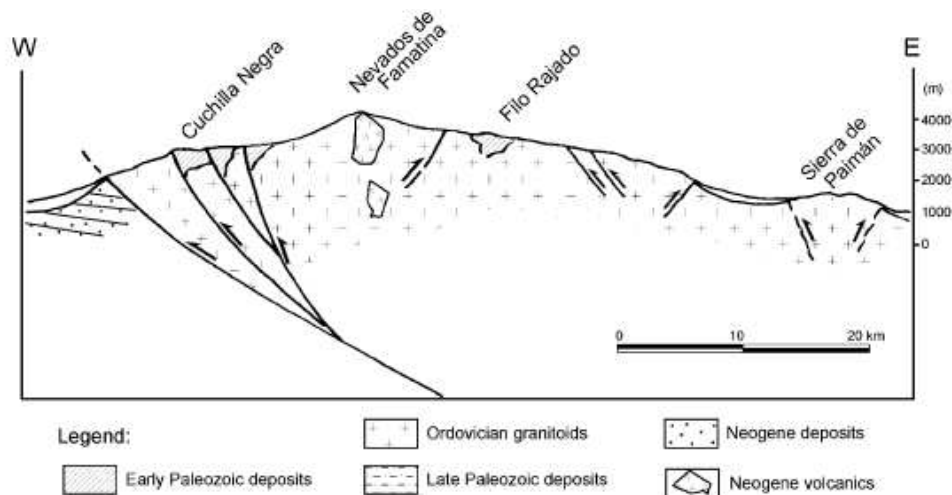


Figura 2.11. Estructura de la Sierra de Famatina mostrando la vergencia al oeste de los corrimientos andinos principales y las fallas extensionales menores del Paleozoico tardío reactivadas por la deformación Cenozoica (Ramos et al. (2002), modificado de Durand (1996)).

Durand (1996) caracteriza la estructura del Sistema de Famatina, donde describe que está conformado por un conjunto de cordones serranos de dirección NO-SE, N-S, NE-SO y otras de manera transversal con menor acomodamiento, con bloques rotados por fallas inversas de alto ángulo que ponen en contacto al basamento con la cubierta sedimentaria neopaleozoica.

En una descripción más local del área de estudio, Maisonave (1979) describe al valle intermontano del río Grande de Valle Hermoso como una zona limitada por fallas inversas y normales, entre la Sierra de Famatina y la Sierra de Toro Negro.

3. Resultados

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos con el análisis de los datos de la campaña realizada en mayo de 2023, La Rioja, Argentina.

En primer lugar, se realizó un mapa a escala 1:515000 de la zona de estudio ubicada entre los puntos 28° 16' 16,2'' S - 68° 18' 38,4'' O y 29° 4' 25,8'' S - 67° 51' 37,2'' O, en donde se recopilaban datos tomados por distintos autores y aquellos extraídos en la campaña. Entre ellos se encuentra la Hoja Geológica 2969-II de Tinogasta (Fauqué y Caminos, 2006), el mapa confeccionado por Amidon et al. (2016) y Limarino et al. (2016). Con la información relevada durante el trabajo de campo, se incluyeron nuevas estructuras y se confeccionó un mapa geológico actualizado del área de estudio (*Figura 3.1*). En la sección 3.3 se presenta un análisis de las estructuras observadas en el campo.

Se relevaron dos perfiles sedimentarios en los afloramientos mio-pliocenos de la Formación Toro Negro, en las inmediaciones del río Grande de Valle Hermoso (*Figura 3.1*) entre los puntos 28° 23' 44,1" S - 67° 58' 28,6" O; 28° 23' 32,5" S - 67° 58' 39,8" O (perfil A) y 28° 22' 54,3" S - 67° 58' 58,2" O; 28° 23' 6,2" S - 67° 59' 30" O (perfil B).

A su vez, se realizó un análisis petrográfico de 9 muestras de la Formación Toro Negro recolectadas en el campo, con la finalidad de realizar un análisis de procedencia. Se analizaron 7 muestras correspondientes al perfil A y 2 del perfil B.

Finalmente, se realizó un análisis de la estructura en las inmediaciones de Valle Hermoso, indicados con las letras A a D, y en la Sierra de Famatina, a la altura de la localidad de Villa Castelli indicada con letra E (*Figura 3.1*).

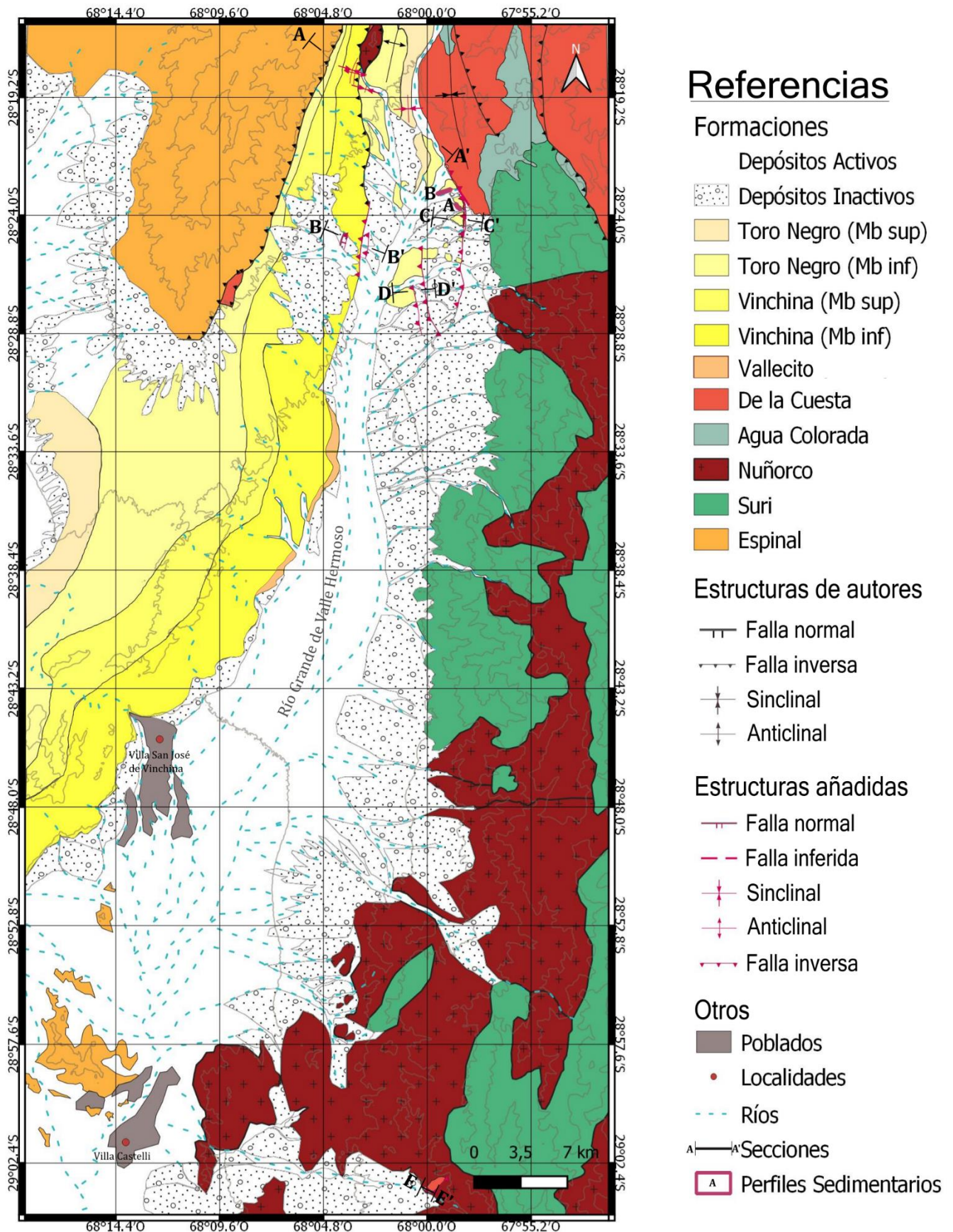


Figura 3.1. Mapa geológico de la región de estudio basado en (Fauque y Caminos, 2006; Amidon et al., 2016; Limarino et al., 2016). Las estructuras añadidas en este trabajo se presentan en color violeta. Las estructuras mapeadas por autores previos se presentan en color negro.

3.1 Análisis sedimentológico de la Formación Toro Negro

Perfil A

Se realizó un perfil sedimentario para estudiar la Formación Toro Negro, en el margen oriental del río Grande de Valle Hermoso, entre los puntos 28° 23' 44,1" S - 67° 58' 28,6" O y 28° 23' 32,5" S - 67° 58' 39,8" O, al que se denominó **Perfil A** para la descripción de este trabajo. En este sector, el contacto con las unidades infra y suprayacentes no aflora.

En los primeros 55 m se encuentra una predominancia de arenas masivas finas a gruesas (Sm), y en ocasiones con clastos aislados de gran tamaño de litologías variadas (SGm) con una intercalación recurrente de depósitos conglomerádicos clasto-soportados, masivos y con estratificación horizontal (Gcm y Gh). Hasta los 130 m se sigue observando esa intercalación, pero los depósitos conglomerádicos pasan a tener estratificación horizontal (Gh). Luego, las litofacies arenosas comienzan a ser más potentes, de hasta 20 m, y aparecen depósitos pelíticos intercalados (Fm). Es menos común la aparición de depósitos conglomerádicos, pero los hay con estratificación horizontal (Gh), y esto ocurre hasta los 209 m aproximadamente, donde aparecen bancos con geometrías lenticulares (Gcm) y estratificación horizontal (Gh), intercalados en los potentes bancos de arenas con laminación horizontal (Sm) y pelitas másivas (Fm).

A continuación, se describen las litofacies identificadas en el perfil A (*Figuras 3.2 y 3.3*) siguiendo la propuesta de Miall (1977, 1985, 2013) y se presentan los procesos e interpretaciones (*Tabla 3.1*).

Código de litofacies	Descripción	Interpretación
Gcm	Conglomerados macizos, clasto-soportados y con matriz arenosa. Prevalen los conglomerados tamaño guijarro-guijón, con fenoclastos subredondeados a angulosos de granitoides y sedimentitas ferrosas. Aparecen en cuerpos tabulares, aunque ocasionalmente presentan geometría lenticular. El espesor varía entre 0,15 y 2 m y tienen contactos basales erosivos, con geometrías planas o lenticulares, en ocasiones rellenando surcos.	Flujo hiperconcentrado no cohesivo. Presión dispersiva y carpeta tractiva.
Gm	Conglomerados macizos, clasto-soportados, con menor proporción de matriz arenosa que la anterior y geometrías tabulares con espesores de 0,5 m. Presentan fenoclastos de tamaño guijarro, donde se reconocen granitoides y sedimentitas ferrosas. Los contactos son erosivos y netos.	Flujo tractivo de alto régimen de flujo con progresiva pérdida de competencia (gradación normal).
Gh	Conglomerados tamaño guijarro, clasto-soportados, con matriz arenosa gruesa y estratificación horizontal. Los clastos son subredondeados a angulosos y se reconocen granitoides y areniscas rojas. Tienen geometría tabular, un espesor variable de 10 cm a 2 m y contactos planos.	Flujo tractivo de alto régimen.

Sm	Areniscas masivas de tamaño fino a grueso. Los bancos presentan geometría tabular y espesores que abarcan de 0,5 a 5 m. En la base se observan contactos netos.	Flujo hiperconcentrado: <ul style="list-style-type: none"> • Depositación súbita (rápida pérdida de competencia).
SGm	Areniscas mayormente masivas, pero con clastos aislados de gran tamaño. Los mismos son de granitos subangulosos a subredondeados de tamaños que van desde los 0,5 a 10 cm. Usualmente con contactos planos, aunque uno de los bancos tiene base erosiva, y es el que presenta los clastos más grandes en su base.	Flujo hiperconcentrado (sheetfloods – flujos laminares no canalizados) (Blair, 1999)
Sh	Areniscas finas a gruesas con estratificación horizontal. Se observa una clara alternancia entre capas de arena finas y arena media a gruesa. Se presentan en cuerpos tabulares que alcanzan espesores de hasta 8,5 m y contactos basales netos.	Flujo tractivo de alto régimen (arenas gruesas de alto espesor e intercaladas con conglomerados).
Fm	Bancos tabulares con bases planas de pelitas masivas, con espesores de 40-50 cm.	Flujo fluido, decantación por floculación.
Fl	Pelitas con laminación horizontal. Se observan cuerpos tabulares de 10 a 30 cm de espesor.	Decantación de material en suspensión.

Tabla 3.1. Descripción de litofacies e interpretación para el perfil sedimentario A.

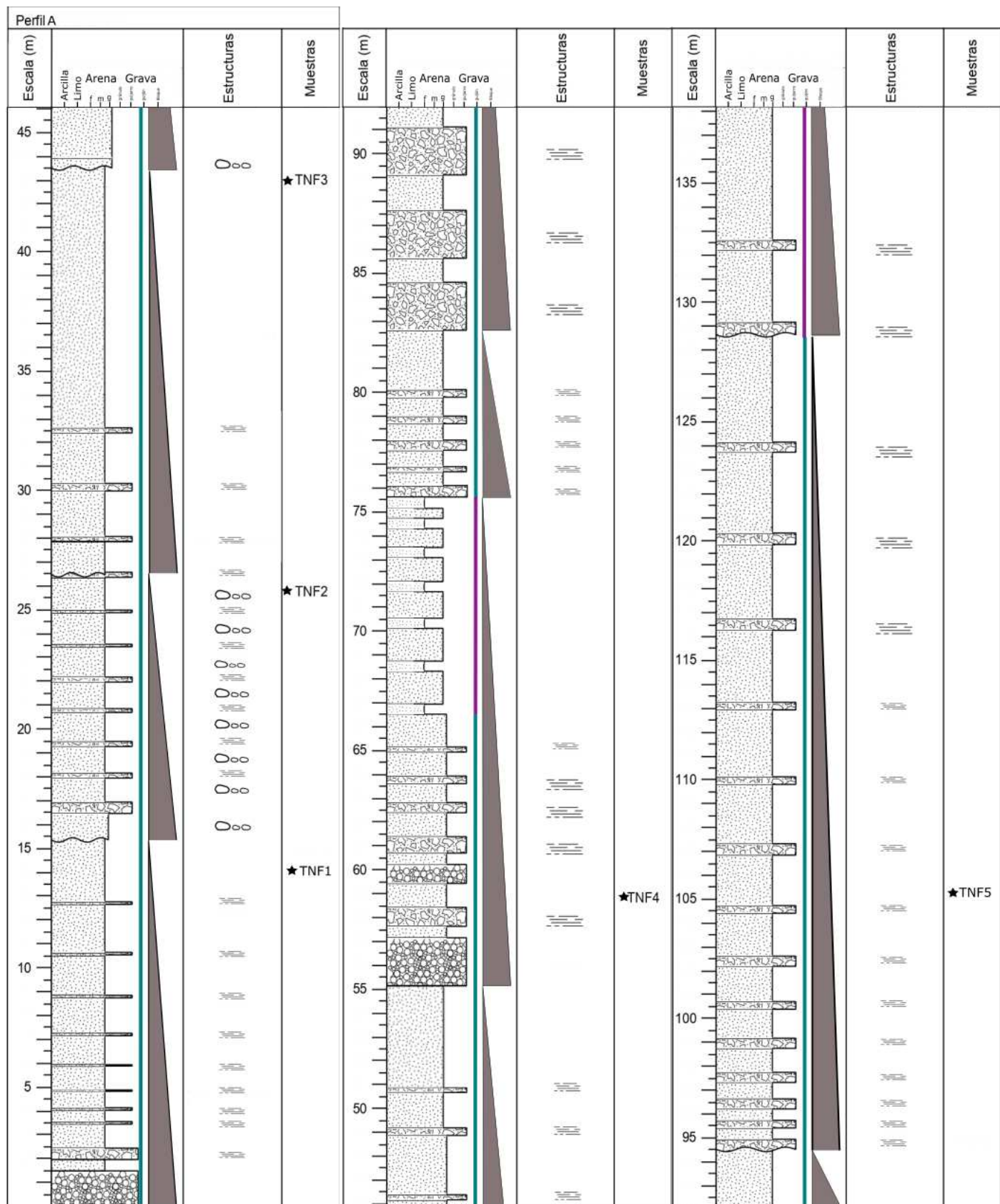


Figura 3.2. Primer sector del perfil sedimentario A, realizado en las inmediaciones de Valle Hermoso, La Rioja.

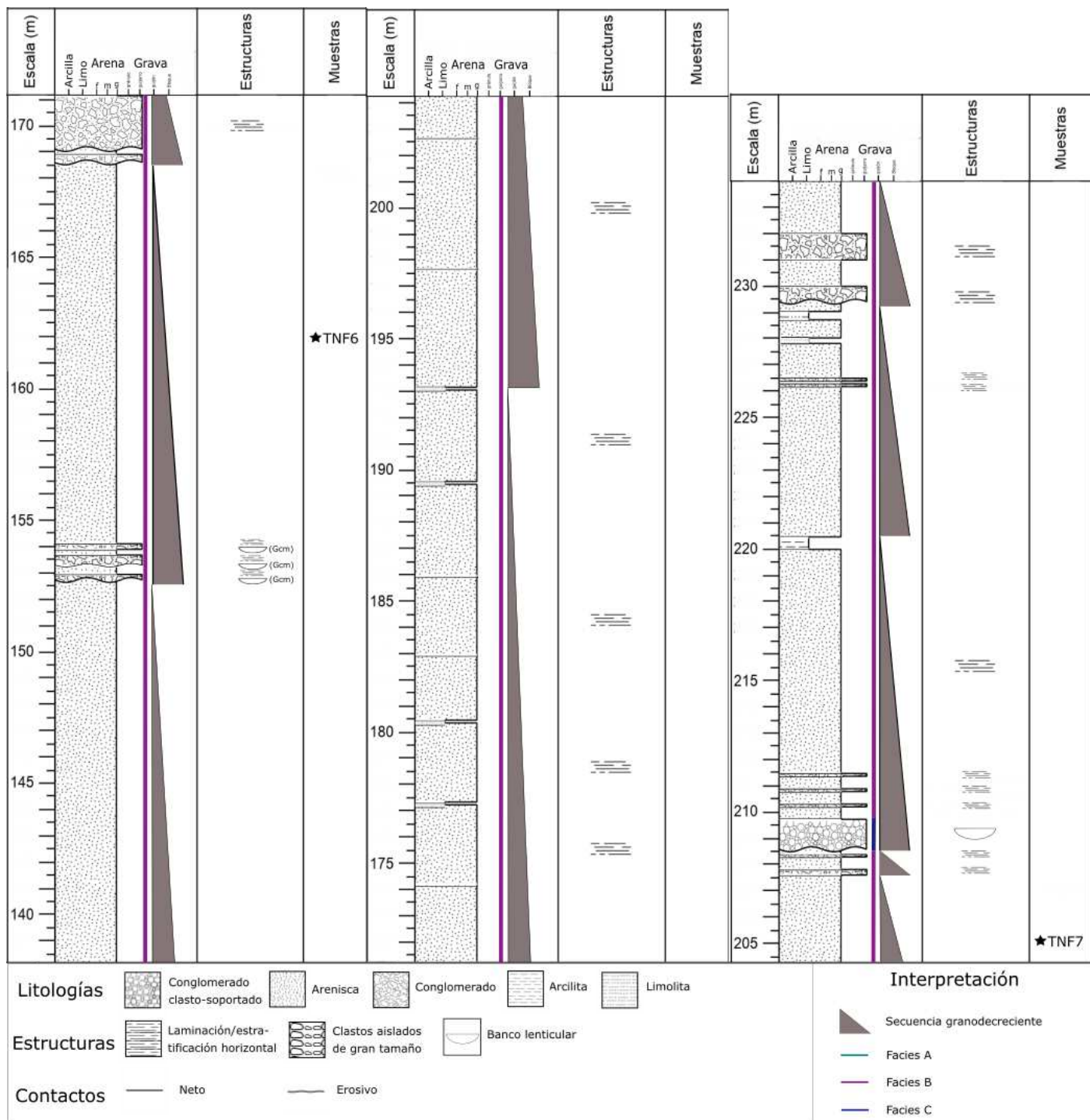


Figura 3.3. Segundo sector del perfil sedimentario A.

En la Tabla 3.2 se presentan las facies identificadas para el perfil A.

Facies	Litofacies	Descripción
A (verde)	Sm, Gcm, Gh, SGm	En esta facies predominan los bancos arenosos con una gran participación de depósitos conglomerádicos tabulares asociados a flujos mantiformes (sheetfloods). Aquellos que presentan clastos aislados de gran tamaño (SGm) son muy comunes en este tipo de flujos (Blair, 1999). También se registran lentes conglomerádicas masivas que se interpretan como “gully-fills” (Blair, 2000; ver texto).

B (violeta)	Sm >> Sh, Gh, Gm, Fl, Fm	En esta facies predominan potentes arenas masivas y con estratificación horizontal, generada por flujos mantiformes. Presenta secuencias granodecrecientes que llegan hasta tamaño pelítico por gradual pérdida de competencia. En menor medida, se registran depósitos de conglomerados asociados también a flujos mantiformes.
C (azul)	Gcm (lenticular)	Facies de conglomerados clasto-soportados con matriz arenosa y base erosiva generado por un flujo canalizado de tipo hiperconcentrado que representa relleno de canal de inundación (Gao et al., 2021; ver texto; <i>Figura 3.4</i>).

Tabla 3.2. Descripción de facies analizadas para el perfil sedimentario A.

Gao et al. (2021) describen el mismo tipo de depósitos que se interpreta en la Facies C (*Tabla 3.2*), el cual lo catalogan como conglomerados desorganizados, clasto a matriz soportados, con clastos fuera de tamaño, en estructuras masivas o de gradación normal y bases erosivas, por lo cual, su mecanismo de depositación es por flujos hiperconcentrados, siendo depósitos de inundación de canales incisos confinados.



Figura 3.4. Depósitos de flujos mantiformes arenosos. Hacia el techo se encuentra una lente clasto-soportada generada por un flujo hiperconcentrado.

Blair (2000) describe un tipo de depósitos que denomina “gully-lag” y “gully-fill” refiriéndose a surcos que fueron generados por un proceso erosivo, y posteriormente fueron rellenados por un segundo proceso. El primero corresponde a períodos inter-sheetfloods, es decir, aquellos en donde no ocurre la agradación del abanico por la depositación de flujos mantiformes. En estos períodos la superficie es retrabajada y erosionada, posiblemente por procesos eólicos. En un segundo proceso, el nuevo avance de los flujos mantiformes rellena a esos surcos con litologías Gm + Gh. Este tipo de depósitos fue hallado en el perfil A (*Figura 3.5*).



Figura 3.5. Depósitos de flujos mantiformes gravosos a los 152,5 m del perfil, zoom en los denominados “gully-fills”.

Asociación de facies	Interpretación
A + C	Al encontrarse dominado por flujos laminares no canalizados de bancos arenosos con abundante fracción conglomerádica se asocia al sector de un abanico medio a distal. Presenta una ciclicidad de sus litofacies que corresponden a distintas secuencias granodecrecientes. La asociación con la facies C de relleno de canal inciso confinado, donde se combinan estos flujos mantiformes con flujos hiperconcentrados canalizados, le otorga un carácter más proximal que la facies subsiguiente.
B	Por su naturaleza más arenosa, representa un sector más distal al frente montañoso que la facies A. Aún se encuentra dominada por flujos laminares no canalizados, pero de menor granulometría.

Tabla 3.3. Asociación de facies e interpretación del ambiente sedimentario.

Por las asociaciones de facies anteriormente descritas, se interpreta al ambiente como un abanico aluvial. Cada inicio de ciclo granodecreciente nuevo corresponde a una progradación del abanico, es decir, un proceso alocíclico en el que se produjo un levantamiento del frente montañoso por causas tectónicas, generando mayor pendiente, lo que permite el avance de este, mientras que los procesos dentro de cada secuencia son autocíclicos, donde el frente montañoso se va erosionando, por lo que el abanico retrocede, con lo cual se puede observar facies de abanico distal por encima de aquellas que representan al abanico medio (Blair y Bilodeau, 1988).

Perfil B

Este segundo perfil sedimentario, realizado hacia el NO del perfil A, entre los puntos 28° 22' 54,3" S - 67° 58' 58,2" O y 28° 23' 6,2" S - 67° 59' 30" O, comienza con depósitos muy similares en textura, color y disposición que aquellos encontrados en el final del perfil sedimentario A (*Figura 3.6A*). Los contactos con las unidades infra y suprayacentes no se encontraron en estos afloramientos. Para la descripción de este trabajo, se lo denominó **Perfil B** (*Figuras 3.7 y 3.8*).

En los primeros 180 m de este perfil se encuentran bancos arenosos masivos (Sm) finos a gruesos y de geometrías tabulares, que intercalan con algunos bancos arenosos con laminación horizontal (Sh) y un nivel tobáceo. A partir de acá y hasta los 230 m comienza una participación de lentes arenosas (Sm) y gravosas (Gcm), en las que se puede encontrar también estructuras como entrecruzadas tabular-planar (Sp), laminación horizontal (Sh), laminación ondulítica de corriente (Sr) y hasta deformación sinsedimentaria (Sd). Estas intercalan con bancos arenosos de geometría tabular. Luego, los bancos arenosos masivos comienzan a ser de mayor potencia (>20 m) hasta los 300 m, donde empiezan a intercalarse con pelitas masivas (Fm) para armar arreglos estratocrecientes. En este último tramo, dos niveles de tobas fueron identificados.

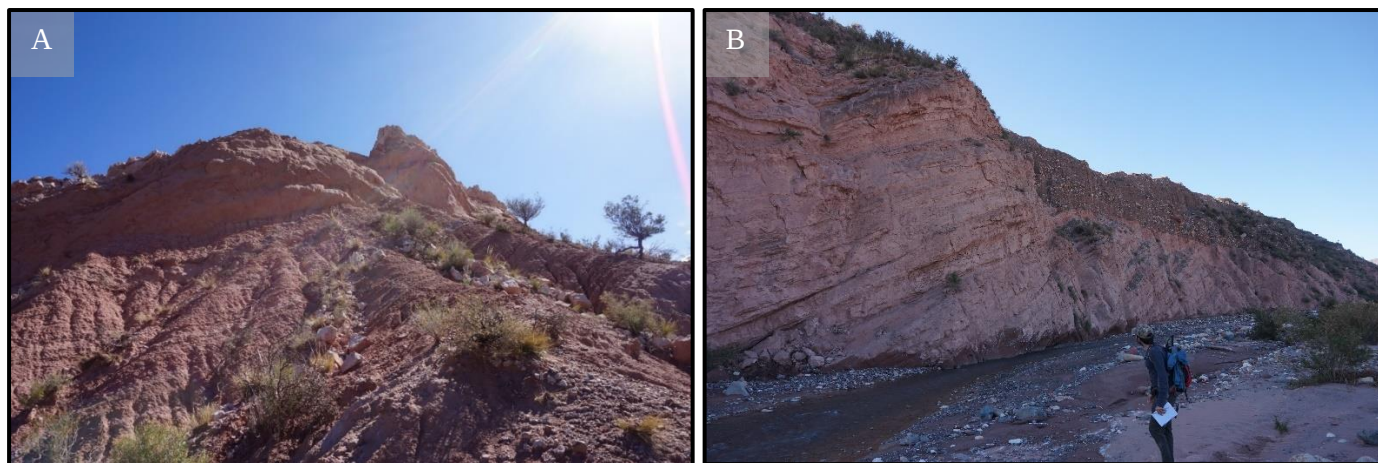


Figura 3.6. Depósitos de flujos mantiformes arenosos. (A) Inicio del perfil B, similar al final del perfil A. (B) Perfil B a aproximadamente 130 m.

En la Tabla 3.4 se encuentran los detalles de las litofacies reconocidas con sus respectivas descripciones e interpretación. El análisis del ambiente sedimentario se encuentra en las Tablas 3.5 y 3.6.

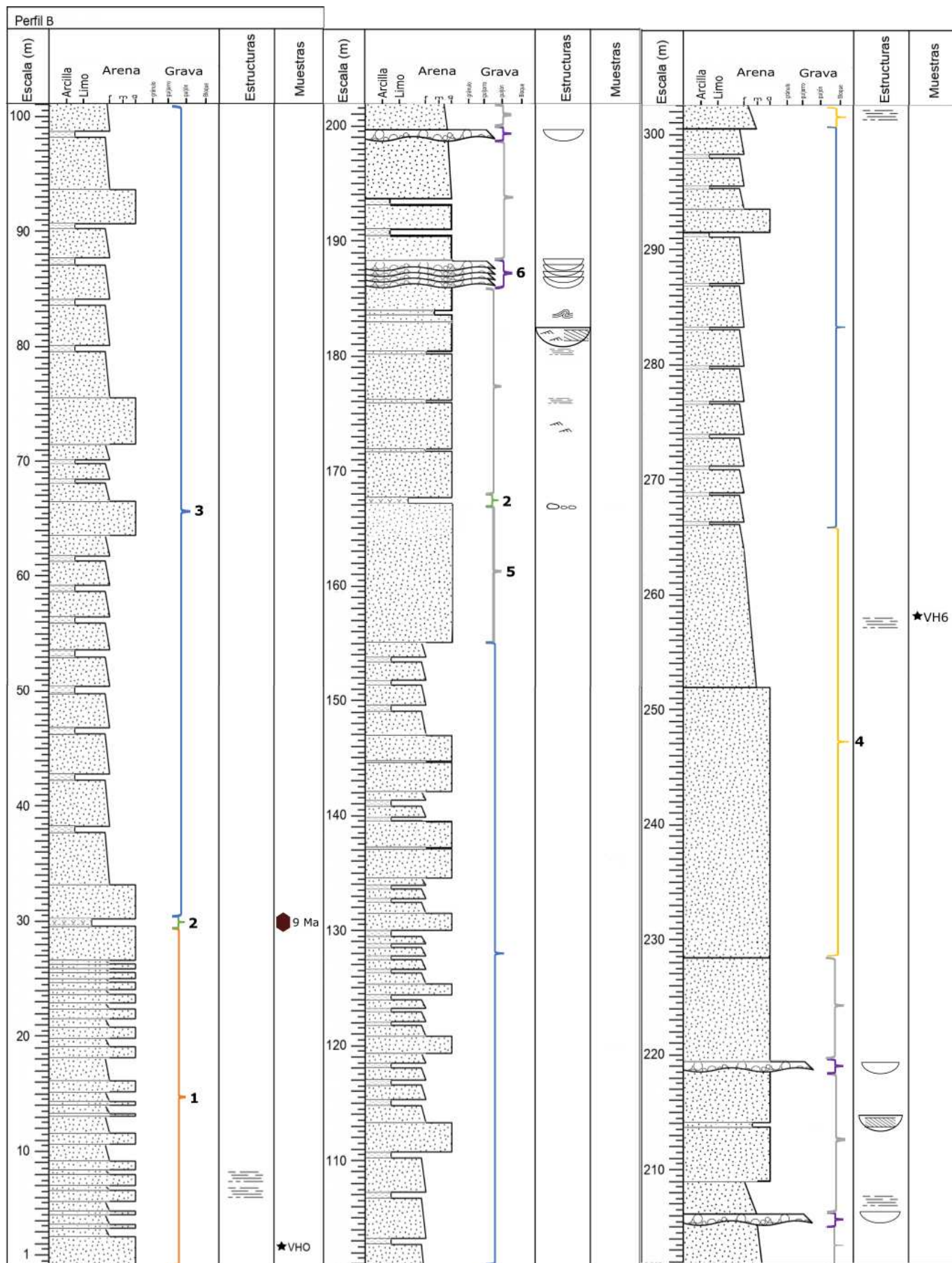


Figura 3.7. Primer sector del perfil sedimentario B, realizado en las inmediaciones de Valle Hermoso, La Rioja. La datación corresponde a una nueva edad U-Pb reportada en el punto 28° 22' 55,5" S - 67° 59' 0,2" O (Sarah Thomas; comunicación personal).

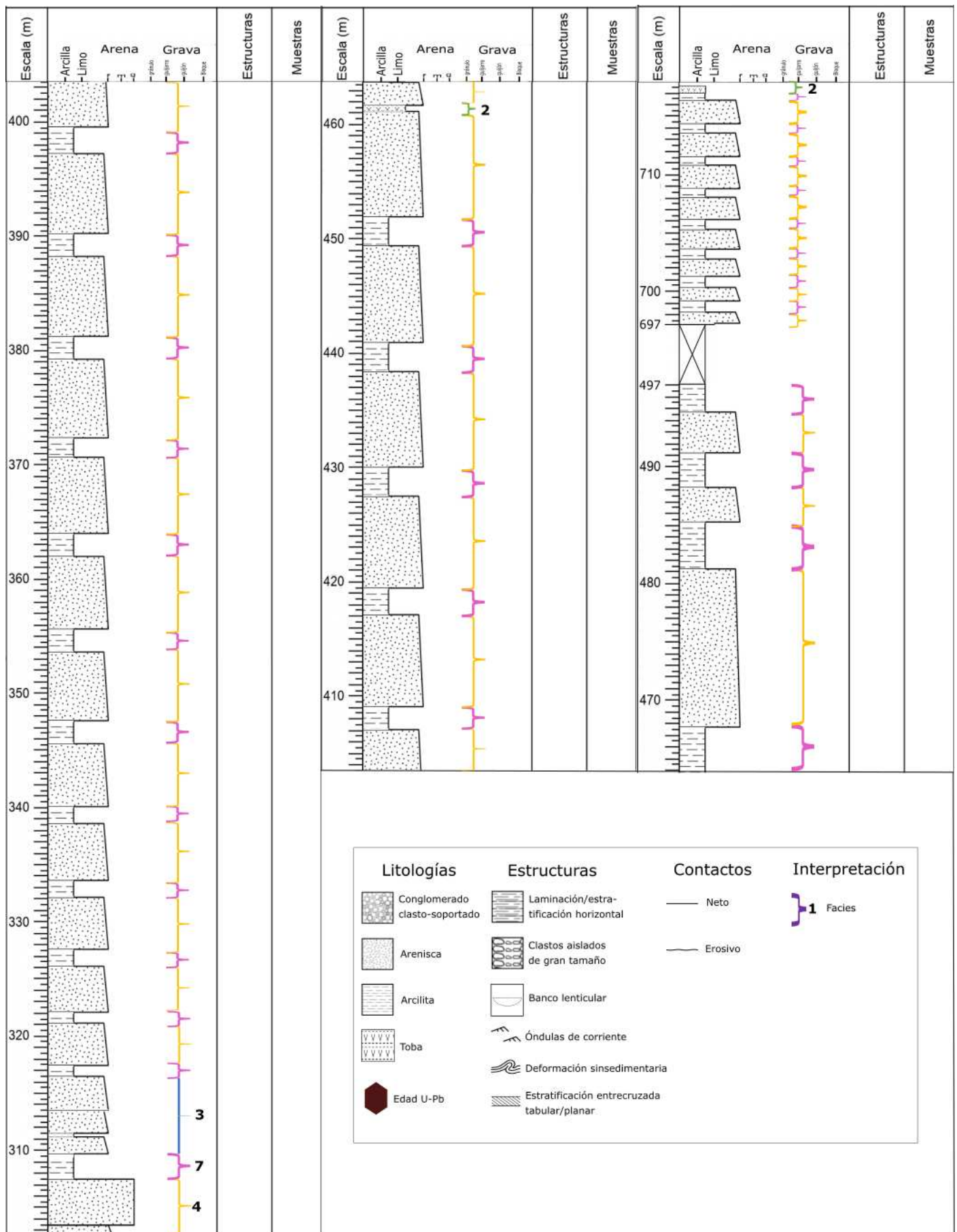


Figura 3.8. Segundo sector del perfil sedimentario B. El sector que contiene la cobertura vegetal fue realizado en otra escala (1:10000) para facilitar la visualización. Ver texto para la descripción de las facies.

Código de litofacies	Descripción	Interpretación
Gcm	Conglomerados macizos, clasto-soportados y con matriz arenosa. Se describen conglomerados tamaño guijón a guijarro, con fenoclastos subredondeados a angulosos de granitoides y sedimentitas ferrosas. Se presentan en cuerpos lenticulares de 0,5 a 0,8 m de espesor, con bases erosivas.	Flujo hiperconcentrado no cohesivo. Presión dispersiva y carpeta tractiva.
Sm	Areniscas masivas de tamaño fino a grueso. Los bancos presentan geometría tabular y espesores que abarcan de 0,5 a 5 m. En la base se observan contactos netos.	Flujo hiperconcentrado (por asociación a Gcm). <ul style="list-style-type: none"> • Depositación súbita (rápida pérdida de competencia).
SGm	Areniscas mayormente masivas, pero con clastos aislados de gran tamaño que corresponden a granitos subangulosos a subredondeados de tamaños que van de 1 a 7 cm. Presenta geometría tabular y contactos planos a levemente erosivos.	Flujo hiperconcentrado (sheetfloods – flujos laminares no canalizados)
Sh	Areniscas finas a gruesas con estratificación horizontal. Se presentan en cuerpos tabulares que alcanzan hasta 15 m de potencia y contactos basales netos.	Flujo tractivo de bajo régimen.
Sp	Areniscas gruesas con estratificación entrecruzada tabular-planar. Se encuentran dentro de cuerpos lenticulares que alcanzan espesores de hasta 2 m y contactos basales netos a levemente erosivos.	Flujo tractivo de bajo régimen. Migración de megaóndula/óndula de crestas rectas.
Sr	Areniscas finas con laminación ondulítica de corriente, asociadas a las Sp, en bancos lenticulares.	Flujo tractivo de bajo régimen. Migración de óndulas de corriente.
Sd	Areniscas gruesas con deformación sinsedimentaria. Se encuentran en bancos de geometría lenticular de hasta 1 m de potencia, con contactos erosivos.	Areniscas con deformación sinsedimentaria, producto de una rápida deposición sobre un sustrato saturado en agua.
Fm	Bancos tabulares con bases planas de pelitas masivas, con espesores que van desde los 40 cm hasta 4 m.	Decantación por floculación.

Tabla 3.4. Descripción de litofacies e interpretación para el perfil sedimentario B.

A continuación, se hace una descripción detallada de las facies analizadas:

Facies 1

Esta facies presenta una predominancia en bancos arenosos de coloraciones amarillentas/amarronadas, que gradan desde bancos de granulometría gruesa masiva (Sm) y con estratificación horizontal (Sh), con un promedio de 1 m de potencia, hasta bancos de granulometrías medias a finas (Sm) que llegan hasta 1,5 m de potencia.

Facies 2

Banco tabular correspondiente a un evento eruptivo, representado por tobas.

Facies 3

Ciclos grano-estratodecrecientes arenosos de fracción gruesa a fina (Sm) que van desde los 40 cm a 5 m de potencia, y que alcanzan hasta fracción pelítica (Fm) de hasta 0,4 m de espesor. Se presentan en bancos tabulares con contactos netos.

Facies 4

Bancos arenosos más potentes que la facies anterior, con característica estratocreciente. Además de Sm, algunos bancos presentan estratificación horizontal (Sh). Se presenta sobre todo en el segundo sector del perfil.

Facies 5

Está constituida por una alternancia de depósitos arenosos gruesos, medios-finos y pelíticos. Los bancos arenosos gruesos aparecen masivos (Sm) con algunos clastos fuera de tamaño de granitos y sedimentitas ferrosas, subredondeados de 1 a 7 cm (SGm), con estratificación entrecruzada de tipo tabular planar (Sp) o con laminación ondulítica de corriente (Sr) (*Figura 3.9*), y con leve geometría lenticular (*Figura 3.10A*). Entre ellas intercala un banco de granulometría media con deformación sinsedimentaria (Sd) (*Figura 3.10B*). Las pelitas son de color castaño y masivas (Fm) con una potencia de 0,4 m. Las arenosas de granulometría más finas se presentan masivas o con una leve laminación horizontal (Sh). La potencia de estos depósitos puede alcanzar los 12 m y la geometría externa general es tabular.

Facies 6

La Facies 6 se caracteriza por el desarrollo de cuerpos lenticulares de hasta 0,5 m de potencia. Internamente las lentes se encuentran conformadas por facies gravosas clasto-soportadas con matriz arenosa de granulometrías gruesas a medias (*Figura 3.11*). La base de estos depósitos puede ser cóncava y erosiva.

Facies 7

Esta facies se encuentra conformada por pelitas masivas (Fm) de color pardo. Conforman cuerpos muy continuos y tabulares con potencias que varían entre 0,3 a 2,5 m de espesor. Se encuentran en la segunda parte del perfil.

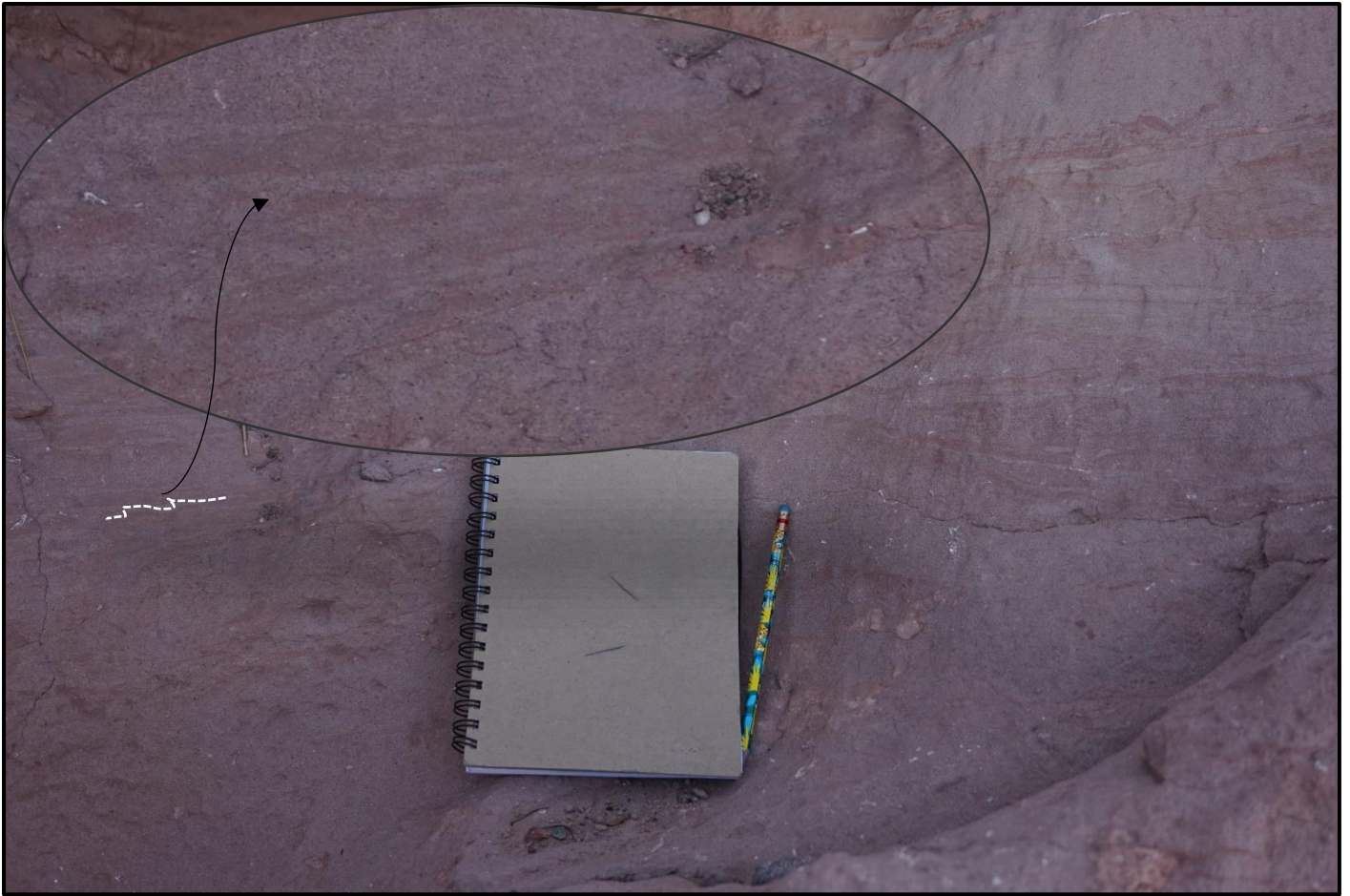


Figura 3.9. Intercalación de areniscas masivas (S_m) con areniscas con laminación ondulítica de corriente (S_r) de la facies 5, indicada con la flecha.

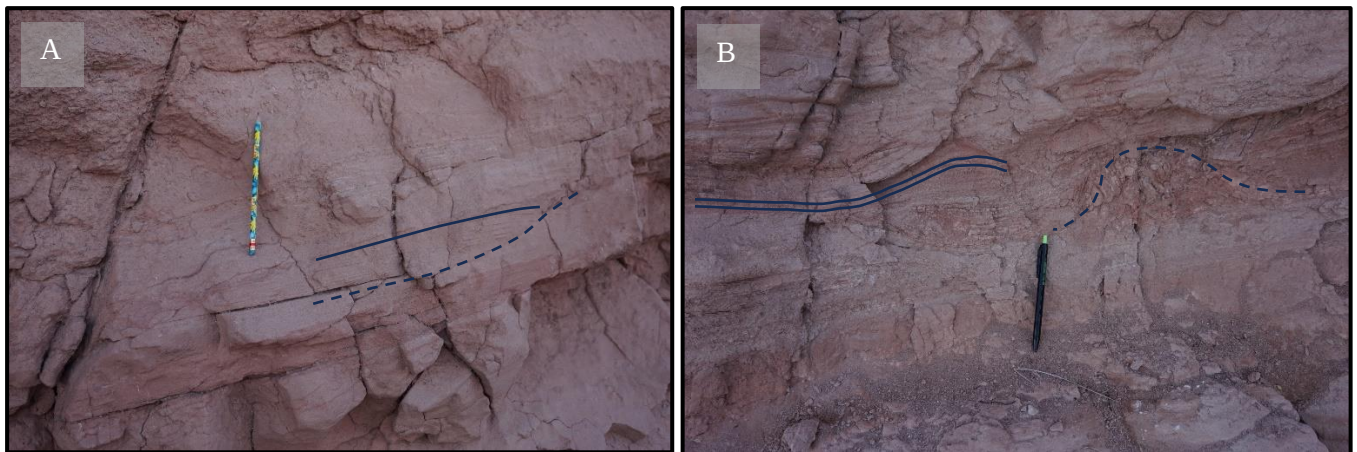


Figura 3.10. (A) Estratificación horizontal (línea sólida), forma lenticular indicada en línea punteada. (B) Estratificación entrecruzada tabular planar (S_p) generada por la migración de megaóndulas (línea sólida) y deformación sinsedimentaria (línea punteada).



Figura 3.11. (A) Banco lenticular de conglomerados observado en el perfil B a los 187 m (escala con persona). (B) En su interior se observan superficies de erosión y bases de canales (líneas punteadas), posiblemente pertenecientes a depósitos de inundación de canales incisos confinados, producto de flujos hiperconcentrados.

Facies	Litofacies	Descripción
1	Sm, Sh	Facies asociada a flujos mantiformes (sheetfloods) que presenta abundancia en depósitos arenosos tabulares con textura más rugosa a los que se depositan por encima. Representa la parte distal de un abanico (conectando con el sector final del perfil A) o planicie arenosa (sandflat).
2	Toba	Evento eruptivo que genera depósitos volcánicos intercalados en las secuencias.
3	Sm, Fm	Depósitos generados por flujos mantiformes (sheetfloods) que se muestran grano y estratodecrecientes a medida que pierden competencia. Podría corresponder a una planicie arenosa y fangosa.
4	Sm >> Sh	Depósitos arenosos formados por flujos mantiformes (Sm y Sh). Responden a un arreglo estratocreciente por la progradación.
5	Sm > SGm, Sp, Sr, Sd, Sh, Fm	Depósitos de flujos mantiformes (sheetfloods) arenosos con zonas localizadas donde se canalizan (Sm, Sh, SGm), y se produce la migración de algunas megaóndulas de crestas rectas (Sp), óndulas de corriente (Sr) y floculación (Fm). La rápida depositación sobre sustratos saturados en agua produjo la deformación sinsedimentaria (Sd).
6	Gcm (lenticular)	Depósitos de lentes amalgamadas de canales incisos gravosos.
7	Fm	Depósitos finales de flujos mantiformes (sheetfloods) en una planicie fangosa, decantación de finos por pérdida de competencia.

Tabla 3.5. Facies con su interpretación.

Asociación de facies	Interpretación
1	Flujos mantiformes del sector más distal de un abanico aluvial distal, por su característica arenosa y su relación con el perfil A.
2	Evento eruptivo aislado, depósitos tobáceos.
3 + 4 + 5 + 6 + 7	Flujos mantiformes que representan una planicie arenosa (sandflat) donde predominan los depósitos distales de corrientes efímeras no canalizados (sheetfloods) y planicie fangosa (mudflat).

Tabla 3.6. Asociación de facies para perfil sedimentario B.

Por lo analizado en las tablas 3.5 y 3.6, se establece que el perfil corresponde al sector más distal de un abanico aluvial distal con predominancia en arreglos arenosos que transiciona a una planicie arenosa (sandflat) con corrientes fluviales efímeras, en menor medida mudflat, y con intercalación de sedimentación volcánicoclástica.

3.2 Análisis petrográfico

Se tomaron 9 muestras de areniscas en los perfiles realizados en la Formación Toro Negro. Dichas muestras se enumeraron como: TNF1-7 de base a techo para las muestras tomadas en el perfil A (*Figuras 3.2 y 3.3*) y VH0 y VH6 que corresponden a muestras tomadas en el perfil B (*Figura 3.7*). Para cada una de las muestras se realizó un conteo de clastos de areniscas. La metodología consiste en la observación y reconocimiento de los cortes petrográficos pertenecientes a dichas muestras, y contar de manera aleatoria 300 puntos correspondientes a clastos con distinta composición según el método Gazzi-Dickinson para minimizar el efecto del tamaño del grano en las modas, y donde los minerales de tamaño mayor a 62 μm se contaron como monominerales, aunque estuviesen dentro de un fragmento lítico (Ingersoll et al., 1984). Para obtener una buena representación de la fracción clástica, se utilizó el contador automático de puntos Swift conectado a una platina mecánica en el microscopio óptico.

La composición de los clastos se diferenció en 12 categorías que se encuentran descritas en la *Tabla 3.7*. En las *Tablas 3.8 y 3.9* se presentan los resultados de los conteos de las muestras TNF1-7 del perfil A y VH0 y VH6 del perfil B.

Para llevar a cabo la clasificación de las muestras de areniscas según su composición modal, de acuerdo con los diagramas de clasificación de Folk et al. (1970), y para caracterizar la procedencia según los diagramas de discriminación del área de aporte de Dickinson et al. (1983), se debieron agrupar las 12 categorías en 3 categorías principales, cuarzo (Qz), feldespatos y plagioclasas (F) y fragmentos líticos (L). Los valores recalculados para realizar estos gráficos se encuentran en las *Tablas 3.10, 3.11, 3.12 y 3.13*.

Las muestras correspondientes al perfil A enumeradas TNF1-5 y TNF7 se clasificaron como litoarenitas feldespáticas, mientras que la muestra TNF6 se encuentra en el campo de feldarenita lítica según Folk et al. (1970) (*Figura 3.12A*). La muestra VH0 perteneciente al perfil sedimentario B cayó en el campo de litoarenita feldespática, mientras que la muestra VH6 en el de feldarenita lítica (*Figura 3.12B*).

Se realizaron dos diagramas de Dickinson et al. (1983), tanto para el perfil sedimentario A como para el B, en los cuales la diferencia consiste en la ampliación del campo continental y la subdivisión del orógeno reciclado en cuarzoso, lítico y transicional. Para el primero, en el diagrama de Qt-F-L las muestras se hallan divididas en dos campos: TNF1, TNF3 y TNF6 se encuentran en el campo de arco disectado, y las muestras TNF2, TNF4, TNF5 y TNF7 en el de arco transicional (*Figura 3.13A*). En el diagrama Qm-F-L, únicamente la muestra TNF3 se movió al campo de arco transicional, mientras que las muestras TNF1 y TNF6 permanecen en el campo de arco disectado, y las muestras TNF2, TNF4, TNF5 y TNF7 en el de arco transicional (*Figura 3.13B*). Para el perfil B, las tendencias en los dos diagramas son similares: la muestra VH0 se halla en el límite entre el campo de arco disectado y arco transicional, mientras que la muestra VH6 se encuentra en el campo de arco transicional (*Figura 3.14*).

Categoría	Definición	Descripción
Qm	Cuarzo monocristalino	En clastos subangulosos a subredondeados con extinción normal y ondulosa. También se encuentra como clasto de granitos, cuarcitas con tamaños que van de 0,02 a 0,08 mm, y algunas volcanitas ácidas.

Qp	Cuarzo policristalino	Clastos con subcristales de cuarzo que presentan tamaños variables entre 0,05 y 0,2 mm. Se presentan también en cuarcitas.
Fm	Feldespatos potásico, variedad microclino	En clastos subangulosos a angulosos, con macla en arpillera y con alteración a sericita y arcillas.
Fo	Feldespatos potásico, variedad ortosa	En clastos subangulosos a angulosos y como fenocristal en granitoides. Algunos ejemplares presentan alteración a sericita y arcillas, incluso a carbonatos.
Fi	Feldespatos con intercrecimientos de plagioclase y feldespato potásico	En clastos subangulosos a angulosos y también como fenocristal en líticas plutónicas. Presenta alteración a arcillas y sericita.
Pg	Plagioclase	En clastos subangulosos o como fenocristal en volcanitas básicas y en escasos líticas plutónicas. Presenta macla polisintética, de dos individuos y en peine. Alteración a arcillas y carbonatos.
Lva	Líticas volcánicas ácidas	Integran aquellos con texturas vitrofíricas, granulares, seriados, microgranosa y afírica con texturas de desvitrificación. En textura porfírica presenta fenocristales de cuarzo y feldespato potásico (con sus alteraciones) y pasta con textura microgranosa. Algunos ejemplares alterados a carbonatos y con pátinas de óxidos.
Lvb	Líticas volcánicas básicas a intermedios	Con textura porfírica presenta fenocristales de plagioclase muy alterada, y minerales opacos con pastas insertales y pilotácicas (estas últimas sin fenocristales también). También pátinas de óxidos.
Ls	Líticas sedimentarias	Con cristales de cuarzo, feldespatos (con sus alteraciones), minerales accesorios. Generalmente con pátinas de óxidos.
Lp	Líticas plutónicas	Granitoides con textura equigranular, de grano fino, con cristales alotriomorfos e inequigranulares de feldespatos, cuarzo y minerales accesorios. También se reconoce textura gráfica.
Lmm	Líticas metamórficas	Esquistos y gneises con cristales orientados en una dirección preferencial.
Acc	Minerales accesorios	Se incluyen muscovita, biotita, piroxenos, anfíboles y minerales opacos.
Qt	Cuarzo total	$Qm + Qp$
F	Feldespatos totales	$Fm + Fo + Fi + Pg$
L	Líticas totales	$Lva + Lvb + Lp + Ls + Lmm$
Lt	Líticas totales con cuarzo policristalino	$Lva + Lvb + Lp + Ls + Lmm + Qp$

Tabla 3.7. Composición petrográfica para las muestras de la Formación Toro Negro tomadas en perfil A y B, y agrupamiento para clasificación.

Muestra		Qm	Qp	Fmi	Fo	Fi	Pg	Lva	Lvb	Ls	Lp	Lmm	Acc
TNF1	Num	89	8	11	34	16	27	49	8	3	35	4	16
	%	29,7	2,7	3,7	11,3	5,3	9,0	16,3	2,7	1,0	11,7	1,3	5,3
TNF2	Num	56	9	2	22	26	17	69	2	5	60	5	27
	%	18,7	3,0	0,7	7,3	8,7	5,7	23,0	0,7	1,7	20,0	1,7	9,0
TNF3	Num	66	15	3	40	28	19	58	3	8	31	1	28
	%	22,0	5,0	1,0	13,3	9,3	6,3	19,3	1,0	2,7	10,3	0,3	9,3
TNF4	Num	69	2	0	34	18	23	53	16	4	61	0	20
	%	23,0	0,7	0,0	11,3	6,0	7,7	17,7	5,3	1,3	20,3	0,0	6,7
TNF5	Num	58	5	8	45	19	33	40	8	3	61	1	19
	%	19,3	1,7	2,7	15,0	6,3	11,0	13,3	2,7	1,0	20,3	0,3	6,3
TNF6	Num	80	4	3	80	6	16	33	8	6	41	3	20
	%	26,7	1,3	1,0	26,7	2,0	5,3	11,0	2,7	2,0	13,7	1,0	6,7
TNF7	Num	64	4	4	53	12	32	59	14	3	33	11	11
	%	21,3	1,3	1,3	17,7	4,0	10,7	19,7	4,7	1,0	11,0	3,7	3,7

Tabla 3.8. Resultados del conteo de puntos para las muestras del perfil A de la Formación Toro Negro.

Muestra		Qm	Qp	Fmi	Fo	Fi	Pg	Lva	Lvb	Ls	Lp	Lmm	Acc
VH0	Num	75	7	7	58	5	25	47	12	2	51	2	9
	%	25,0	2,3	2,3	19,3	1,7	8,3	15,7	4,0	0,7	17,0	0,7	3,0
VH6	Num	32	1	1	79	0	53	52	26	1	34	0	21
	%	10,7	0,3	0,3	26,3	0,0	17,7	17,3	8,7	0,3	11,3	0,0	7,0

Tabla 3.9. Resultados del conteo de puntos para las muestras del perfil B de la Formación Toro Negro.

Muestra (%)	Qm	Qp	Fmi	Fo	Fi	Pg	Lva	Lvb	Ls	Lmm
TNF1	31,4	2,9	3,9	11,9	5,6	9,5	17,2	2,9	1,1	12,4
TNF2	20,5	3,3	0,8	8,0	9,6	6,3	25,3	0,8	1,9	22,0
TNF3	24,3	5,5	1,1	14,7	10,3	6,9	21,3	1,1	3,0	11,4
TNF4	24,7	0,8	0,0	12,1	6,4	8,3	19,0	5,7	1,4	21,8
TNF5	20,6	1,8	2,9	16,0	6,7	11,7	14,2	2,9	1,1	21,7
TNF6	28,6	1,4	1,1	28,6	2,1	5,7	11,8	2,9	2,1	14,7
TNF7	22,1	1,3	1,3	18,4	4,1	11,1	20,4	4,9	1,0	11,4

Tabla 3.10. Porcentajes recalculados para el conteo de clastos del perfil sedimentario A.

Muestra (%)	Qm	Qp	Fmi	Fo	Fi	Pg	Lva	Lvb	Ls	Lmm
VH0	25,8	2,4	2,4	19,9	1,8	8,6	16,2	4,1	0,7	17,5
VH6	11,5	0,3	0,3	28,3	0,0	19,0	18,6	9,4	0,3	12,2

Tabla 3.11. Porcentajes recalculados para el conteo de clastos del perfil sedimentario B.

	Diagrama Qt-F-L			Diagrama Qm-F-Lt		
Muestra	Qt	F	L	Qm	F	Lt
TNF1	34,2	30,9	34,8	31,4	30,9	37,7
TNF2	23,8	24,6	51,8	20,5	24,6	55,1
TNF3	29,8	33,0	37,0	24,3	33,0	42,6
TNF4	25,4	26,8	47,8	24,7	26,8	48,6
TNF5	22,4	37,4	40,1	20,6	37,4	41,9
TNF6	30,0	37,5	32,6	28,6	37,5	34,0
TNF7	23,4	35,0	41,6	22,1	35,0	42,9

Tabla 3.12. Resultados del conteo de puntos de las muestras extraídas en el perfil sedimentario A, agrupados para su clasificación en los diagramas de Folk et al. (1970) y Dickinson et al. (1983).

	Diagrama Qt-F-L			Diagrama Qm-F-Lt		
Muestra	Qt	F	L	Qm	F	Lt
VH0	28,1	32,6	39,3	25,8	34,9	41,6
VH6	11,8	47,6	40,4	11,5	48,0	40,8

Tabla 3.13. Resultados del conteo de puntos de las muestras extraídas en el perfil sedimentario B, agrupados para su clasificación en los diagramas de Folk et al. (1970) y Dickinson et al. (1983).

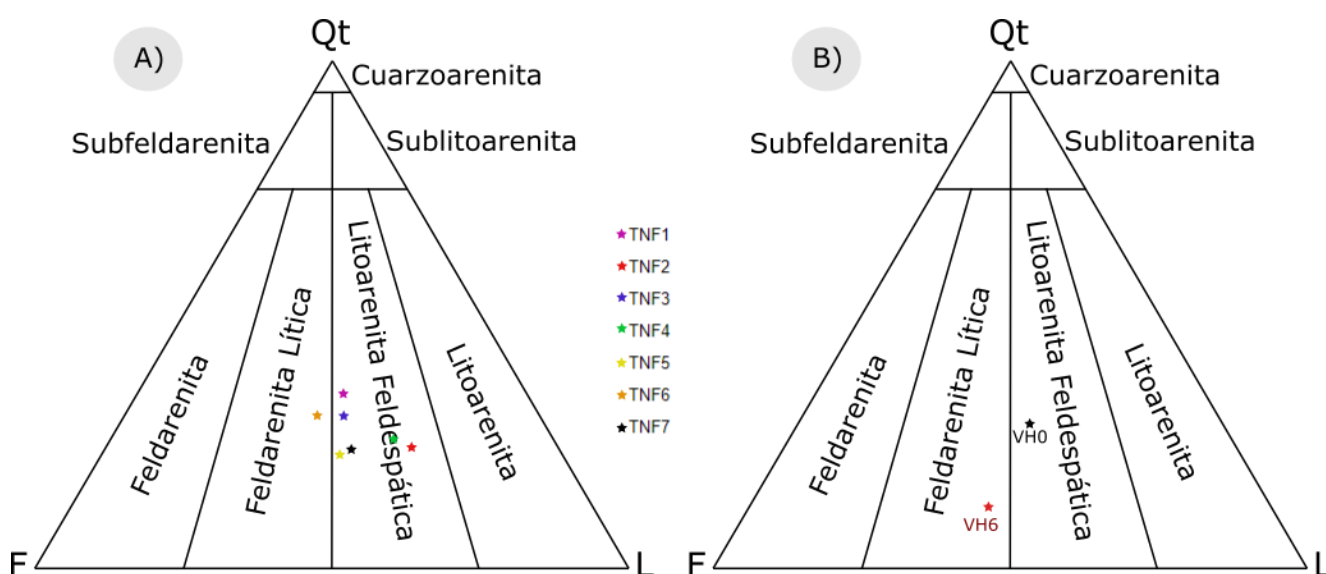


Figura 3.12. Diagrama de clasificación de areniscas (Folk et al., 1970). A) Perfil A; B) Perfil B.

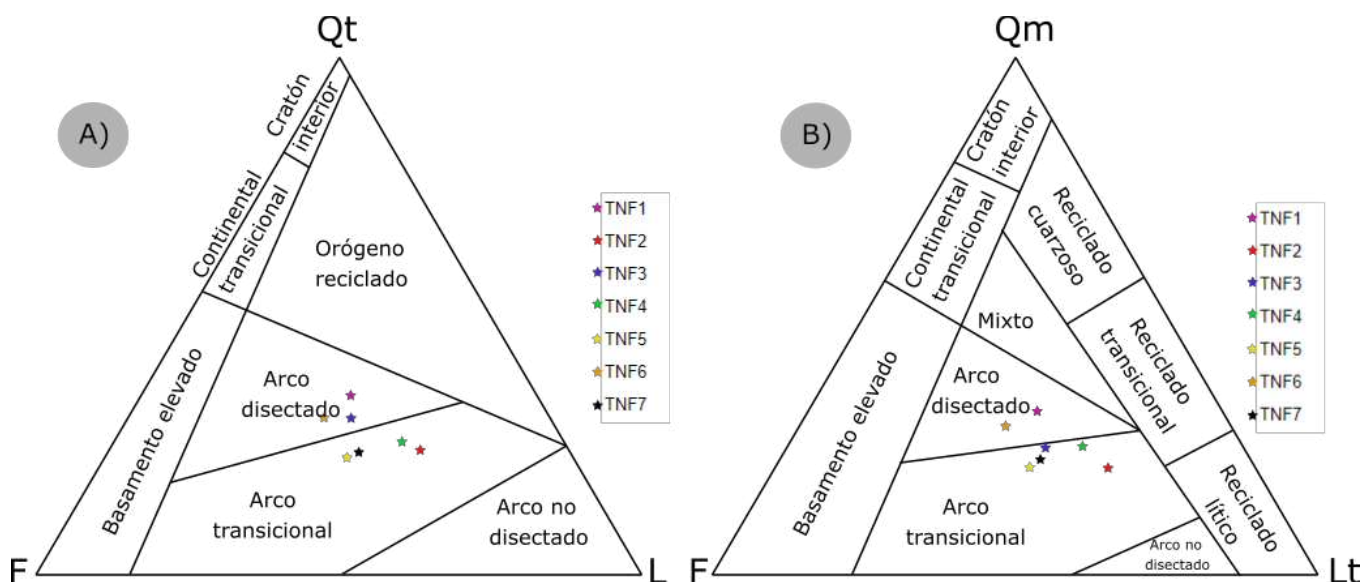


Figura 3.13. Diagramas de discriminación de áreas de aporte de Dickinson et al. (1983) en perfil A.

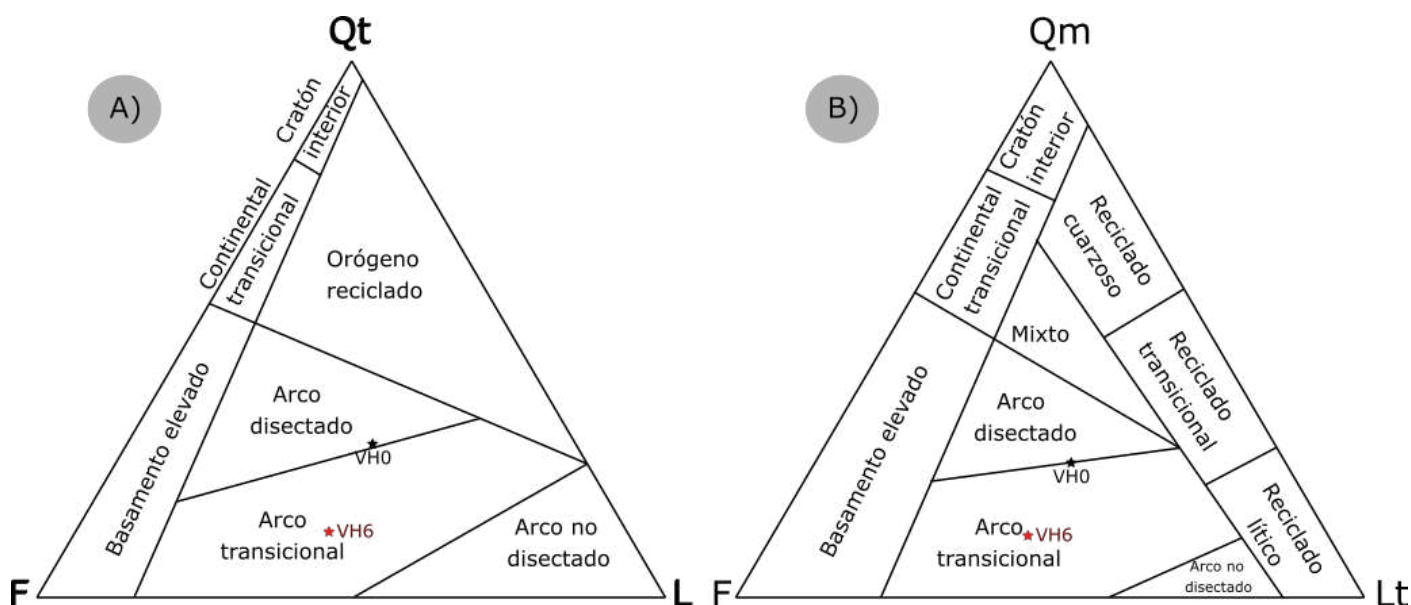


Figura 3.14. Diagramas de discriminación de áreas de aporte de Dickinson et al. (1983) en perfil B.

Respecto a lo que proponen Dickinson et al. (1983), las areniscas con una procedencia de arcos magmáticos reflejan el aporte de áreas relacionadas a márgenes activos (zonas de subducción), tanto sobre corteza continental como oceánica. Cuando el arco no está disectado, la erosión de las secuencias volcánicas trae arenas con mucho porcentaje de líticos volcánicos, una relación plagioclase > feldespato potásico y poco cuarzo monocristalino. Por otro lado, el campo de arco disectado indica el cese del volcanismo o una tasa de erosión mayor a la tasa de apilamiento volcánico, que se refleja en un aumento de cuarzo y feldespato potásico en relación a la proporción de líticos volcánicos.

Para complementar los diagramas de Dickinson et al. (1983), se optó por graficar uno de los diagramas ternarios complementarios de Dickinson y Suczek (1979). Los valores recalculados para el mismo se encuentran en la Tabla 3.14. Dicho diagrama QmPK (Figura 3.15) da información acerca del grado de madurez mineralógica de las areniscas, que

aumenta desde la base del triángulo, representada por arenitas plagioclásicas derivadas de arcos magmáticos, hacia aquellas arenitas cuarzosas maduras derivadas de bloques continentales u orógenos reciclados cuarzosos que se encuentra en el vértice superior. El índice Fk/Pg da información acerca de cuánto aporte es de índole plutónico vs. cuánto aporte es volcánico.

De acuerdo con los datos obtenidos se puede observar que todas las muestras, exceptuando la VH6, presentan un contenido $Qm + Fk > Pg$, lo que le otorga un carácter de orógeno reciclado y no tanto de arco magmático, y en cuanto la muestra VH6 se encuentra en un campo mixto. El incremento en feldespatos en esta última puede deberse a su ubicación en el perfil, con la aparición de los niveles tobáceos, por lo que hay una mayor participación volcánica que pueda estar aportando estos individuos.

	Muestra	Diagrama Qm-Pg-Fk		
		Qm	Pg	Fk
Perfil A	TNF1	50,3	15,3	34,4
	TNF2	45,7	13,9	40,8
	TNF3	42,2	12,1	45,3
	TNF4	47,9	16,0	36,0
	TNF5	35,5	20,2	44,1
	TNF6	43,3	8,6	48,2
	TNF7	38,7	19,5	41,8
Perfil B	VH0	41,9	13,9	39,1
	VH6	11,5	19,0	28,6

Tabla 3.14. Valores recalculados para el Diagrama QmPF de Dickinson y Suczek (1979).

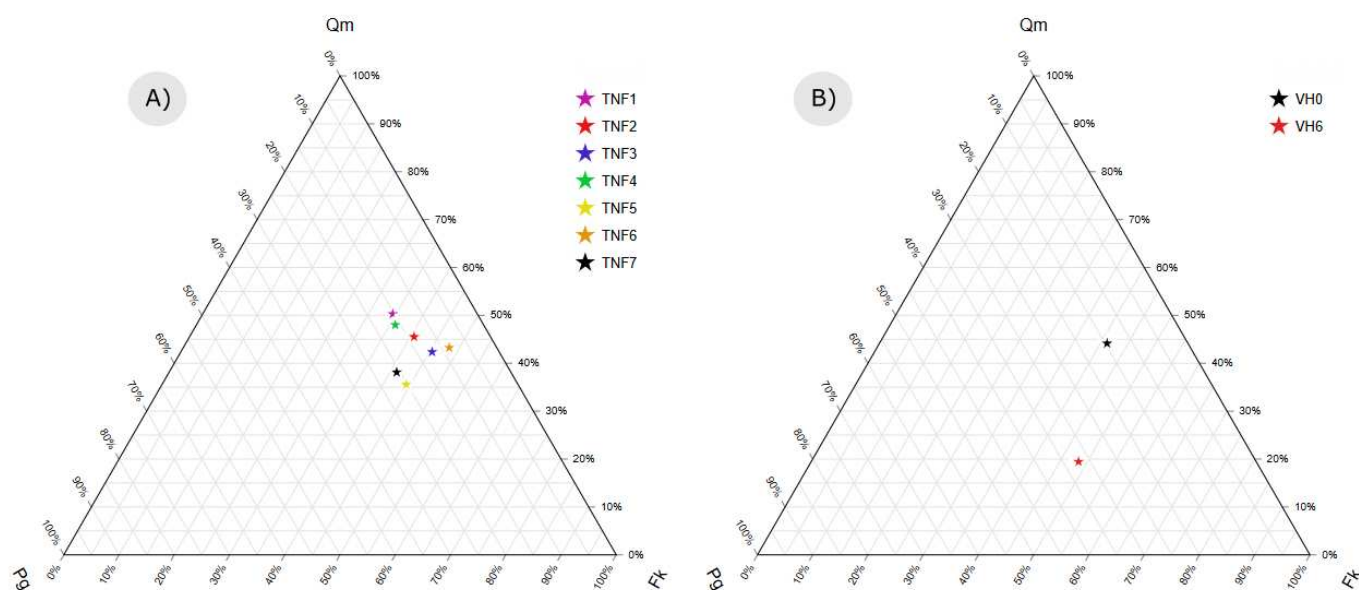


Figura 3.15. Modificado de diagrama QmPF de Dickinson y Suczek (1979). A) Perfil A; B) Perfil B. Qm: cuarzo monocrystalino, Pg: plagioclase, Fk: feldspar potásico.

Por todo lo analizado anteriormente, se establece que hay múltiples áreas fuente para las areniscas analizadas, por lo que es necesario realizar diagramas que regeneren los componentes modales. Para intentar determinar la procedencia de la Formación Toro Negro, se llevó a cabo una recopilación de las unidades presentes en las sierras adyacentes al

depocentro de Vinchina y la composición de cada una de ellas. Para ello, se agruparon distintos litoclastos que fueran lo suficientemente representativos de las potenciales áreas fuente, caracterizados en la *Tabla 3.15*.

Área fuente	Unidades presentes	Representantes de los componentes modales
Sierra de Famatina	Granitos (Formación Nuñorco) y areniscas pérmicas (Formación De la Cuesta) y ordovícicas (Formación Suri) + rocas volcánicas ácidas de la Formación Morado.	Lp + Fm + Fi + Lva + Ls
Sierra de Toro Negro	Rocas metamórficas (Formación Espinal) + rocas volcánicas básicas a intermedias de la Formación Las Planchadas	Lmm + Qp + Lvb + Pg
Mixto (se encuentra en ambas sierras)	Formación Vaquerano y Formación Río Tendal	Lva + Lvb (volcanismo bimodal)

Tabla 3.15. Principales características de las potenciales áreas fuente.

Las formaciones mencionadas en la *Tabla 3.15* presentan características litológicas que podrían estar aportando sedimentos a la Formación Toro Negro: la Formación Las Planchadas (Ordovícico) consta de andesitas, dacitas, tobas y volcanoclastitas, la Formación Morado (Ordovícico) presenta riodacitas y traquitas, y las formaciones Vaquerano y Río Tendal (Triásico Medio a Superior) se encuentran como intrusivos en ambas sierras, presentando pórfidos basálticos, sieníticos y pórfidos riolíticos, dacíticos respectivamente. Como estas últimas dos formaciones se encuentran en ambas sierras no se puede discriminar el aporte, por lo que se optó excluirlas para el recalcu de los componentes modales. Dichos valores recalculados se encuentran en la *Tabla 3.16*, y se utilizaron para conformar la *Figura 3.16*.

	Muestra	Sierras (%)	
		Famatina	Toro Negro
Perfil A	TNF1	70,8	29,2
	TNF2	83,2	17,1
	TNF3	76,9	22,7
	TNF4	76,8	23,2
	TNF5	73,4	26,4
	TNF6	74,4	25,8
	TNF7	64,5	35,5
Perfil B	VH0	71,0	29,0
	VH6	52,1	47,7

Tabla 3.16. Componentes modales regenerados para establecer áreas de aporte.

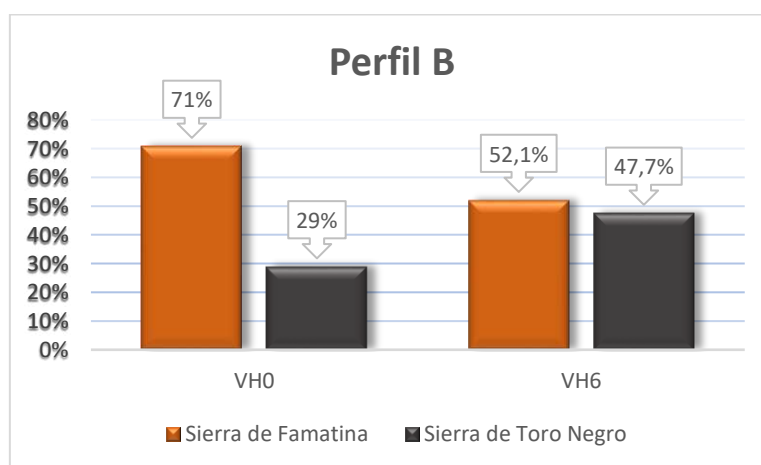
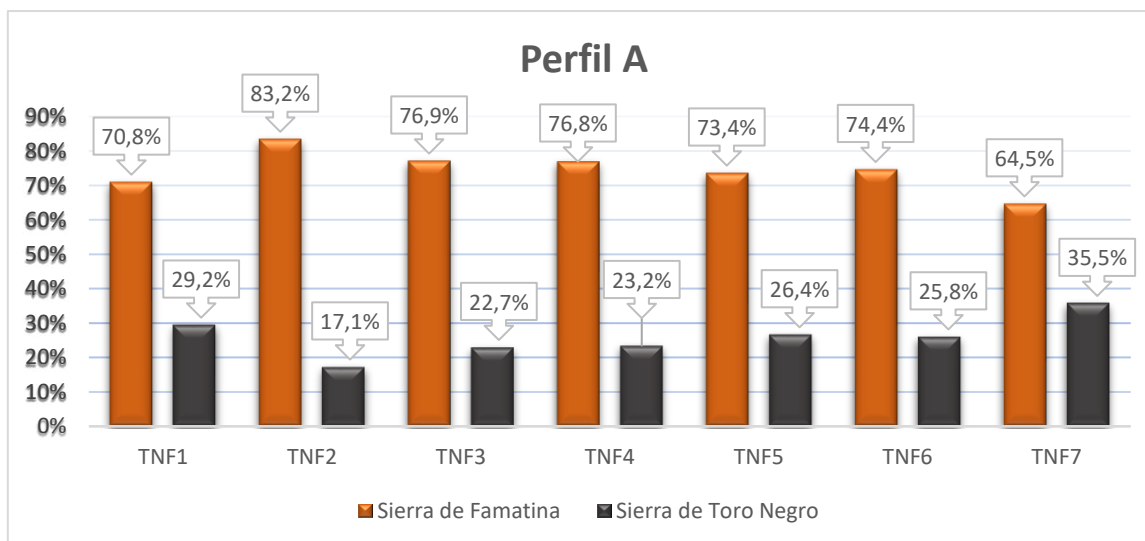


Figura 3.16. Gráficos de barra que representan los componentes modales de cada potencial área de aporte.

El resultado obtenido en los gráficos de barra muestra una tendencia en el aporte generado por la Sierra de Famatina caracterizándola como la zona de aporte principal. En la *Figura 3.17* se muestra el detalle de las áreas de aporte.

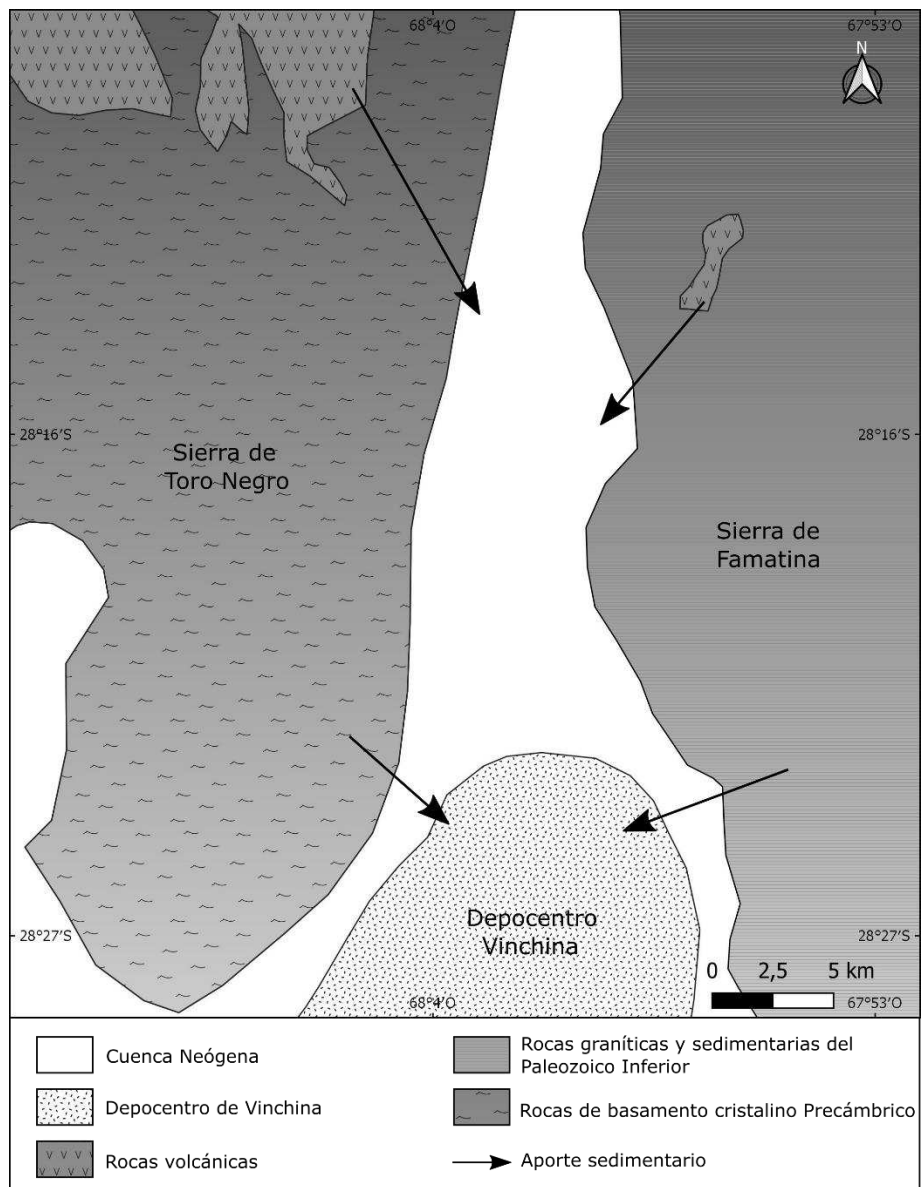


Figura 3.17. Potenciales áreas de procedencia para la Formación Toro Negro.

3.3 Estructura y neotectónica en Valle Hermoso

La región de estudio se encuentra en los alrededores del río Grande de Valle Hermoso (RGVH), particularmente en su sector norte. Allí se han encontrado afloramientos de las unidades sedimentarias mio-pliocenas que se ven afectadas por fallamientos y pliegues asociados a los procesos tectónicos del Ciclo Ándico y procesos neotectónicos. Al recorrer las diferentes quebradas que conectan con el río principal se fueron descubriendo nuevas estructuras. Dichas quebradas serán divididas por sectores a lo largo de este capítulo para poder hacer un estudio más detallado, según su ubicación respecto al margen del río (*Figura 3.18*).



*Figura 3.18. Imagen satelital de la región de estudio. **Mo-SNO**: margen occidental, sector Noroeste; **Mo-SSO**: margen occidental, sector Sudoeste; **Me-SNE**: margen oriental, sector Noreste; **Me-SSE**: margen oriental, sector Sudeste.*

3.3.1 Margen occidental del RGVH

A) Sector NO

Esta sección describe el paso por distintas estructuras desde el río Grande de Valle Hermoso hasta las cercanías de la Sierra de Toro Negro, trazando una transecta en dirección SE-NO.

En primer lugar, se localizó el eje de un sinclinal de rumbo NO-SE que pliega a las sedimentitas de la Formación Toro Negro, con actitud $325^{\circ}/15^{\circ}\text{SE}$ en su limbo frontal y ubicado en el punto $28^{\circ} 19' 6.5'' \text{ S} - 68^{\circ} 01' 17.3'' \text{ O}$ (*Figura 3.19*).



Figura 3.19. Sinclinal plegando a sedimentitas de la Formación Toro Negro (en línea punteada se indica inclinación de estratos).

Luego, se atravesaron depósitos de granulometría muy fina y gran extensión areal que podrían atribuirse a paleoambientes de lagos ($28^{\circ} 19' 6,8''$ S - $68^{\circ} 1' 17''$ O). Estos depósitos presentan una marcada incisión por parte del río, como se puede observar en la *Figura 3.20*, lo que indicaría un cambio en el nivel de base, que podría atribuirse a un levantamiento tectónico.



Figura 3.20. Incisión fluvial en depósitos de paleolagos.

Continuando el paso por la quebrada, se localizó en la ladera sur (margen occidental de la quebrada) una secuencia de seis fallas neotectónicas, donde la Formación Toro Negro se apoya sobre el Cuaternario en un contacto tectónico. Las fallas son paralelas a las capas con vergencia al Este, y coinciden con los depósitos intercalados de granulometría fina, como las pelitas. Este tipo de mecanismo se conoce como flexodeslizamiento, y se genera en los limbos de los pliegues conformados por la alternancia de capas con distinta competencia reológica, como areniscas y pelitas (Tanner, 1989) (*Figura 3.21*). En la *Tabla 3.17* se enumeran dichas fallas de oeste a este con sus respectivas ubicaciones GPS.

Falla	BF1	TF1	TF2	TF3	TF4	TF5	BF6
Lat.	28° 18' 57,5"	28° 18' 57,8"	28° 18' 58,2"	28° 19' 2,2"	28° 19' 2,8"	28° 19' 3,1"	28° 18' 53,5"
Long.	68° 2' 22,4"	68° 2' 21,9"	68° 2' 21,1"	68° 2' 15,2"	68° 2' 14,4"	68° 2' 14,1"	68° 2' 29,3"

Tabla 3.17. Datos GPS de las fallas neotectónicas localizadas en el margen occidental de la quebrada. BF: Base de falla, TF: Techo de falla. Notar que la falla 6 fue medida con posterioridad, y está ubicada al oeste de la falla 1.



Figura 3.21. Fallas flexodeslizadas, dejando a la Formación Toro Negro (TN) por encima de los depósitos plio-cuaternarios (Qt).

Siguiendo el camino de la quebrada, se pudo divisar una falla tectónica que pone en contacto tectónico a la Formación Vinchina, de coloraciones más rojizas-pardas, sobre secuencias más jóvenes, que podrían ser de edad pliocena a pleistocena (punto GPS: 28° 18' 27" S - 68° 3' 10,6" O (Figura 3.22). Aproximadamente 300 metros más hacia el oeste se encuentra un pliegue apretado con una actitud de 350°/80°SE para el limbo frontal y, asociado al mismo, un sinclinal de arrastre (Figura 3.23). Por la posición, el pliegue podría corresponder a un anticlinal que rompió su limbo frontal a través de la falla que se encontró anteriormente (Figura 3.22).

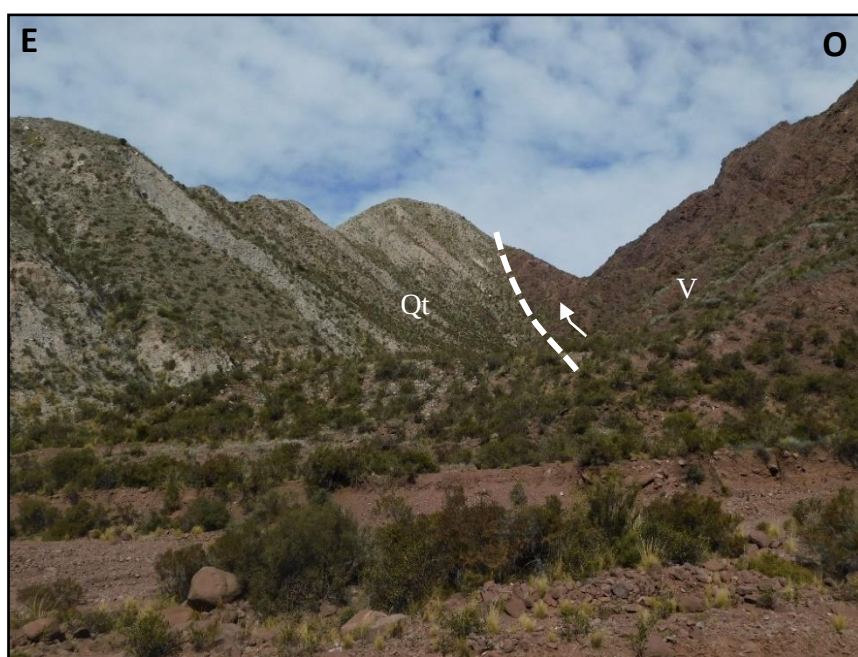


Figura 3.22. Falla que pone en contacto tectónico la Formación Vinchina (V) sobre los depósitos plio-cuaternarios (Qt).



Figura 3.23. Vista hacia el sur del pliegue anticlinal apretado hallado en las sedimentitas miocenas (Formación Vinchina). También se encuentra un sinclinal de arrastre.

La Formación Vinchina presenta una apariencia grano y estrato-creciente a medida que nos acercamos a la Sierra de Toro Negro, por lo cual se infiere una posición más proximal hacia la Sierra. Esto coincide con la propuesta de Schencman et al. (2018), quienes proponen a la Sierra de Toro Negro como el área de aporte para la Formación Vinchina.

A.1) Sección estructural

A continuación, se presenta un modelo estructural para explicar las estructuras observadas en los afloramientos atravesados en la quebrada. La transecta A-A' de orientación NO-SE incide de manera perpendicular al rumbo de las estructuras descriptas e indicadas en el mapa (*Figura 3.24*). La sección A-A' muestra una zona triangular, donde se encuentra el corrimiento principal que levanta a la Sierra de Toro Negro en el lado occidental, y aquella que levanta la Sierra de Famatina en el lado oriental (*Figura 3.25*).

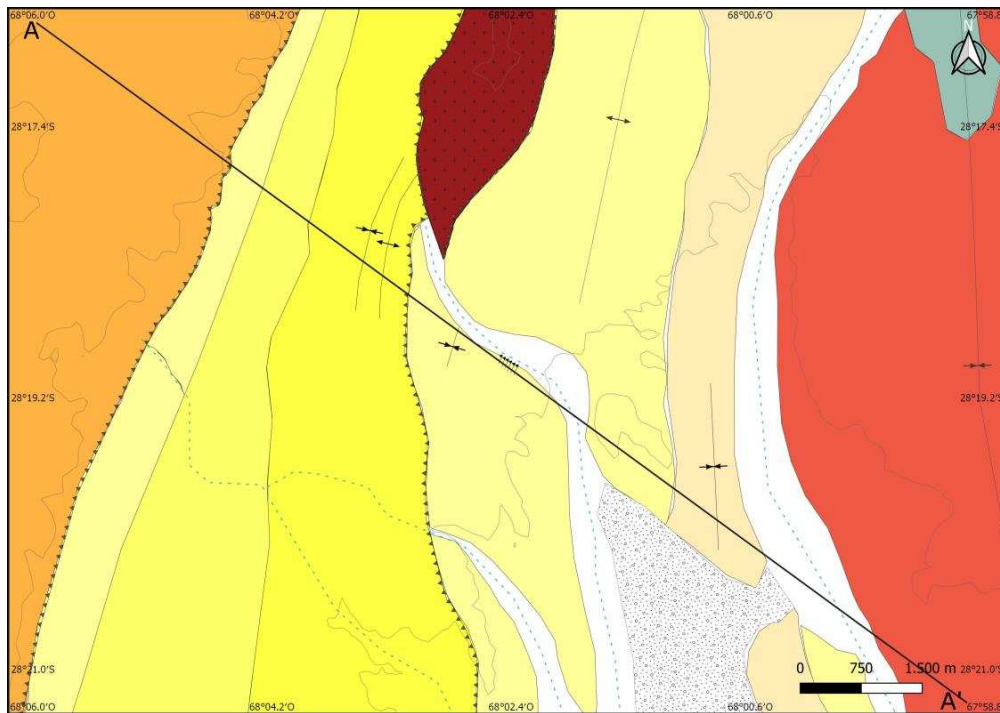


Figura 3.24. Sector norte del mapa geológico, indicando transecta A-A'.

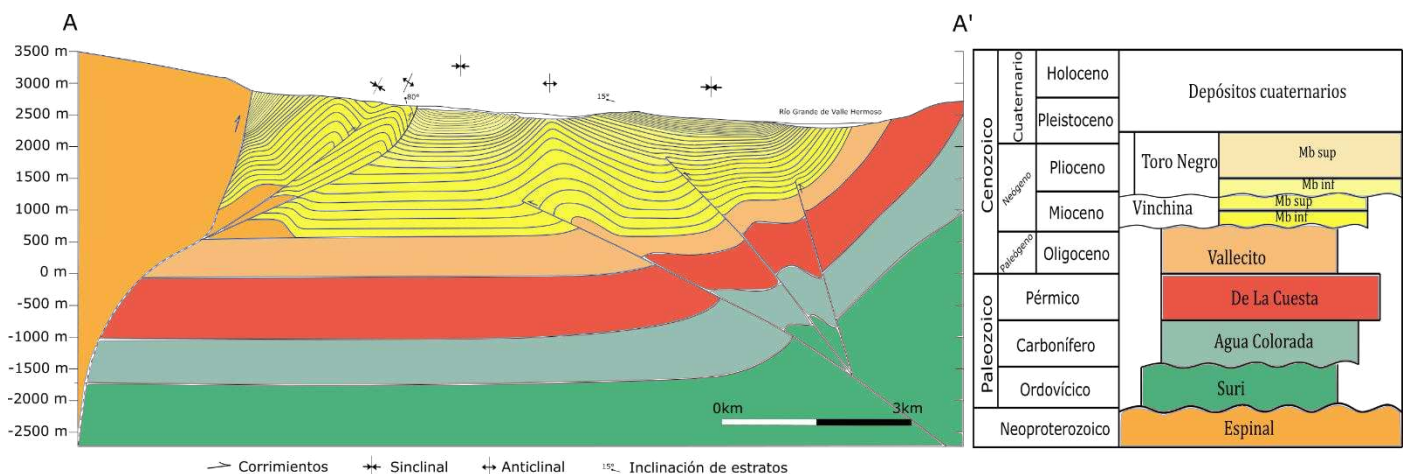


Figura 3.25. Sección estructural A-A', realizada en sentido NO-SE sobre el margen occidental del Río Grande de Valle Hermoso, provincia de La Rioja (ver Figura 3.24 para su ubicación).

Este modelo intenta explicar una sucesión de eventos. En una primera etapa, se forma el fallamiento que incide en la secuencia Precámbrica (Formación Espinal), una rampa profunda dentro del basamento, y que llega a niveles miocenos, donde se transporta horizontal insertando el limbo frontal y arrastrando como una topadora a las secuencias miocenas, generando pliegues por flexión. En una segunda fase, la falla más occidental rompe la estructura de basamento y expone a la Formación Espinal. Los anticlinales miocenos son muy apretados en contraposición al basamento, lo que genera una disarmonía entre ambos. Estas láminas epidérmicas pertenecen a los corrimientos generados por el Ciclo Ándico.

El flanco de Famatina es una estructura profunda dado el gran volumen de roca que posee, por lo que el corrimiento que la levanta es de alto ángulo y profundo y de él se desprenden ramificaciones que pliegan a las secuencias miocenas y esto se puede observar en la gran longitud de onda que presentan los pliegues en superficie.

B) Sector SO – Falla Santa Clara

Este sector se encuentra más al sur de la sección anterior, por lo que también describe el paso por estructuras que abarcan desde el río Grande de Valle Hermoso hasta la Sierra de Toro Negro, ingresando por la quebrada de Los Loros (ver Hoja de Tinogasta, Fauqué y Caminos, 2006).

Primero fue hallada una falla inversa que afecta a las secuencias jóvenes, de edad estimada pliocena a cuaternaria, por lo que se infiere que es actividad neotectónica (*Figura 3.26*), y es el punto FQT de la *Tabla 3.18*.

Continuando por la quebrada, aproximadamente 600 metros más hacia el oeste, se halló una falla que pone en contacto tectónico a las secuencias miocenas de la Formación Vinchina sobre las secuencias plio-cuaternarias (*Figura 3.27*). Para la descripción de este trabajo, dicha falla se denominó Falla Santa Clara y se encuentra en el dato FVSC y FSC de la *Tabla 3.18*.

Nuevamente, casi 600 metros más hacia el oeste, se halló un contacto discordante entre la Formación Vinchina y las secuencias Cuaternarias (*Figura 3.28*), encontrados en el dato FVSC2 de la *Tabla 3.18*.



Figura 3.26. Falla inversa (neotectónica) hallada en los depósitos plio-cuaternarios, ladera sur.

Dato	FQT	FVSC	FSC	FVSC2	FQT2	FQT3
Latitud (S)	28° 24' 53,1"	28° 24' 47,2"	28° 25' 3,6"	28° 25' 0,7"	28° 24' 48,4"	28° 24' 47,8"
Longitud (O)	68° 2' 43"	68° 3' 2,7"	68° 3' 10,3"	68° 3' 31,4"	68° 3' 40,4"	68° 3' 46,6"
Estructura	Neotectónica	Falla Santa Clara		Discordancia	Neotectónica	

Tabla 3.18. Resumen de todos los datos hallados en esta sección.

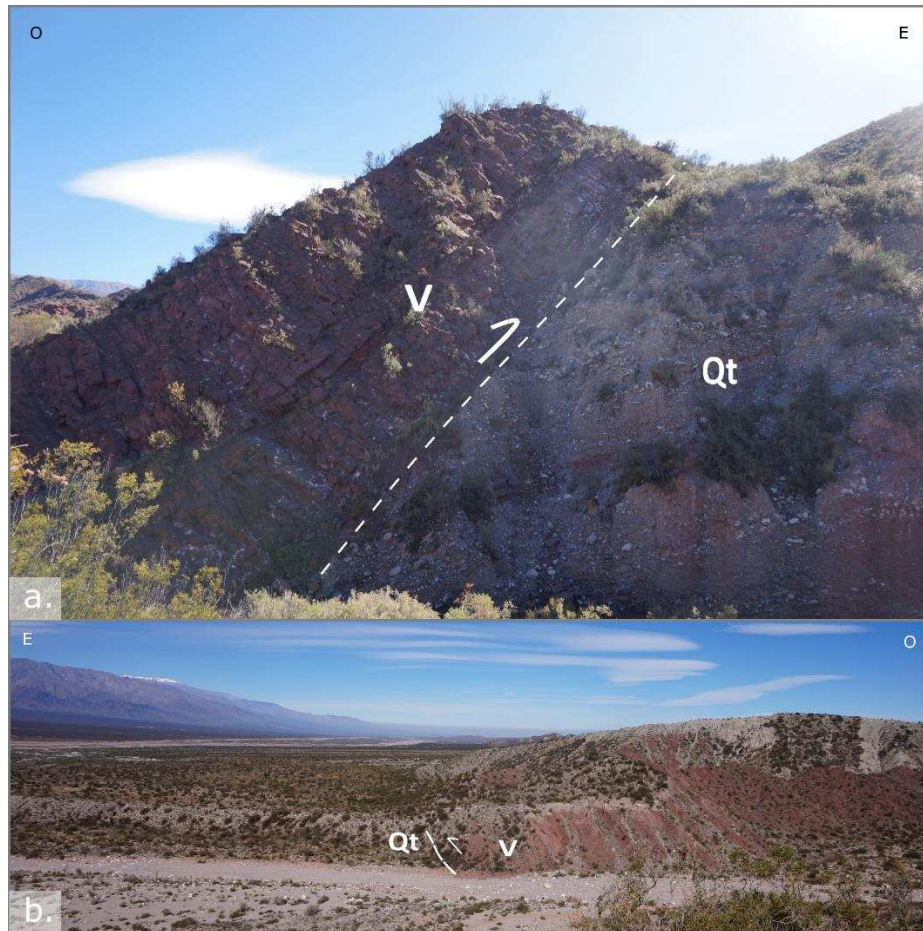


Figura 3.27. Falla denominada Santa Clara, que pone en contacto tectónico a la Formación Vinchina (V) sobre las secuencias plio-cuaternarias (Qt). a. ladera norte (dato FVSC de la Tabla 3.18), b. ladera sur (dato FSC de la Tabla 3.18).

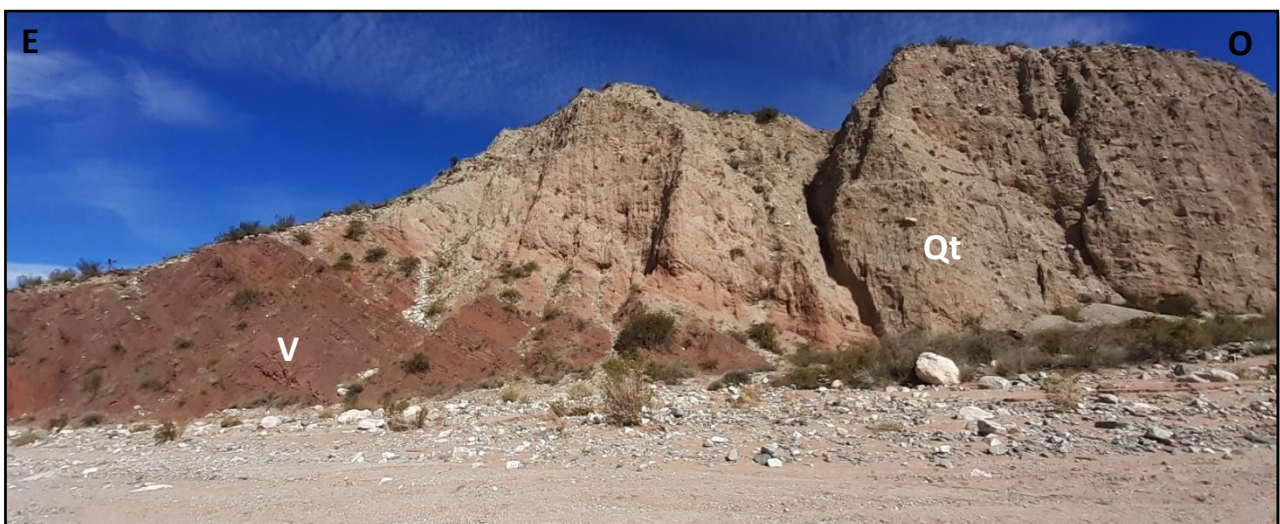


Figura 3.28. Contacto entre Formación Vinchina (V) y plio-cuaternario (Qt). Dato FVSC2 de la Tabla 3.18.

Conforme se avanzó por la quebrada, fueron halladas una serie de fallas de menor jerarquía que las mencionadas anteriormente. Estas se tratan de pequeñas fallas inversas encontradas en las secuencias plio-cuaternarias, con distintas vergencias. Estas conforman el punto FQT2 de la *Tabla 3.18*. Finalmente, 100 metros más adelante se halló una falla inversa en las mismas secuencias, de mayor jerarquía, y es el dato FQT3 de la misma tabla. Ambas se pueden observar en la *Figura 3.29*.

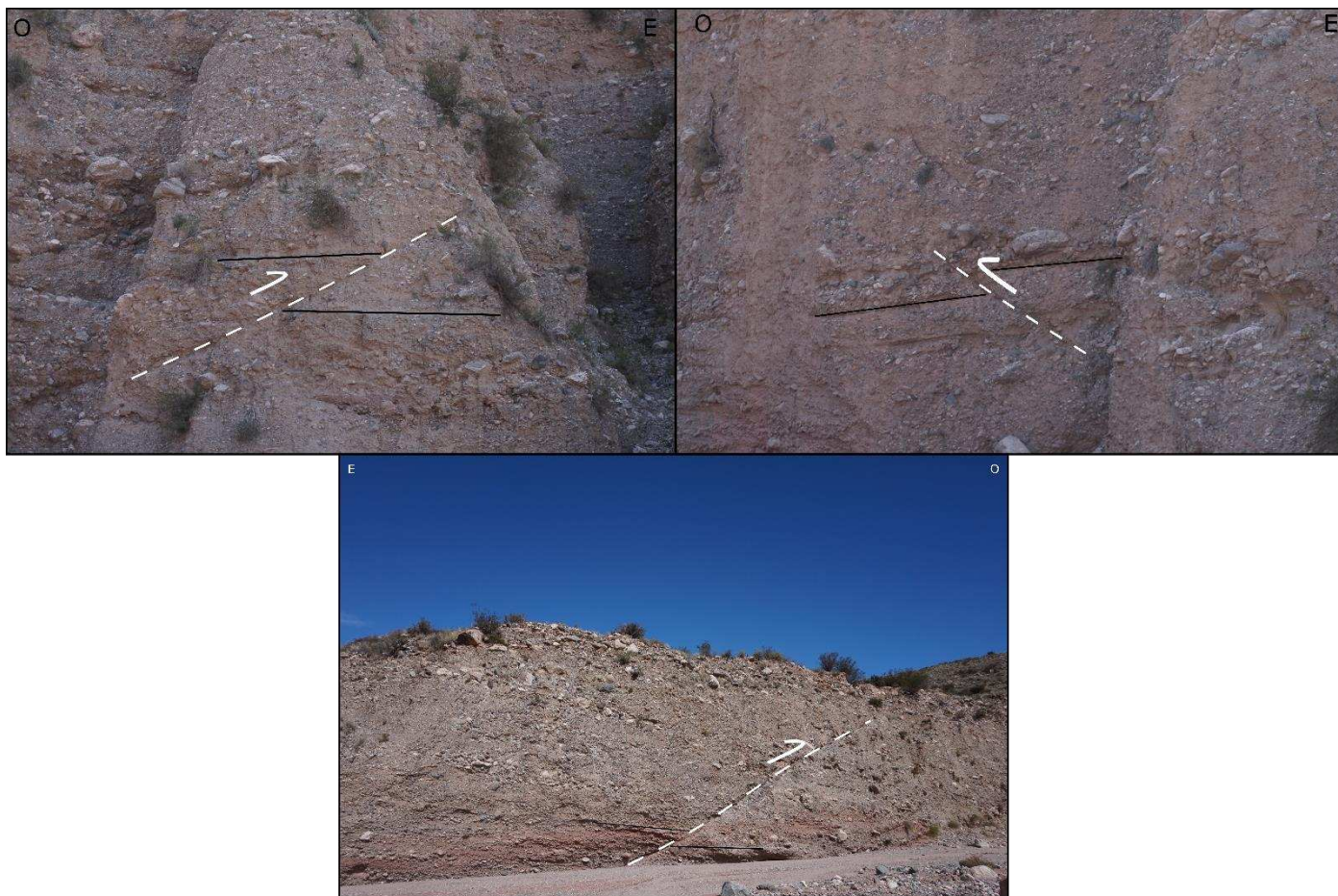


Figura 3.29. Fallas neotectónicas inversas afectando a los depósitos Cuaternarios. Las dos figuras de arriba corresponden a la ladera norte y al dato FQT2 de la Tabla 3.18. La figura de abajo fue tomada en la ladera sur, es el dato FQT3 de la misma tabla.

Todos los hallazgos descritos anteriormente fueron plasmados en el mapa geológico a inicios del *Capítulo 3*. En la *Figura 3.30* se presenta un mapa de detalle del sector descrito para visualizar mejor estos datos tomados:

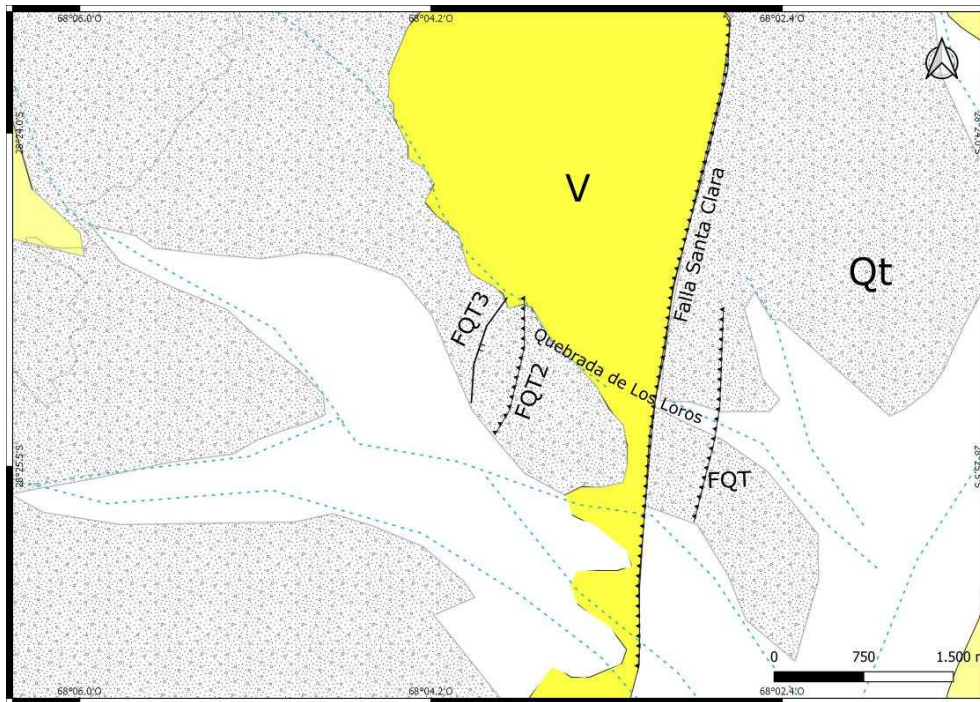


Figura 3.30. Mapa de detalle de las estructuras presentes en la quebrada de Los Loros. V: Formación Vinchina, Qt: Cuaternario. Para mayor entendimiento de las referencias ver Figura 3.1 al inicio de Capítulo 3.

3.3.2 Margen oriental del RGVH

A) Sector NE - Falla de Catinzaco

Esta sección describe el paso por distintas estructuras que van desde el río Grande de Valle Hermoso hasta el flanco oriental de la Sierra de Famatina, abarcando desde la Quebrada del Jume hasta la quebrada que se encuentra más al sur de la Quebrada de Villacorta, en las inmediaciones de la escuela de nivel inicial N° 212, llamada "Casa Pintada" (ver Hoja de Tinogasta, Fauqué y Caminos, 2006).

En primer lugar, se encontraron afloramientos de la Formación de la Cuesta, de edad pérmica. Esta unidad se encuentra formando un pliegue sinclinal y está en contacto tectónico sobre la Formación Vinchina, mediante un corrimiento con inclinación al este (Figura 3.31). El contacto entre las formaciones Vinchina y De la Cuesta es uno de los frentes de corrimiento de la Sierra de Famatina, y se encontró en el punto $28^{\circ} 21' 58,5''$ S - $67^{\circ} 59' 09,3''$ O.

Un poco más al SO, aproximadamente 2 km después de la Quebrada de Villacorta, se encuentra una falla tectónica que pone en contacto a las secuencias pérmicas de la Formación De la Cuesta por encima de la Formación Toro Negro (Figura 3.32).

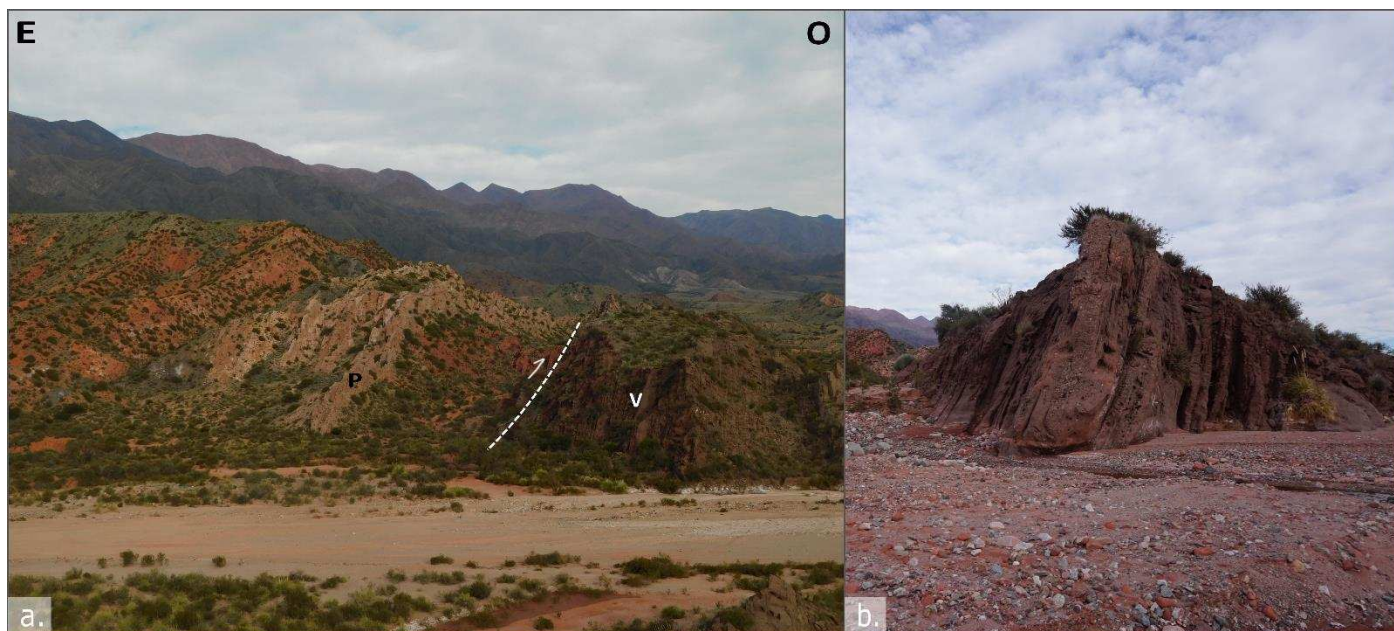


Figura 3.31. a) Contacto Formación De la Cuesta (P) con Formación Vinchina (V). b) Formación Vinchina, los estratos se encuentran subverticales.



Figura 3.32. a) Falla que pone en contacto a la Formación De la Cuesta (P) sobre la Formación Toro Negro (TN), denominada Falla Catinzaco. Por encima se encuentra una cobertura plio-cuaternaria (Qt). b) Por la inclinación de los estratos se puede observar que se trata de un pliegue sinclinal dentro de las secuencias pérmicas.

Más hacia el SE de esta falla, se encontró otra falla que pone en contacto a la Formación Toro Negro sobre los depósitos plio-cuaternarios. La falla corre paralela al plano de estratificación de la Formación Toro Negro por lo que se propone que podría tratarse de un flexodeslizamiento. Dentro de los depósitos cuaternarios hay un frente de corrimiento que inclina hacia el Oeste, en donde se visualizan abanicos levantados (Figura 3.33). A todo el sistema de corrimientos se lo denominó “Falla Catinzaco” dado que estas investigaciones se realizaron en cercanía a un puesto con ese nombre.

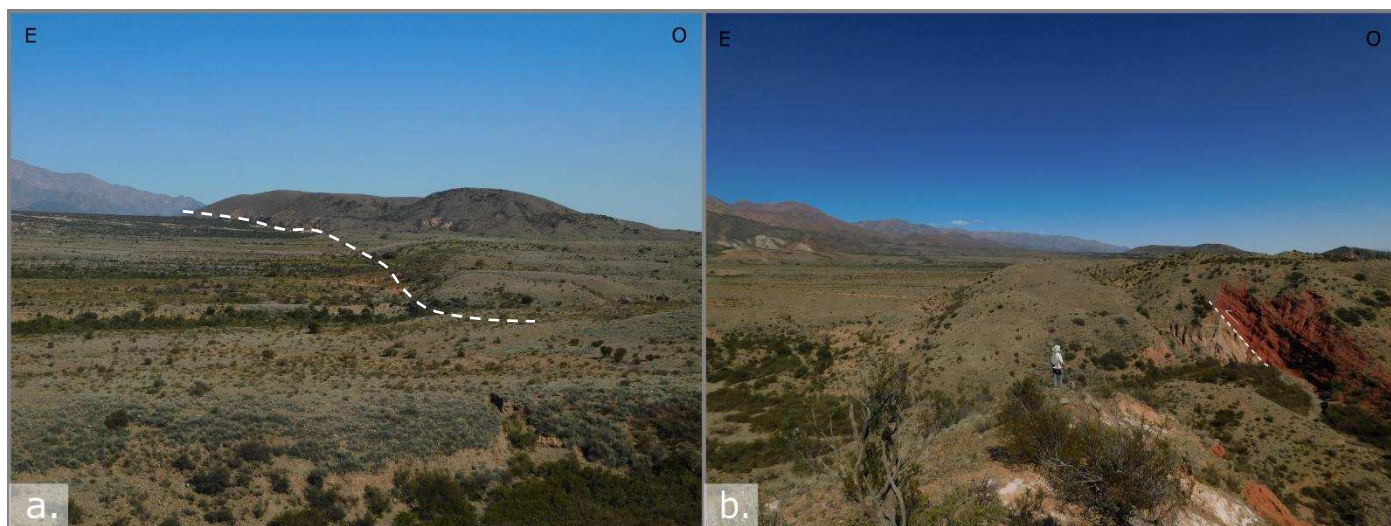


Figura 3.33. a) Frente de corrimiento que pone en contacto tectónico a la Formación Toro Negro sobre las secuencias plio-cuaternarias (línea punteada). Se puede observar el levantamiento de abanicos aluviales. b) Vista al sur del sistema “Falla Catinzaco”, en donde se observa la falla que pone en contacto tectónico al Pérmico sobre la Formación Toro Negro, y esta a su vez al plio-cuaternario.

En la Figura 3.34 se muestra un mapa de detalle para poder visualizar mejor las estructuras presentes en este sector:

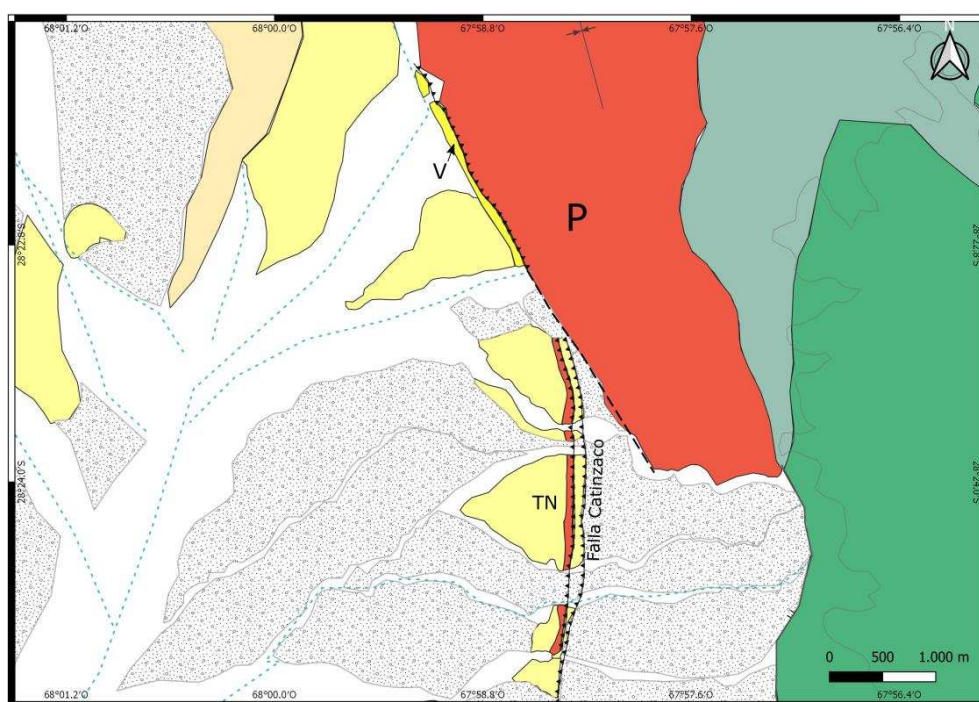


Figura 3.34. Mapa de detalle de las estructuras presentes en el sector noreste de Valle Hermoso. P: Formación De la Cuesta (Pérmico), V: Formación Vinchina, TN: Formación Toro Negro. (Ver referencias en Figura 3.1 al inicio de Capítulo 3).

B) Sector SE - Falla La Ciénaga

Esta sección se encuentra al SO de la sección anterior, en la localidad Ciénaga de Abajo, departamento de Belén (ver Hoja de Tinogasta, Fauqué y Caminos, 2006). En este sector se encontró evidencia de actividad neotectónica.

Se trazó una transecta en sentido O-E. En primer lugar, se encontró una falla que pone en contacto a los depósitos de la Formación Toro Negro por encima de los depósitos plio-cuaternarios, punto que denominaremos “A” en la *Tabla 3.19* (todos los datos GPS estarán plasmados en esta tabla). Este se trata del limbo dorsal de un pliegue anticlinal en la Formación Toro Negro. Conforme se avanzó por la quebrada, hacia el este, se encontró el limbo frontal del mismo pliegue, en el punto “B”. A 300 metros más hacia el este, se encontró el limbo dorsal de otro pliegue anticlinal, correspondiente al punto “C”. Por último, se encontró el limbo frontal de este pliegue, que corresponde al punto “D” (*Figura 3.35*). La estructura completa, denominada “La Ciénaga”, se puede observar en la *Figura 3.36*.

Dato	A	B	C	D
Latitud	28° 26' 54,13"	28° 26' 56,87"	28° 26' 58,61"	28° 27' 5,81"
Longitud	68° 0' 45,82"	68° 0' 34,67"	68° 0' 22,62"	68° 0' 15,72"
Estructura	Anticlinal activo		Anticlinal activo	
Sector del pliegue	Limbo dorsal	Limbo frontal	Limbo dorsal	Limbo frontal
Figura	3.35a	3.35b	3.35c	3.35d
Rumbo	5°	-	5°	5°
Inclinación	36°NO		26°NO	72°E

Tabla 3.19. Resumen de los datos hallados en esta sección.

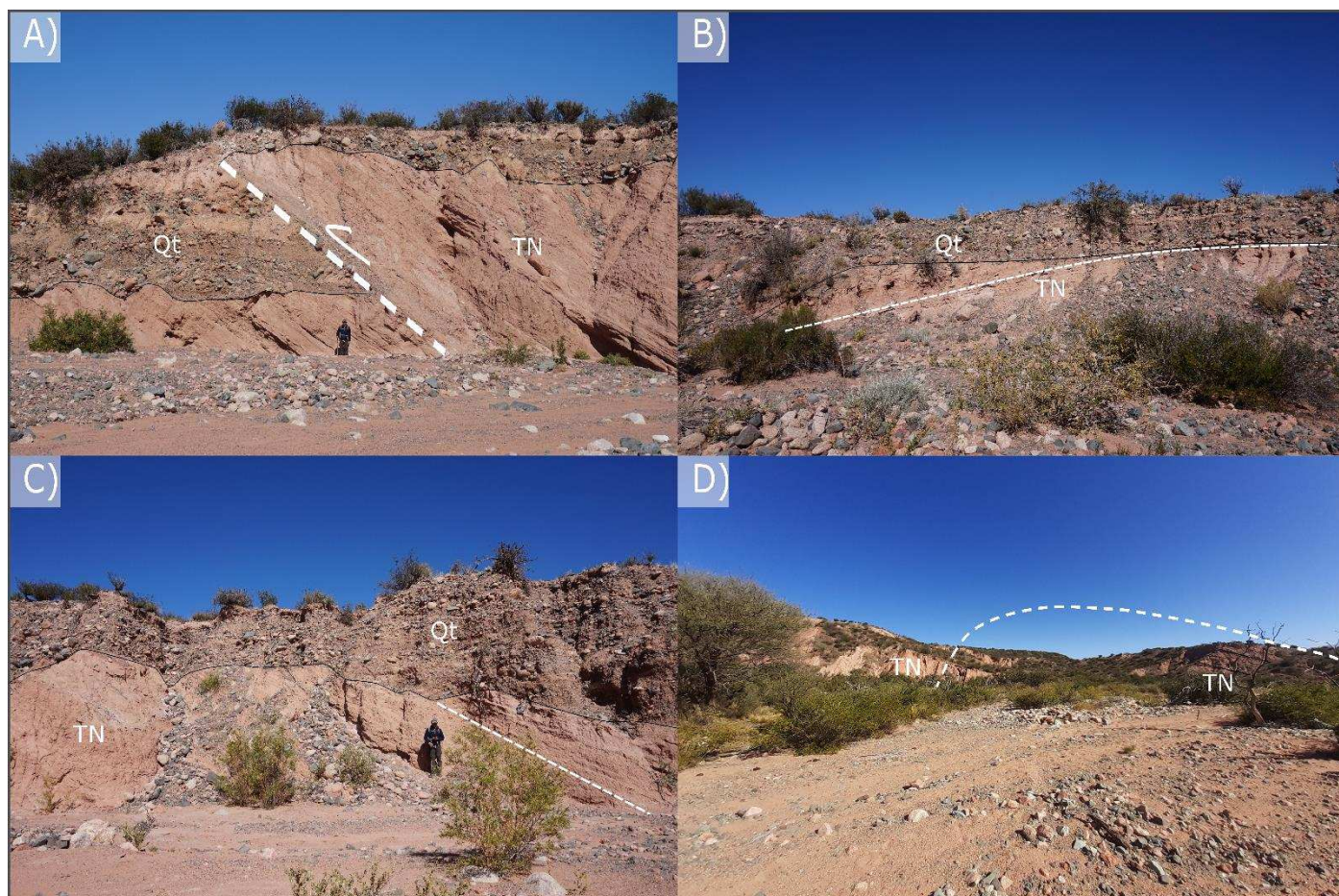


Figura 3.35. Pliegues anticlinales activos que involucran a la Formación Toro Negro (TN) y a los depósitos plio-cuaternarios (Qt). La nominación es la misma que la utilizada para la Tabla 3.19.

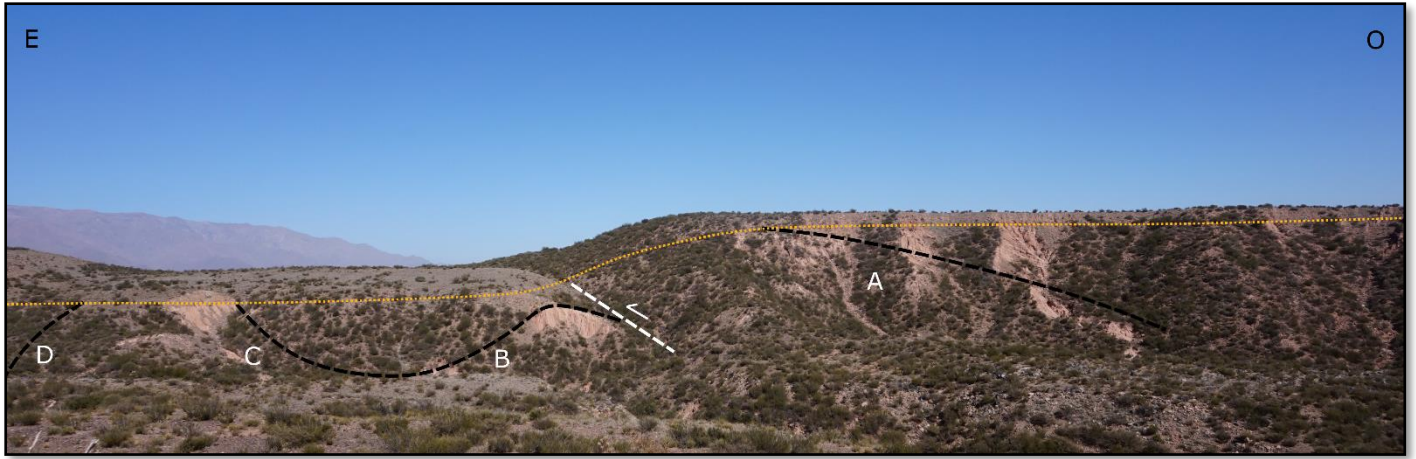


Figura 3.36. Estructura de “La Ciénaga” con la nominación de los pliegues proporcionados en la Tabla 3.19. La línea punteada naranja separa al pedimento plio-cuaternario que se encuentra por encima.

Cabe mencionar que, al igual que en el sistema “Falla Catinzaco” se pudieron observar expresiones en superficie que estarían indicando un contacto tectónico entre la Formación Toro Negro y las secuencias plio-cuaternarias en el sector más oriental de lo estudiado anteriormente. A falta de una fotografía que evidencie esto, se muestra una imagen satelital vía Google Earth para ejemplificar cómo se vería el sistema completo de la “La Ciénaga” (Figura 3.37).



Figura 3.37. Imagen satelital del sistema “La Ciénaga” O-E, donde la línea amarilla representa la falla que se visualiza en la Figura 3.35 (A), y la línea punteada refleja el corrimiento que pone a las secuencias de la Formación Toro Negro (TN) por encima del plio-cuaternario (Qt).

A continuación, se muestra el mapa de detalle de este sector con todos los datos informados anteriormente (Figura 3.38):

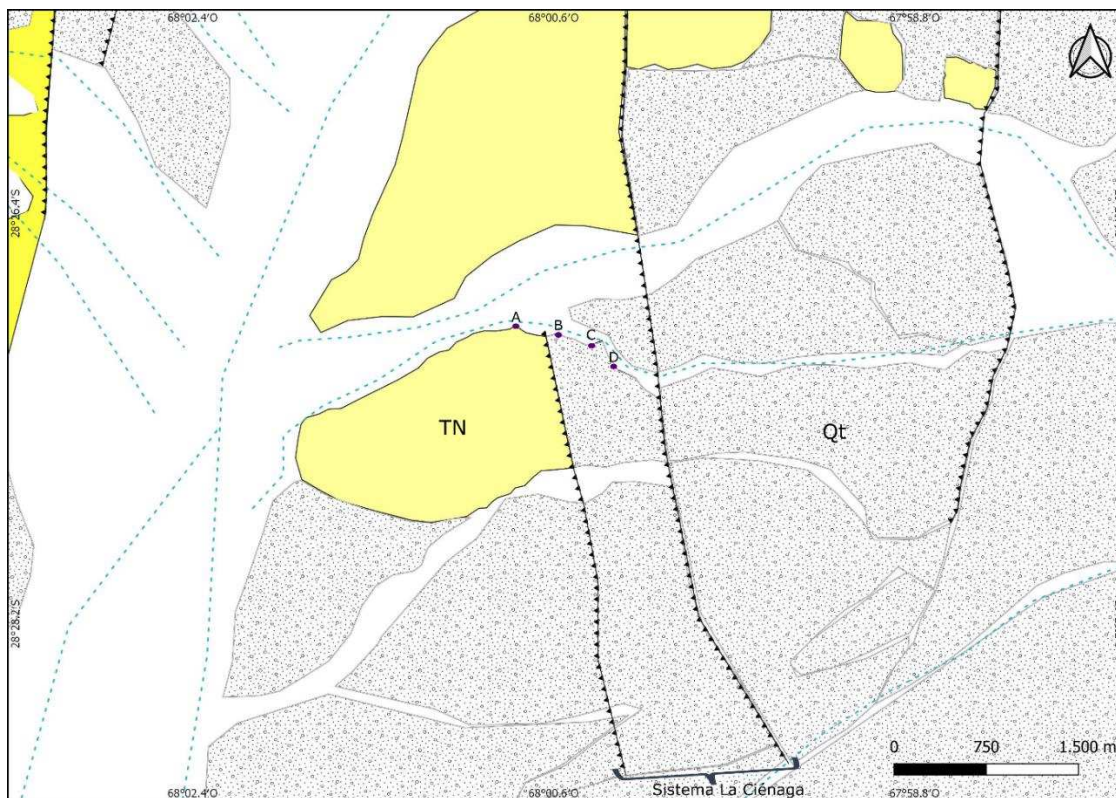


Figura 3.38. Mapa a detalle de la localidad Ciénaga de Abajo con los datos de la Tabla 3.19. informados. TN: Formación Toro Negro, Qt: Plio-cuaternario (ver referencias en Figura 3.1 al inicio de Capítulo 3). Los puntos A-D que se indican son los correspondientes a la Figura 3.36.

3.4 Estructura en Sierra de Famatina

El principal objetivo del estudio de la estructura en esta región es adentrarse en la Sierra de Famatina para identificar las estructuras que hayan generado su levantamiento. Para ello, fue analizado el sector SE del mapa regional (ver Figura 3.1) entre los puntos $29^{\circ} 3' 23''$ S – $68^{\circ} 0' 10''$ O y $29^{\circ} 3' 42''$ S – $67^{\circ} 59' 40''$ O aproximadamente.

Se encontraron una serie de fallas que involucran a las formaciones De la Cuesta (Pérmico) y Nuñorco (Ordovícico) y a los depósitos plio-cuaternarios (Tabla 3.20). En primer lugar, se encontraron dos fallas en la ladera norte que inclinan hacia el Este, que corresponden a los datos OP y PQt de la Tabla 3.20. La falla oriental pone en contacto tectónico a la Formación Nuñorco con la Formación De la Cuesta (Figura 3.39a). La falla occidental pone en contacto a la Formación De La Cuesta sobre los depósitos plio-cuaternarios (Figura 3.39b). Luego, al observar la ladera sur, más hacia el occidente de estas fallas también se encontró otra, con inclinación hacia el Oeste, que pone en contacto a la Formación Nuñorco nuevamente sobre la Formación de la Cuesta (Figura 3.40).

Dato	OP	PQt
Latitud (S)	$29^{\circ} 3' 36,9''$	$29^{\circ} 3' 30,2''$
Longitud (O)	$67^{\circ} 59' 48,1''$	$68^{\circ} 0' 2,2''$
Estructura	Falla que monta Formación Nuñorco (Od) sobre Formación De la Cuesta (P)	Falla que monta Formación De la Cuesta (P) sobre Cuaternario (Qt)
Figura	3.39a	3.39b

Tabla 3.20. Fallas halladas en la Sierra de Famatina.



Figura 3.39. Vista hacia el flanco norte en la Sierra de Famatina. A) Falla que superpone secuencias ordovícicas (Formación Nuñorco) a secuencias pérmicas (Formación De La Cuesta), es el dato OP de la Tabla 3.20. B) Falla que pone en contacto tectónico al Pérmico (Formación De la Cuesta) sobre secuencias plio-cuaternarias, es el dato PQt de la Tabla 3.20.

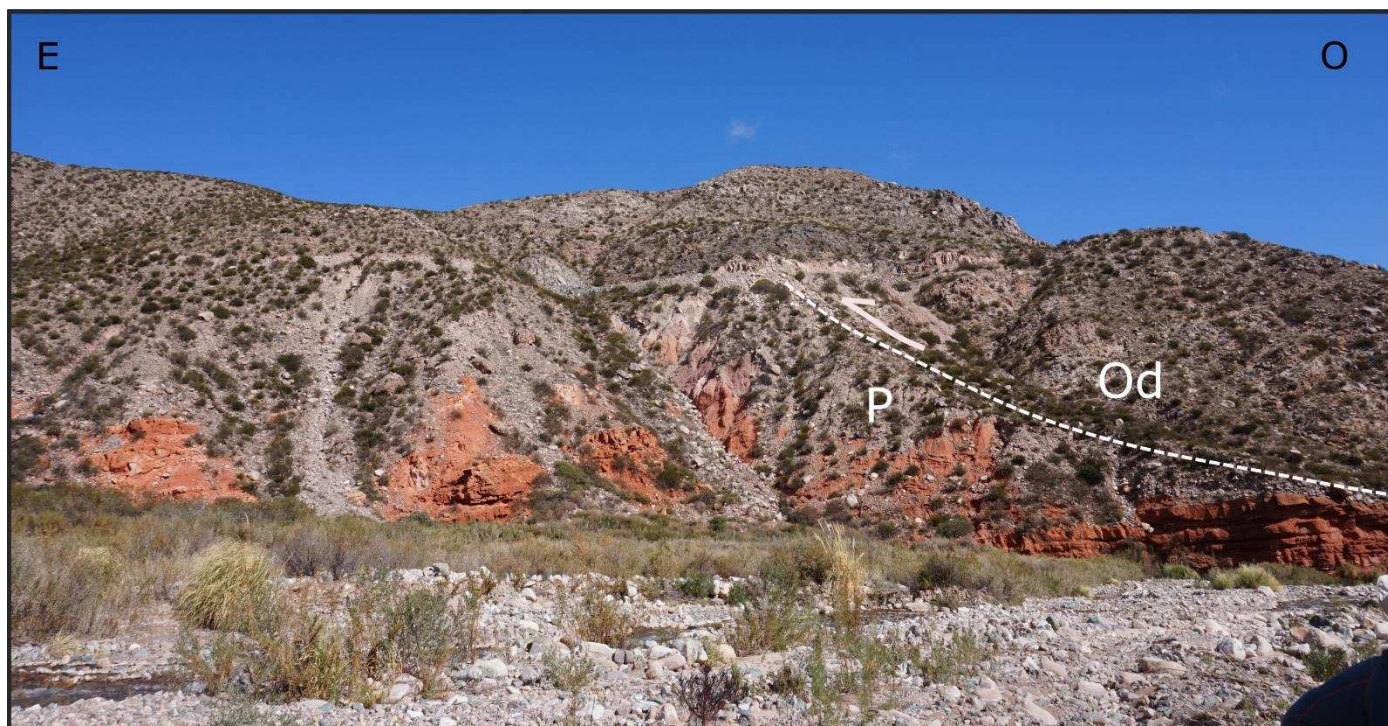


Figura 3.40. Vista hacia el flanco sur, donde las secuencias ordovícicas (Formación Nuñorco) se superponen en contacto tectónico con la Formación De la Cuesta.

4. Discusión

A continuación, se compararán los resultados obtenidos en el estudio de la Formación Toro Negro con aquellos previamente publicados en revistas científicas. En este trabajo, se analiza el área de Valle Hermoso, un sector que hasta ahora no había sido estudiado. En contraste, hacia el oeste, en la Sierra de los Colorados, esta unidad ha sido ampliamente investigada por diversos autores (Tripaldi, 2001; Limarino et al., 2010; Ciccioli y Marensi, 2012; Amidon et al., 2016; entre otros).

En cuanto a la sedimentación de la Formación Toro Negro, objeto de estudio de este trabajo, Limarino et al. (2010) levantaron 6 secciones de norte a sur en la Sierra de los Colorados: quebrada de La Aguada, quebrada de Los Pozuelos, río de La Troya norte, río de La Troya sur, Campo Negro y quebrada del Yeso, y con la información obtenida pudieron establecer que el contacto entre la unidad de estudio y su subyacente Formación Vinchina es mediante una superficie de incisión que conforma un paleovalle en el sector norte labrado sobre esta última unidad, en una sección aproximadamente norte-sur y con eje en sentido oeste-este. Ciccioli y Marensi (2012) reconocieron once asociaciones de facies en la Formación Toro Negro, donde para el miembro inferior describen ríos entrelazados gravosos que rellenaron el paleovalle fluvial, fajas de canales areno-gravosas correspondientes a ríos anastomosados y culmina en ambiente lacustre somero, mientras que para el miembro superior reconocieron sistemas fluviales entrelazados gravosos sobre los que progradan depósitos de bajada dominado por flujos canalizados (*Figura 4.1*). En comparación, en el sector de Valle Hermoso se reconocieron depósitos conglomerádicos y arenosos tabulares asociados a flujos mantiformes (sheetfloods), con distintas secuencias granodecrecientes que se asociaron a un ambiente de abanico aluvial, donde se reconocieron distintas posiciones dentro del ambiente aluvial. En el perfil A, se identificó un ambiente proximal a medio, mientras que en el perfil B se caracterizó una posición distal. En este sentido, se observa un gradiente granulométrico que disminuye hacia el oeste, lo cual sugiere que el área de aporte estaría ubicada al este del área de estudio.

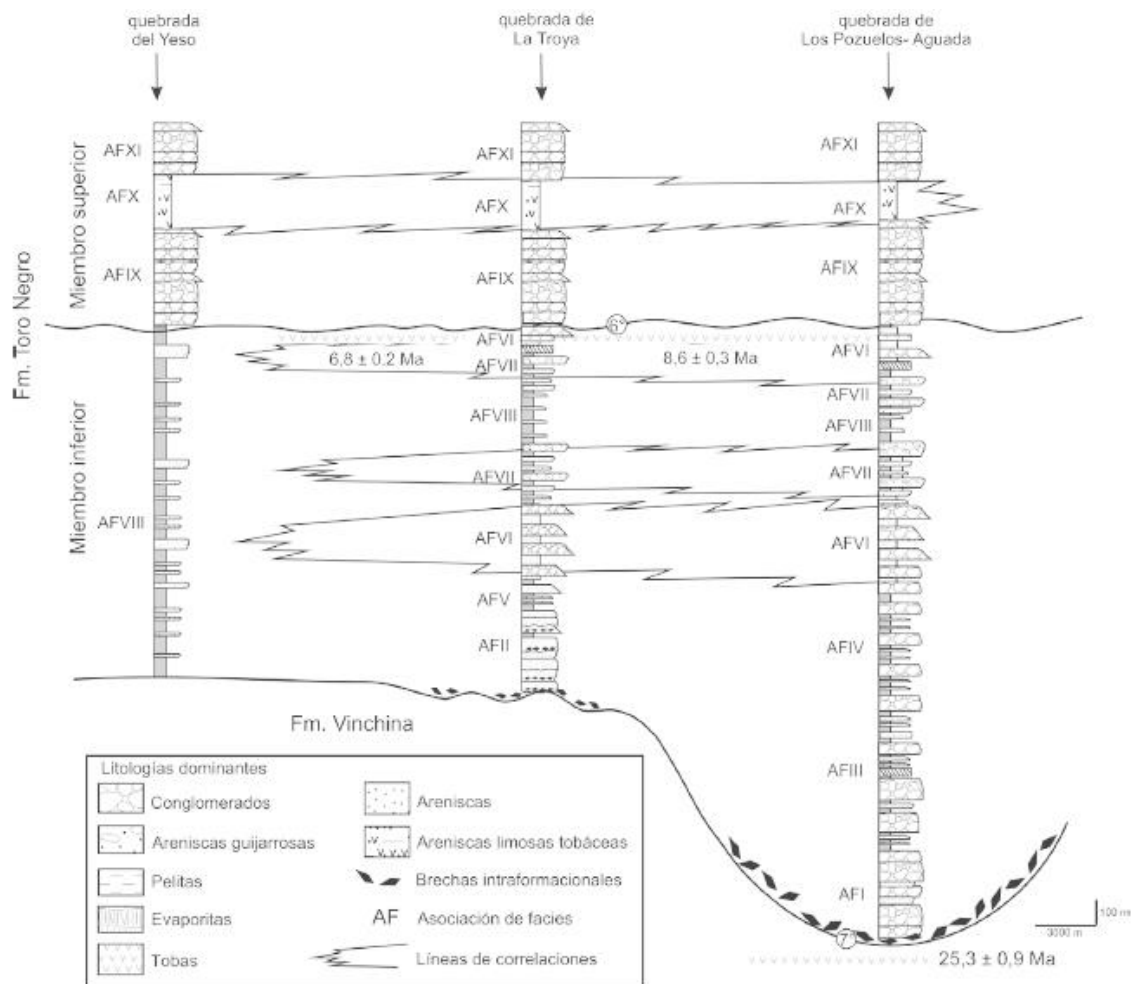


Figura 4.1. Sección longitudinal a la Sierra de Los Colorados mostrando la disposición del paleovalle, la distribución de las asociaciones de facies de la Formación Toro Negro y las correlaciones laterales entre las distintas secciones (tomado de Ciccioli y Marensi, 2012).

Para el análisis de procedencia, los diagramas de clasificación en areniscas de Folk et al. (1970) realizados en este trabajo presentaron tendencias similares a las descritas por Ciccioli et al. (2014a), donde obtuvo areniscas correspondientes principalmente a litoarenitas feldespáticas, feldarenitas líticas y litoarenitas (con mayor proporción de líticos volcánicos). Esta última tendencia en litoarenitas no fue hallada en este trabajo, siendo de mayor importancia el dominio en composiciones feldespáticas (Figuras 3.12). En cuanto a los diagramas de discriminación de ambiente tectónico de Dickinson et al. (1983) de este trabajo, la mayoría de la moda detrítica fue localizada en los campos de arco disectado y arco transicional (Figuras 3.13 y 3.14), en tanto que en el trabajo de Ciccioli et al. (2014a) algunos ejemplares se encontraron además en el campo de orógeno reciclado y arco no disectado, estableciendo la posibilidad de múltiples áreas fuente y permitiendo atribuirle una mayor participación a los bloques de basamento (Sierras de Toro Negro y Umango) y a la actividad del arco volcánico cenozoico (Cordillera Frontal). A su vez, Ciccioli et al. (2014a) utilizó el diagrama complementario de Dickinson y Suczek (1979), donde aquellas muestras enriquecidas en cuarzo y feldespato potásico justifican la tendencia de orógeno reciclado, asignado a bloques de basamento (Sierras de Toro Negro y Umango), mientras que aquellas con proporciones similares de Qm-F-P mantienen un carácter mixto. Para el caso de este trabajo, todas las muestras, exceptuando la VH6, presentan un contenido $Qm + Fk > Pg$, lo que le otorga un

carácter de orógeno reciclado, y la VH6 se encuentra en un campo mixto, asociado a ambientes orogénicos y de arco (Figura 3.15). Al no ser determinantes estos resultados para establecer un área de aporte, se calcularon nuevos componentes modales que fueran lo suficientemente representativos para las áreas fuente propuestas.

En el análisis de procedencia realizado por Ciccioli et al. (2014a) y Amidon et al. (2016) en la Sierra de los Colorados se destacan 3 petrofacies (componentes modales) para definir áreas de aporte en las tres secuencias depositacionales que hallaron: 1) metamórfico-plutónico, correspondiente a los bloques de basamento (Sierras de Toro Negro y Umango), 2) volcánica, para describir a la proveniencia de la Cordillera Frontal y 3) mixta, para la proveniencia de la Precordillera (Figura 4.2A), y donde el principal aporte va variando en el tiempo junto a la secuencia depositacional. Ciccioli et al. (2008) no consideran a la Sierra de Famatina como una posible área fuente, ya que no existen estudios de paleocorrientes que indiquen dicha tendencia. En este trabajo, para el estudio en Valle Hermoso, se determinaron dos áreas fuente potenciales: la Sierra de Famatina y la Sierra de Toro Negro. Los componentes modales constan de una asociación de líticos plutónicos, sedimentarios y volcánicos de composición ácida-intermedia para la Sierra de Famatina, y líticos metamórficos y volcánicos de composición básica-intermedia para la Sierra de Toro Negro (Tabla 3.15). Sobre la base de los resultados obtenidos en la comparación de estas dos áreas de aporte (Figura 3.16), se establece que el principal aporte proviene de la Sierra de Famatina (Figura 4.2B), lo que constituye una contribución significativa para el estudio de esta formación.

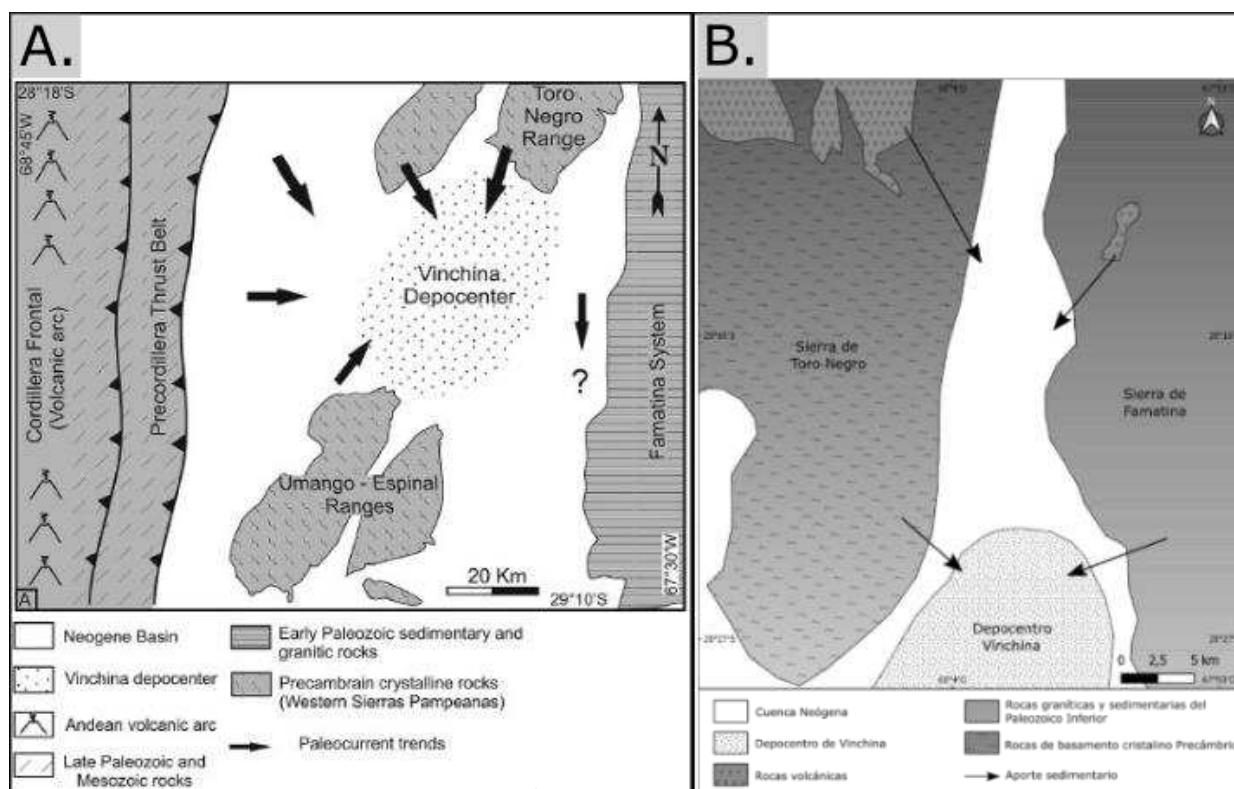


Figura 4.2. Áreas de aporte para la Formación Toro Negro. A. Áreas establecidas por Ciccioli et al. (2014a) en la Sierra de los Colorados. B. Áreas establecidas en este trabajo en Valle Hermoso.

Mediante los resultados obtenidos en la sección 3.3, la estructura fue ampliada en este trabajo. En el margen occidental del río Grande de Valle Hermoso se pudo delimitar el contacto entre la Formación Vinchina y los depósitos plio-cuaternarios mediante la falla denominada Santa Clara, que en la Hoja de Tinogasta (Fauqué y Caminos, 2006)

presenta un sector inferido. En adición, se hallaron pliegues anticlinales y sinclinales en los depósitos terciarios (*Figura 3.25*) y evidencias de neotectónica en los depósitos plio-cuaternarios.

En el sector NE del margen oriental del río Grande de Valle Hermoso, en la localidad de la Ciénaga de Arriba, Fauqué y Caminos (2006) establecen que el contacto entre las formaciones De la Cuesta y Toro Negro es mediante un fallamiento normal con vergencia oriental e infieren su continuidad más hacia el SE, mientras que los datos de este trabajo muestran un corrimiento con vergencia occidental, y hacia el SE se halló el sistema “Falla de Catinzaco”. En el sector SE del margen oriental del río, se halló actividad neotectónica que antepone a la Formación Toro Negro por encima de los depósitos plio-cuaternarios en la estructura denominada “La Ciénaga” donde establecían un contacto neto (Fauqué y Caminos, 2006; Amidon et al., 2016).

Por último, en el área estudiada en la sierra de Famatina a la altura de la localidad de Villa Castelli, se hallaron evidencias de neotectónica en estructuras con vergencia occidental vinculadas con el levantamiento de la misma, que involucran a las formaciones De la Cuesta (Pérmico), Nuñorco (Ordovícico) y a los depósitos plio-cuaternarios.

4.1 Implicancias regionales

La última fase de la Orogenia Andina generó extensas cuencas de antepaís a partir del Oligoceno Tardío (Limarino et al., 2010). La Formación Toro Negro forma parte del relleno de la cuenca de Vinchina, que constituye uno de los depocentros cenozoicos del antepaís fragmentado que se extendió en la Cordillera Frontal, Precordillera, Sierras Pampeanas y Sistema de Famatina en respuesta a la subducción de la dorsal asísmica de Juan Fernandez (Ramos et al., 2002; *Figura 4.3*). Esto último generó la horizontalización de la placa de Nazca, declinando fuertemente el magmatismo a partir del Mioceno tardío y migrando hacia el antepaís (Ciccioli y Marenssi, 2012; Ramos et al., 2002)

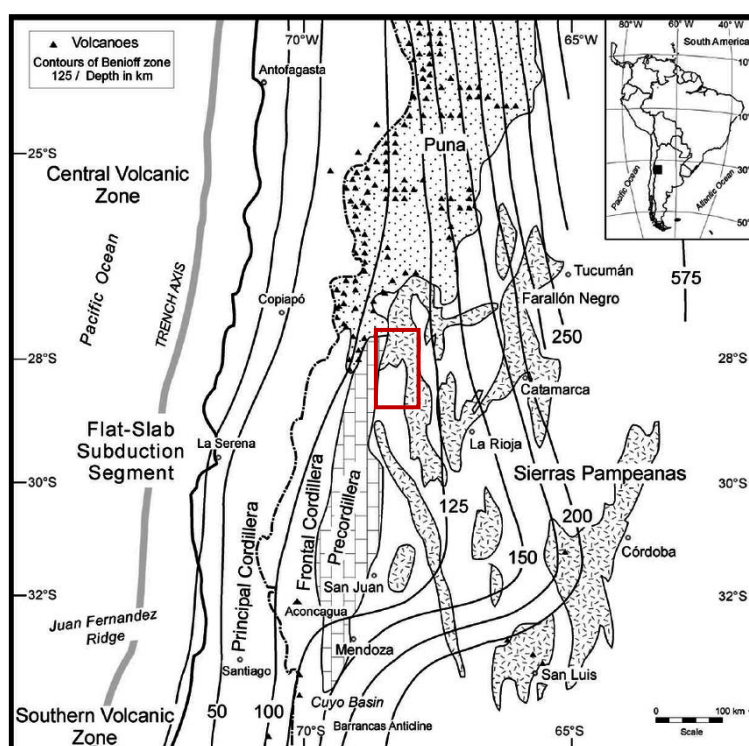


Figura 4.3. Subducción horizontal pampeana en los Andes Centrales de Argentina y Chile (tomado de Ramos et al., 2002). El recuadro rojo indica la zona de estudio.

La ruptura de la placa de Farallón en las placas de Cocos y Nazca se generó entre los 26 y 23 Ma (Herron y Heitzler, 1967; Somoza y Ghidella, 2005; entre otros). Esta ruptura proporcionó un incremento en la velocidad de convergencia de la placa y condiciones fuertemente compresivas, que luego decrecieron significativamente a partir de los 10 Ma (Somoza y Ghidella, 2005). A partir de ese momento se produce la horizontalización de la placa (Ramos et al., 2002).

Esta importante compresión, según Ciccioli (2008), propició el ascenso de bloques de basamento como la Sierra de Toro Negro, y generó corrimientos en el sector occidental de la Sierra de los Colorados.

Ciertos autores mencionan que la incisión del paleovalle fluvial labrada sobre la Formación Vinchina ocurrió en el Mioceno Inferior y que coincide con una de las fases de ascenso de la Sierra de Famatina, produciendo una drástica caída en el perfil de equilibrio de los sistemas fluviales, y luego fue rellenado por la Formación Toro Negro mediante sistemas fluviales gravo-arenosos confinados, provenientes principalmente de la Cordillera Frontal y la Precordillera (Limarino et al., 2010; Ciccioli y Marensi, 2012). En el Mioceno Medio-Superior los sistemas fluviales pasan a ser areno-gravosos no confinados que provienen principalmente de la Sierra de Toro Negro y del oeste ya descrito, en tanto que, en el Mioceno Superior-Plioceno Inferior se generan pulsos de progradación de la cuña clástica de la Precordillera caracterizada por el aporte de sistemas fluviales entrelazados gravo-arenosos y bajadas de flujos canalizados (Ciccioli y Marensi, 2012). Si bien estos autores (Ciccioli y Marensi, 2012; Limarino et al., 2010; Amidon et al., 2016; entre otros) consideran que el paleovalle se originó como consecuencia del levantamiento de la Sierra de Famatina, no reconocen a esta sierra como un área de aporte para la Formación Toro Negro en la Sierra de los Colorados. Esto se debe a la presencia de un sistema axial con orientación N-S que impide la llegada de sedimentos provenientes de la Sierra de Famatina (Limarino et al., 2010; *Figura 4.4*). En este trabajo, se identificó un sistema aluvial que drena la Sierra de Famatina, en concordancia con el estudio de procedencia y el gradiente granulométrico. Se infiere que este sistema axial N-S se ubica al oeste de los depósitos analizados en el presente estudio, lo que permite delimitar mejor su posición (*Figura 4.5*).

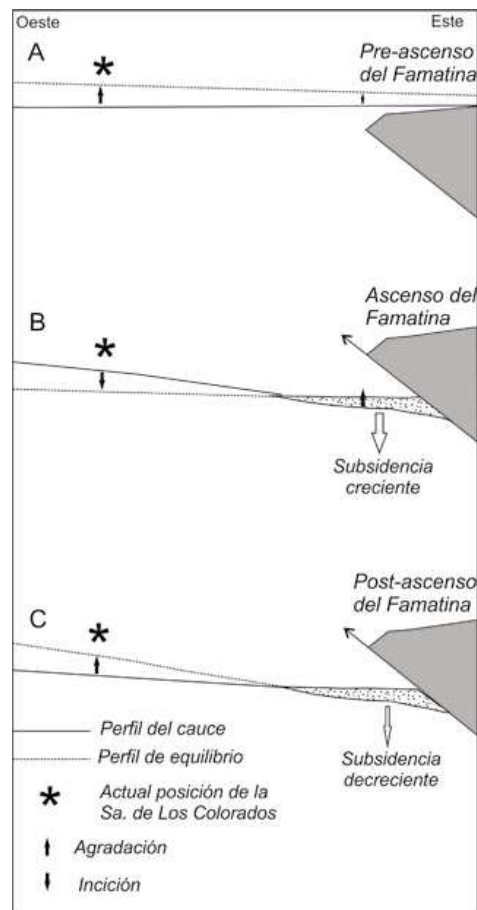


Figura 4.4. Subsidencia, perfiles de equilibrio y estados de agradación-incisión relacionados al ascenso del Famatina occidental (tomado de Limarino et al., 2010).

Dávila y Astini (2007) muestran que para el Mioceno Medio la Sierra de Famatina ya se habría empezado a levantar, porque ven un cambio en la procedencia y la dirección de las paleocorrientes de las unidades al este de la Sierra (Figura 4.6). A su vez, Coughlin et al. (1998) analizaron la termocronología en trazas de fisión de apatita en la Sierra de Famatina y establecieron que esta se habría levantado entre los 10-5 Ma. Considerando que los depósitos analizados de la Formación Toro Negro al oeste de la Sierra de Famatina corresponden a un ambiente de abanico aluvial con un gradiente granulométrico que indica una dirección de flujo hacia el oeste, que el análisis de procedencia muestra que el aporte coincide con las unidades expuestas en la Sierra de Famatina y que la nueva edad U-Pb de la Formación Toro Negro informada en la zona estudiada es de 9 Ma (Sarah Thomas, comunicación personal), se considera que, la Formación Toro Negro se habría depositado como abanicos aluviales y planicie arenosa dominados por flujos mantiformes al pie de la Sierra de Famatina en los inicios de su levantamiento. Posteriormente, al continuar el levantamiento de la Sierra de Famatina, los depósitos estudiados de la Formación Toro Negro se integran al sistema estructural de la Sierra, dando lugar al plegamiento de esta sucesión sedimentaria (Figura 4.7).

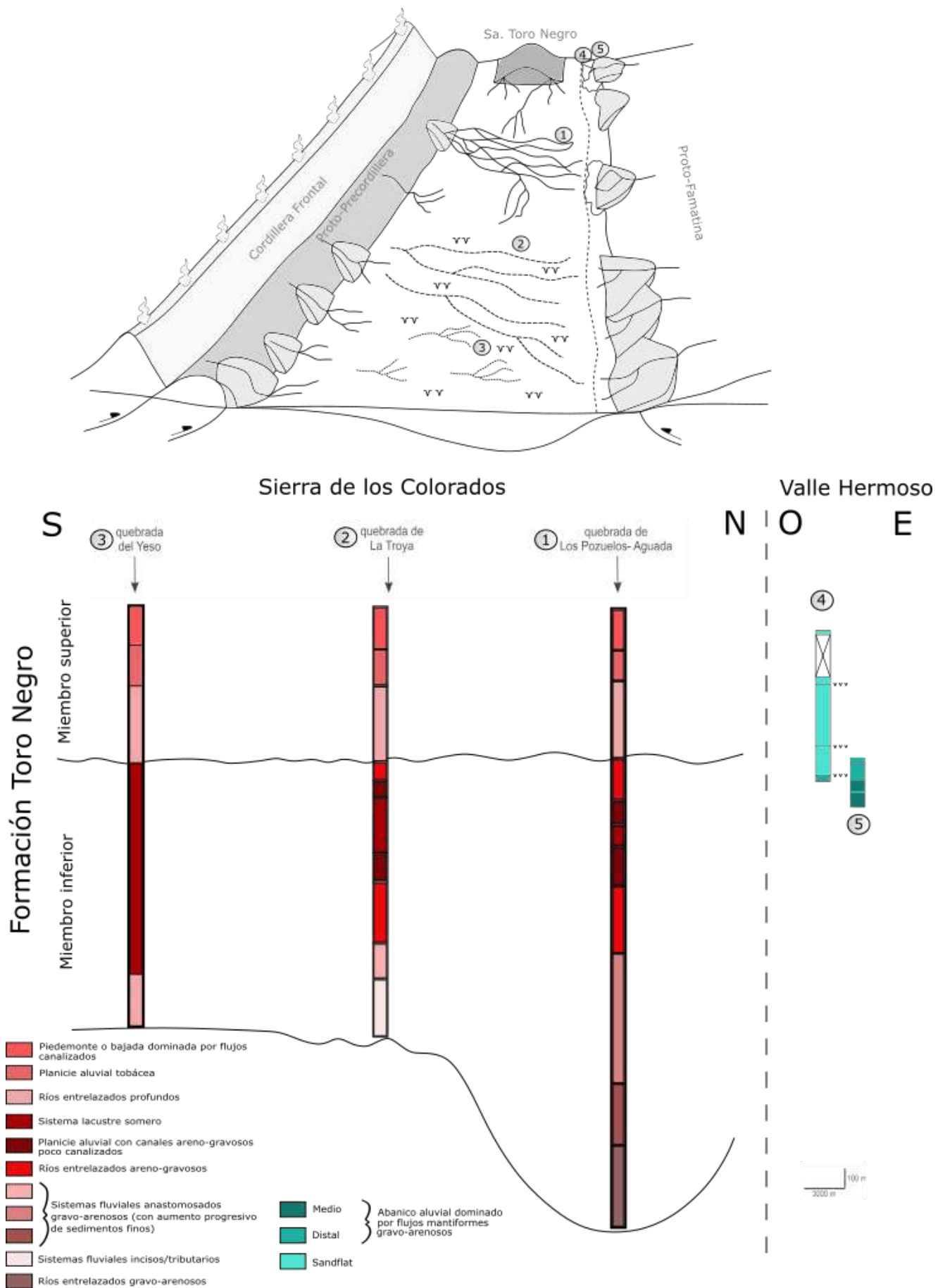


Figura 4.5. Ambientes paleogeográficos para la Formación Toro Negro en la Sierra de los Colorados (Ciccioli y Marensi, 2012) y Valle Hermoso (este trabajo). Notar que el estudio de Valle Hermoso carece de criterios de base y techo para ubicar estratigráficamente los perfiles.

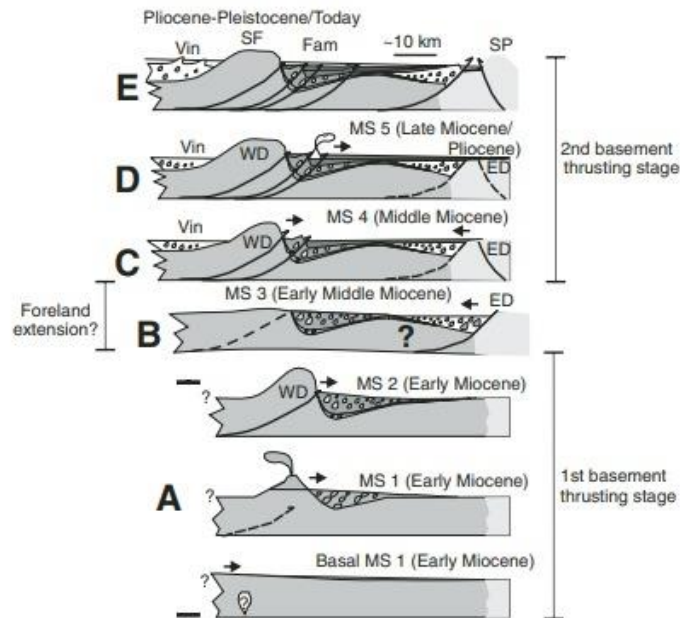


Figura 4.6. Evolución esquemática del Sistema de Famatina. MS: megasecuencias, Vin: Cuenca de Vinchina, SF: Sierra de Famatina, SP: Sierras Pampeanas (tomado de Dávila y Astini, 2007).



Figura 4.7. Aspecto de los bancos inclinados de la Formación Toro Negro en el perfil sedimentario B, Valle Hermoso.

Tabbutt (1990) menciona que la deformación más reciente registrada es un corrimiento que pone en contacto tectónico a los granitos ordovícicos de la Formación Nuñorco sobre la Formación Santa Florentina de edad plio-pleistocena (Figura 4.8), por lo que sugiere que la sierra mantiene una tectónica activa desde el Pleistoceno, e incluso aún en la actualidad. Estos dichos se condicen con los datos hallados de la estructura en la Sierra de Famatina en la sección 3.4, donde se observó que hay actividad neotectónica por el hallazgo de los contactos tectónicos de la Formación Nuñorco sobre la Formación De La Cuesta, y esta a su vez sobre depósitos plio-cuaternarios.

Edad	Cuenca de Fiambalá (Deri et al. 2021)	Cuenca de Vinchina (Limarino et al. 2017)	Famatina Central (Dávila y Astini 2007)
Pleistoceno	Fm. Rodados de la Puna	Fm. El Corral	Fm. Santa Florentina
Plioceno	Fm. Guanchín	Fm. Toro Negro	Fm. El Durazno
Mioceno	Fm. Tambería	Fm. Vinchina	Fm. Santo Domingo
			Fm. Del Buey
			Fm. Del Abra
			Fm. Del Crestón
Oligoceno		Fm. Vallecito	

Figura 4.8. Unidades equivalentes (tomado de Deri et al, 2021).

5. Conclusiones

Para comprender la evolución cenozoica del sector comprendido entre la Sierra de Famatina y las Sierras Pampeanas Occidentales (Sierras de Toro Negro y Espinal), se estudió la Formación Toro Negro, atribuida al Mioceno Tardío, y se analizaron las estructuras que afectan a las unidades cenozoicas en el río Grande de Valle Hermoso. Para la Formación Toro Negro se realizó un análisis sedimentológico y petrográfico en areniscas, para caracterizar la procedencia. Para comprender la estructura se identificaron fallas y pliegues que afectan a las formaciones Vinchina y Toro Negro y a los depósitos plio-cuaternarios.

- A partir del levantamiento de los perfiles sedimentarios se reconocieron depósitos conglomerádicos y arenosos tabulares formados por flujos mantiformes (sheetfloods) asociados a un ambiente de abanico aluvial y depósitos de planicie arenosa (sandflat), y donde se ha establecido que el perfil A pertenece a un sector más medio a distal del abanico, mientras que el perfil B se caracteriza por una posición más distal y de sandflat.
- En adición, el gradiente granulométrico disminuye hacia el oeste, lo que sugiere que el área de aporte estaría ubicada al este de estos perfiles.
- Los estudios petrográficos indican que las areniscas de la Formación Toro Negro están dominadas por litoarenitas feldespáticas principalmente, y feldarenitas líticas en menor medida, según el diagrama de clasificación de areniscas de Folk et al. (1970).
- Los resultados de las modas detríticas de las areniscas muestran una notable tendencia a agruparse dentro del campo de *arco transicional* y, en menor medida, en el campo de *arco disectado* de los diagramas de Dickinson et al. (1983). En tanto que, los resultados obtenidos por el diagrama complementario de Dickinson y Suczek (1979) para determinar cuánto aporte es de índole plutónico vs. cuánto aporte es volcánico, se observa que presentan un carácter de *orógeno reciclado* y, en menor proporción, de campo *mixto*.
- Se plantean dos áreas de aporte potenciales: la Sierra de Toro Negro, ubicada al oeste del área de estudio y la Sierra de Famatina, ubicada al este del área. Mediante el recalcu de los componentes modales representativos para cada área de aporte propuesta, se establece que el aporte principal coincide con las unidades expuestas en la Sierra de Famatina.
- Al comparar el análisis de procedencia con los estudios realizados en la Sierra de los Colorados (Ciccioli et al., 2014a; Amidon et al., 2016), se observa que las áreas fuente son distintas: mientras que en la Sierra de los Colorados domina el aporte de Cordillera Frontal, Precordillera y la Sierra de Toro Negro, en Valle Hermoso, domina el aporte de la Sierra de Famatina. Este estudio contribuye al modelo de Ciccioli et al. (2014a), que propone un sistema fluvial axial N-S entre la Sierra de los Colorados y la Sierra de Famatina, y restringe la ubicación del mismo al oeste de las sucesiones estudiadas.

- El estudio sobre la estructura en este trabajo permitió ampliar la información que se tiene del área, pudiendo así establecer nuevos sistemas de corrimientos hallados (Falla de Santa Clara, Falla de Catinzaco, Falla La Ciénaga), pliegues anticlinales y sinclinales, y evidenciar actividad neotectónica que afecta a los depósitos plio-cuaternarios. En adición, con el estudio focalizado en la sierra de Famatina se hallaron estructuras vinculadas con el levantamiento de la Sierra, que muestran una vergencia occidental.
- Según la determinación de edades absolutas, donde se obtuvo un valor de 9 Ma (Sarah Thomas, comunicación personal), la Formación Toro Negro comenzó a depositarse en los inicios del levantamiento de la Sierra de Famatina entre los 10-9 Ma. Posteriormente, los depósitos de la Formación Toro Negro se integraron al sistema estructural de la sierra, generando el plegamiento de la sucesión sedimentaria.

Agradecimientos

Quisiera empezar agradeciendo a la Universidad de Buenos Aires, a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales por ser mi hogar en estos años, y a todo el cuerpo docente del Departamento de Ciencias Geológicas por haberme enseñado y otorgado las herramientas que me formaron al día de hoy.

A mis jurados, los Dres Alfonsina y Maximiliano, cuyas correcciones y dedicación a la hora de revisar mi TFL me aportaron un gran conocimiento.

Un especial agradecimiento a mi director, Andrés, por haber confiado en mí para ser su tesista, y por seguir apostando a mi enseñanza, con quien tengo el agrado de poder seguir trabajando en los años siguientes.

A Eli, mi codirectora, a quien tuve el agrado de tener como ayudante durante mi carrera, y conocer la gran persona que es. Agradezco enormemente su paciencia, su exigencia para poder desarrollar mis puntos fuertes, y por salvarnos la vida cuando las cosas se complicaron en la ruta.

A mis compañeros de ruta, Kirk y Sari, con quienes forjamos un gran vínculo, cuyos conocimientos tan variados hicieron que la experiencia fuera aún más enriquecedora. Hoy tengo el orgullo de decir que son grandes colegas y profesionales.

A mis amistades, aquellas que me dio esta hermosa carrera, entre las que destaco a mi grupo de amigas, Agus, Magui, Nico C., Lei, Lupe, Sofi y Nati, las adoro con el alma. A Nico G., por ser prácticamente mi hermano geológico. A los Geófagos, Joa, Migue, Kirk, Jose y Jessi, con quienes compartí muchísimas risas y experiencias en el campo. A aquellas personas que fui cruzando en estos años y hoy forman gran parte de mi vida, Bren, Fio, Juani y Chris.

A las amistades que me dio la vida, mis mejores amigos Cami y Juli, quienes soportaron todos mis altibajos y siguen firmemente a mi lado. A Tami, por ser de mis mejores amigas del colegio, con quien nos vimos evolucionar en distintas etapas de nuestras vidas. A las amistades que me dio la EMPA, Lu, Tincho y Ani, quienes no me soltaron la mano.

A mi familia, que sin ella no hubiese podido llegar a donde estoy. A mis padres Alicia y Sergio, quienes hicieron todo lo posible para que nunca me faltase nada. A mis martas, mi madre y mi hermana Miri, la que siempre me sostuvo y supo darme las palabras justas para alentarme a cumplir todos mis sueños.

A mi novio, Tade, por sostenerme, por ser mi compañero y por amarme tan incondicionalmente.

A todos los mencionados, y a todos aquellos que alguna vez se cruzaron en mi camino, gracias. Gracias por cumplirme este sueño de ser Geóloga.

Bibliografía

- Aceñolaza, F., Toselli, A. J. 1977. Observaciones geológicas y paleontológicas sobre el Ordovícico de la zona de Chaschuil, Provincia de Catamarca. *Acta geológica lilloana*, 55-81.
- Amidon, W. H., Ciccioli, P. L., Marensi, S. A., Limarino, C. O., Fisher, G. B., Burbank, D. W., Kylander-Clark, A. 2016. U-Pb ages of detrital and volcanic zircons of the Toro Negro Formation, northwestern Argentina: Age, provenance and sedimentation rates. *Journal of South American Earth Sciences*, 70, 237-250.
- Armas, P., Cristofolini, E., Escribano, F., Camilletti, G., Barzola, M., Otamendi, J., Cisterna, C., Leisen, M., Romero, R., Barra, F., Tibaldi, A. 2021. Lower-middle ordovician sedimentary environment and provenance of the suri formation in the northern region of the Famatina belt, Catamarca, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 105, 102948.
- Azcuy, C.L. y J.R. Morelli 1970. Geología de la comarca Paganzo-Amaná. El Grupo Paganzo. Formaciones que lo componen y sus relaciones. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 25(4):405-429. Buenos Aires.
- Benedetto, J. 1994. Braquiópodos ordovícicos (Arenigiano) de la Formación Suri en la región del río Chaschuil, Sistema del Famatina, Argentina. *Ameghiniana*, 31(3), 221-238.
- Blair, T. C. 1999. Sedimentary processes and facies of the waterlaid Anvil Spring Canyon alluvial fan, Death Valley, California. *Sedimentology*, 46(5), 913-940.
- Blair, T. C. 2000. Sedimentology and progressive tectonic unconformities of the sheetflood-dominated Hell's Gate alluvial fan, Death Valley, California. *Sedimentary geology*, 132(3-4), 233-262.
- Blair, T. C., Bilodeau, W. L. 1988. Development of tectonic cyclothems in rift, pull-apart, and foreland basins: sedimentary response to episodic tectonism. *Geology*, 16(6), 517-520.
- Bodenbender, G. 1911. Constitución geológica de la parte meridional de La Rioja y regiones limítrofes, República Argentina. Academia Nacional de Ciencias, Boletín, tomo XIX, pp. 5-220. Córdoba.
- Bodenbender, G. 1912. Parte meridional de la provincia de La Rioja y regiones limítrofes. En *Anales del Ministerio de Agricultura, Sección Geología, Mineralogía y Minería* (Vol. 7, No. 3, pp. 1-156). Buenos Aires.
- Bodenbender, G. 1916. El Nevado de Famatina. Academia Nacional de Ciencias. Boletín, tomo XXI, pp. 100-182. Córdoba.
- Bodenbender, G. 1924. El calchaqueño y los estratos de la Puna de Penck. Academia Nacional de Ciencias. Boletín, tomo XXVII, pp. 405-468. Córdoba.
- Bonorino, F. G. 1950. Algunos problemas geológicos de las Sierras Pampeanas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 5(3), 6-110.

- Borrello, A., Cuerda, A. 1968. Grupo Río Huaco (Triásico). *San Juan: Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, Noticias*, 7, 3-15.
- Bracaccini, O. 1946. Contribución al conocimiento geológico de la Precordillera Sanjuanino-Mendocina.
- Buatois, L., Mángano, M. G. 1996. Sedimentación lacustre post-glacial en la Formación Agua Colorada, Carbonífero Superior del sistema de Famatina. En; Aceñolaza, F., Miller, H. y Toselli, A. *El Sistema de Famatina. Münchner Geologische Hefte*, 19, 103-124.
- Caminos, R. 1972. Perfil geológico de la Cordillera entre los 28° 00'y los 28° 30' de latitud sur, provincia de La Rioja, República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 27(1), 71-83.
- Candiani, J. C., Astini, R. A., Dávila, F., Collo, G., Ezpeleta, M., Alasino, P., Dahlquist, J., Carrizo, R., Miró, R. C. 2011. *Hojas Geológicas 2969-18 Famatina y 2969-24 Sañogasta*. Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales.
- Caselli, A. T., Limarino, C. O. 2002. Sedimentología y evolución paleoambiental de la Formación Patquía (Pérmico) en el extremo sur de la sierra de Maz y cerro Bola, provincia de La Rioja, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 57(4), 415-436.
- Césari, S. N., Limarino, C. O., Spalletti, L. A., Piñol, F. C., Loinaze, V. S. P., Ciccioli, P. L., Friedman, R. 2019. New UPb zircon age for the Pennsylvanian in Argentina: Implications in palynostratigraphy and regional stratigraphy. *Journal of South American Earth Sciences*, 92, 400-416.
- Ciccioli, P. L. 2008. Evolución paleoambiental, estratigrafía y petrología sedimentaria de la Formación Toro Negro (Neógeno), Sierras Pampeanas Noroccidentales (Provincia de La Rioja). Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires (inédita), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Argentina.
- Ciccioli, P. L. y Marensi, S. A. 2012. Paleoambientes sedimentarios de la Formación Toro Negro (Neógeno), antepaís fracturado andino, noroeste argentino. *Andean geology*, 39(3), 407-441.
- Ciccioli, P. L., Marensi, S. A., Limarino, C. O. 2004. Cambio en la arquitectura de los sistemas fluviales en el límite de las formaciones Vinchina y Toro Negro (Neógeno), Sierra de Los Colorados (Provincia de La Rioja). *Actas, 10º Reunión Argentina de Sedimentología*, San Luis, 42-44.
- Ciccioli, P. L., Limarino, C. O., Marensi, S. A. 2005. Nuevas edades radimétricas para la Formación Toro Negro en la Sierra de Los Colorados, Sierras Pampeanas Noroccidentales, provincia de La Rioja. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 60(1), 251-254.
- Ciocili, P. L., Limarino, C. O., Marensi, S. A., Tedesco, A. M., Tripaldi, A. 2010. Estratigrafía de la cuenca de vinchina (terciario), sierras pampeanas, provincia de la Rioja. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 66(1-2), 146-155.

- Ciccioli, P. L., Limarino, C. O., Marensi, S. A., Tedesco, A. M., Tripaldi, A. 2011. Tectosedimentary evolution of the La Troya and Vinchina depocenters (northern Bermejo Basin, Tertiary), La Rioja, Argentina. *Cenozoic Geology of the Central Andes of Argentina*, 91-110.
- Ciccioli, P. L., Marensi, S. A., Limarino, C. O. 2014a. Petrology and provenance of the Toro Negro Formation (Neogene) of the Vinchina broken-foreland basin (Central Andes of Argentina). *Journal of South American Earth Sciences*, 49, 15-38.
- Ciccioli, P. L., Limarino, C. O., Friedman, R., Marensi, S. A. 2014b. New high precision U-Pb ages for the Vinchina Formation: Implications for the stratigraphy of the Bermejo Andean foreland basin (La Rioja province, western Argentina). *Journal of South American Earth Sciences*, 56, 200-213.
- Ciccioli, P. L., Marensi, S. A., Amidon, W. H., Limarino, C. O., Kylander-Clark, A. 2018. Alluvial to lacustrine sedimentation in an endorheic basin during the Mio-Pliocene: the Toro Negro Formation, Central Andes of Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 84, 69-87.
- Collo, G., Dávila, F. M., Teixeira, W., Nóbile, J. C., Sant, L. G., Carter, A. 2017. Isotopic and thermochronologic evidence of extremely cold lithosphere associated with a slab flattening in the Central Andes of Argentina. *Basin Research*, 29(1), 16-40.
- Coughlin, T. J., O'Sullivan, P. B., Kohn, B. P., Holcombe, R. J. (1998). Apatite fission-track thermochronology of the Sierras Pampeanas, central western Argentina: Implications for the mechanism of plateau uplift in the Andes. *Geology*, 26(11), 999-1002.
- Dávila, F.M., Collo G., Astini R.A. y Gehrels G. 2008. U-Pb detrital ages on a tuffaceous sandstone sheet in the Vinchina Formation, La Rioja, Argentina: Deposition and exhumation implications. XVIII Congreso Geológico Argentino, Actas: 95-96, Jujuy.
- Deri, M., Ciccioli, P. L., Marensi, S. A., Amidon, W. 2021. Revisión estratigráfica de la sucesión neógena en el Bolsón de Fiambalá, Sistema de Famatina, Catamarca, Argentina.
- Dickinson, W. R. 1970. Interpreting detrital modes of graywacke and arkose. *Journal of Sedimentary Research*, 40(2), 695-707.
- Dickinson, W. R., Beard, L. S., Brakenridge, G. R., Erjavec, J. L., Ferguson, R. C., Inman, K. F., Knepp, R. A., Lindberg, F. A., Ryberg, P. T. 1983. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. *Geological Society of America Bulletin*, 94(2), 222-235.
- Dickinson, W. R., Suczek, C. A. 1979. Plate tectonics and sandstone compositions. *Aapg Bulletin*, 63(12), 2164-2182.
- Durand, F. R. 1996. La tectónica cenozoica del Sistema del Famatina. *Geología del Sistema del Famatina. Münchner Geologische Hefte A*, 19, 343-357.

- Faroux, R. 1969. Prospección geoquímica extremo septentrional Cerro Cuminchango. Plan La Rioja. Dirección Nacional de Minería y Geología. Informe inédito. La Rioja.
- Faroux, R. 1971. Descripción del Mosaico 27 D del Mapa Geológico Económico. Plan La Rioja. Dirección Nacional de Minería y Geología. 35 p. Buenos Aires.
- Fauqué, L. y Caminos, R. 2006. Hoja geológica 2969-II, Tinogasta, provincias de La Rioja, Catamarca y San Juan. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minera Argentino, Boletín 276, 139 p. Buenos Aires.
- Fernández Seveso, F., Pérez, M. A., Brisson, I. E., Alvarez, L. 1993. Sequence stratigraphy and tectonic analysis of the Paganzo Basin, western Argentina. In *International Congress on Carboniferous and Permian* (No. 12, pp. 223-260).
- Fidalgo, J., 1968. Algunos rasgos tectónicos y geomorfológicos de la sierra Sañogasta-Vilgo, Pcia de La Rioja, *Revista Asociación Geológica Argentina*, 18 (3-4).
- Folk, R. L., Andrews, P. B., Lewis, D. W. 1970. Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand. *New Zealand journal of geology and geophysics*, 13(4), 937-968.
- Fosdick, J. C., Reat, E. J., Carrapa, B., Ortiz, G., Alvarado, P. M. 2017. Retroarc basin reorganization and aridification during Paleogene uplift of the southern central Andes. *Tectonics*, 36(3), 493-514.
- Frenguelli, J. 1946. El Carbonífero argentino según sus fósiles. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 1(2).
- Frenguelli, J. 1949. Acerca de un nuevo descubrimiento de plantas en los Estratos del arroyo Totoral en la sierra de Los Llanos de La Rioja. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 4(3), 153-164.
- Frenguelli, J. 1950. Ichnites en el Paleozoico Superior del oeste argentino. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 5(3), 136-149.
- Frigerio, P. V., Cingolani, C. A., Stipp Basei, M. A. 2015. Caracterización petrográfica, geoquímica y edad U-Pb (ID-TIMS) de la Formación Espinal cerca del límite de Sierras Pampeanas con la Precordillera de Jagüé, La Rioja (Argentina). *Serie correlación geológica*, 31(1), 0-0.
- Gao, C., Ren, Y., Wang, J., Ji, Y., Liu, B., Xiong, L., Sun, Y., Wang, K., Liu, K. 2021. Palaeohydraulic reconstruction and depositional model of the episodic flooding channels developed in the modern arid alluvial fan: Implications for the exploration target of the heterogeneous alluvial fan reservoirs. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 205, 108927.
- Gazzi, P. 1966. Le arenarie del flysch sopracretaceo dell'Appennino modenese: correlazioni con il flysch di Monghidoro. *Mineralogica et Petrographica Acta*, 12, 69-97.

- Gulbranson, E. L., Montañez, I. P., Schmitz, M. D., Limarino, C. O., Isbell, J. L., Marensi, S. A., Crowley, J. L. 2010. High-precision U-Pb calibration of Carboniferous glaciation and climate history, Paganzo Group, NW Argentina. *Bulletin*, 122(9-10), 1480-1498.
- Gutiérrez, P. R. 1995. Nuevos registros paleoflorísticos para la Formación Agua Colorada, Carbonífero Superior. En el sector sudoriental de la sierra de Famatina, provincia de La Rioja, Argentina. *Ameghiniana*, 32(2), 111-128.
- Harrington, H.J. y Leanza, A.F. 1957. Ordovician trilobites of Argentina. En: Special Publication (1), Department of Geology, University of Kansas.
- Hausen, H. 1921. *On the Lithology and Geological Structure of the Sierra de Umango Area, Province of La Rioja, Argentine Republic: A Contribution to the Knowledge of the Sub-Andean Border of the Structural Element of the "Sierras Pampeanas"* (Vol. 1, No. 4).
- Herron, E. M., Heirtzler, J. R. 1967. Sea-floor spreading near the Galapagos. *Science*, 158(3802), 775-780.
- Ingersoll, R. V., Bullard, T. F., Ford, R. L., Grimm, J. P., Pickle, J. D., Sares, S. W. 1984. The effect of grain size on detrital modes: a test of the Gazzi-Dickinson point-counting method. *Journal of Sedimentary Research*, 54(1), 103-116.
- Jordan, T. E., Allmendinger, R. W. 1986. The Sierras Pampeanas of Argentina; a modern analogue of Rocky Mountain foreland deformation. *American Journal of Science*, 286(10), 737-764.
- Krapovickas, V., Ciccioli, P. L., Mángano, M. G., Marsicano, C. A., Limarino, C. O. 2009. Paleobiology and paleoecology of an arid-semiarid Miocene South American ichnofauna in anastomosed fluvial deposits. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 284(3-4), 129-152.
- Krapovickas, V., Munoz, N. A., Alonso-Muruaga, P. J., Ciccioli, P. L., Marensi, S., Vizcaíno, S. F. 2017. Tracheria Troyana (Krapovickas and Nasif, 2011): redefinition, environmental distribution, and heritage conservation. *Ichnos*, 25(2-3), 221-231.
- Limarino, C. O. 1984. Areniscas eólicas en la Formación La Colina (Paleozoico superior), provincia de La Rioja. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 39(1-2), 58-67.
- Limarino, C. O. 1987. Paleoambientes sedimentarios y paleogeografía de la sección inferior del Grupo Paganzo en el Sistema del Famatina. In *Anales de la Academia de Ciencias Exactas Físicas y Naturales* (Vol. 39, pp. 149-178).
- Limarino, C. O., Tripaldi, A., Caselli, A., Marensi, S., Ré, G., Net, L. 1999. Facies, paleoambientes depositacionales y edad de la Formación Vinchina, Neógeno, provincia de La Rioja. In *XIV Congreso Geológico Argentino Actas* (Vol. 1, p. 65).

- Limarino, C. O., Ciccioli, P. L., Marensi, S. A. 2010. Análisis del contacto entre las formaciones Vinchina y Toro Negro (Sierra de los Colorados, provincia de La Rioja, Argentina), sus implicancias tectónicas. *Latin American journal of sedimentology and basin analysis*, 17(2), 113-132.
- Limarino, C. O., Spalletti, L. A., Colombo Piñol, F. 2010. Evolución paleoambiental de la transición glacial-postglacial en la Formación Agua Colorada (Grupo Paganzo), Carbonífero, Sierra de Narváez, NO argentino. *Andean geology*, 37(1), 121-143.
- Limarino, C. O., Ciccioli, P. L., Krapovickas, V., Benedito, L. D. 2016. Estratigrafía de las sucesiones mesozoicas, paleógenas y neógenas de las quebradas Santo Domingo y El Peñón (Precordillera septentrional riojana). *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 73(3), 301-318.
- Limarino, C. O., Marensi, S. A., Ciccioli, P. L., Tedesco, A. M. 2017. Estratigrafía cenozoica de las cuencas de antepaís de las Sierras Pampeanas Noroccidentales y Precordillera de La Rioja.
- Limarino, C. O., Ciccioli, P. L., Marensi, S., Césari, S. N., Friedman, R. 2021. U-Pb ages and environmental evolution of the De La Cuesta Formation (late Paleozoic): Record of the Choiyoi Volcanism in the retroarc area of the Paganzo Basin, Western Gondwana. *Journal of South American Earth Sciences*, 112, 103531.
- Lopez, J. P. 2004. Los cuerpos graníticos del Nevado del Famatina: vigencia de las observaciones realizadas por Bodenbender un siglo atrás. *Instituto Superior de Correlación Geológica, Serie Miscelanea*, 13, 35-36.
- Loske, W., Miller, H., Aceñolaza, F. G., Toselli, A. 1996. Sistemática U-Pb de circones del granito de Ñuñorco-Sañogasta. *Geología del Sistema de Famatina. Münchner Geologische Hefte, München, Alemania*, 19, 221-227.
- Lucassen, F., Becchio, R. 2003. Timing of high-grade metamorphism: Early Palaeozoic U–Pb formation ages of titanite indicate long-standing high-T conditions at the western margin of Gondwana (Argentina, 26–29 S). *Journal of Metamorphic Geology*, 21(7), 649-662.
- Maisonave, H. M. 1973. Estratigrafía de los alrededores de Chaschuil, departamento Tinogasta, provincia de Catamarca. 5º Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 75-87. Buenos Aires.
- Maisonave, H. M. 1979. Descripción Geológica de la hoja 14c, Cerros Cuminchango: provincias de La Rioja y Catamarca.
- Mángano, M. G., Buatois, L. A. 1994. Estratigrafía y ambiente de sedimentación de la Formación Suri en los alrededores del río Chaschuil, Ordovícico del Sistema del Famatina, noroeste argentino. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología*, 1(2), 143-169.
- Marensi, S. A., Net, L. I., Caselli, A., Tripaldi, A., Limarino, C. O. 2000. Hallazgo e interpretación de discordancias intraformacionales en la Formación Vinchina (Neógeno), quebrada de La Troya, La Rioja, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 55(4), 414-418.

- Miall, A. D. 1977. Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary.
- Miall, A. D. 1985. Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth-Science Reviews*, 22(4), 261-308.
- Miall, A. D. 2013. *The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology*. Springer.
- Miró, R. C. 1999. El basamento Precámbrico-Paleozoico inferior de las Sierras Pampeanas, Famatina, Cordillera Oriental y Puna. In *Geología Argentina. Anales* (Vol. 29, No. 6, pp. 133-167).
- Otamendi, J. E., Ducea, M. N., Cristofolini, E. A., Tibaldi, A. M., Camilletti, G. C., Bergantz, G. W. 2017. U-Pb ages and Hf isotope compositions of zircons in plutonic rocks from the central Famatinian arc, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 76, 412-426.
- Ramos, V. A. 1970. Estratigrafía y estructura del Terciario en la sierra de los Colorados (Provincia de La Rioja), República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 25(3), 359-382.
- Ramos, V.A., Jordan, T. E., Allmendinger, R.W., Mpodozis, C., Kay, S.M., Cortés J.M. y Palma, M.A. 1986. Paleozoic terranes of central Argentine-Chilean Andes. *Tectonics*, 5(6): 855-880.
- Ramos, V. A., Cristallini, E. O., Pérez, D. J. (2002). The Pampean flat-slab of the Central Andes. *Journal of South American earth sciences*, 15(1), 59-78.
- Rapela, C. W., Coira, B., Toselli, A. J., Saavedra Alonso, J. 1992. El magmatismo del Paleozoico inferior en el Sudoeste de Gondwana.
- Ré, G.H. y Barredo, S.P. 1995. Esquema de correlación magnetoestratigráfica de formaciones terciarias aflorantes en las provincias de San Juan, La Rioja y Catamarca. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 48(3-4):241-246. Buenos Aires.
- Ré, G. H. y Vilas, J. F. 1990. Análisis de los cambios paleogeográficos ocurridos durante el Cenozoico tardío, en la región de Vinchina (provincia de La Rioja), a partir de estudios magnetoestratigráficos. In *Congreso Geológico Argentino* (No. 11, pp. 267-270)
- Schencman, L. J. 2016. Arquitectura de sistemas fluviales, modelos depositacionales y estratigrafía secuencial en cuencas de antepaís: la Formación Vinchina, un caso de estudio. *Tesis doctoral*. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.
- Schencman, L. J., Marensi, S. A., Díaz, M. 2018. Evolución paleoambiental de la Formación Vinchina (Mioceno) en la sierra de Los Colorados, La Rioja, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 75(1), 17-38.

- Somoza, R., Ghidella, M. E. 2005. Convergencia en el margen occidental de América del Sur durante el Cenozoico: subducción de las placas de Nazca, Farallón y Aluk. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 60(4), 797-809.
- Starck, D. 2011. Cuenca Cretácica-Paleógena del noroeste argentino. In *Simposio Cuencas Argentinas: Visión actual, VIII Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mar del Plata: Buenos Aires, Instituto Argentino del Petróleo y del Gas* (pp. 1-48).
- Tabbutt, K. D. 1990. Temporal constraints on the tectonic evolution of Sierra de Famatina, northwestern Argentina, using the fission-track method to date tuffs interbedded in synorogenic clastic sedimentary strata. *The Journal of Geology*, 98(4), 557-566.
- Tanner, P. G. 1989. The flexural-slip mechanism. *Journal of Structural Geology*, 11(6), 635-655.
- Toselli, G. A. 1977. El Paleozoico inferior y medio de la región de Volcancito, sierra de Famatina, Provincia de La Rioja, Rep. Argentina. *Acta Geológica Lilloana*, 83-104.
- Tripaldi, A. 2001. Análisis sedimentológico de depósitos eólicos de valles intermontanos: su aplicación al estudio de secuencias terciarias del noroeste argentino. *Tesis doctoral*. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.
- Tripaldi, A., Limarino, C. O. 2005. Vallecito Formation (Miocene): The evolution of an eolian system in an Andean foreland basin (northwestern Argentina). *Journal of South American Earth Sciences*, 19(3), 343-357.
- Turner, J.C.M. 1960. Estratigrafía del tramo medio de la Sierra de Famatina y adyacencias (La Rioja). Academia Nacional de Ciencias, Boletín 42:77-126. Córdoba.
- Turner, J.C.M. 1962. Estratigrafía del tramo medio de la Sierra de Velasco y región al oeste (La Rioja). Academia Nacional de Ciencias, Boletín 42:5-54. Córdoba.
- Turner, J.C.M. 1964. Descripción Geológica de la Hoja 15 c, Vinchina. Provincia de la Rioja. Escala 1:200.000. Carta Geológico-Económica de la República Argentina. Boletín 100, 89 p. Buenos Aires, Dirección Nacional de Geología y Minería.
- Turner, J.C.M. 1967. Descripción geológica de la Hoja 13b-Chaschuil, provincias de Catamarca y La Rioja. Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín 106. Buenos Aires.
- Villar Fabre, J. F., González, R., Toselli, A. J. 1973. Los lamprófiro intrusivos del granito de la Cuesta de Miranda. *Acta Geol. Lilloana*, 12(3), 37.
- Yáñez, G., Cembrano, J., Pardo, M., Ranero, C., Selles, D. 2002. The Challenger–Juan Fernández–Maipo major tectonic transition of the Nazca–Andean subduction system at 33–34 S: geodynamic evidence and implications. *Journal of South American Earth Sciences*, 15(1), 23-38.

- Zoraires, S. N. 2019. Geología de los alrededores de la quebrada del Jume, Valle Hermoso, provincia de la Rioja, República Argentina. *Tesis de Grado*. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

Anexo Petrográfico

Muestra TNF1 (Figura 1). Corte petrográfico de muestra del perfil A.

La muestra corresponde a una arenisca mal seleccionada, con tamaños de grano de entre 0,06 y 1,3 mm que se presentan subangulosos a angulosos. La textura es clasto-sostén, con algunos sectores con cemento ligante, otorgándole una textura flotante. Los contactos son tangenciales y rectos.

La fracción clástica corresponde al 90%, y contiene 25% de clastos de cuarzo monocristalino generalmente con extinción normal, aunque se han observado granos con extinción ondulante.

Los feldespatos (30%), se presentan con su forma tabular característica, y muchos de ellos con alteración a sericita y carbonatos. El individuo predominante es la variedad ortosa (12%), seguido de plagioclasa (6%) con macla polisintética, aunque también se encuentran aquellos feldespatos descriptos con intercrecimientos de plagioclasa y feldespato potásico (6%) y microclino (3%) con su macla en arpillera.

Los fragmentos líticos (40%), corresponden a volcanitas ácidas con textura vitrofírica, afírica y seriada (16%), con textura de desvitrificación y algunas alteradas a carbonatos; líticos plutónicos-graníticos (12%), en donde se encontró un ejemplar de feldespato potásico con textura gráfica, volcanitas básicas a intermedias con textura porfírica con pastas intersertales (8%) y rocas metamórficas de medio a alto grado (1%). También se encuentran fragmentos de areniscas de grano fino (1%) de composición principalmente cuarcítica, con pátinas de óxidos de hierro y arcillas, y cuarzo policristalino (3%) con más de tres cristales.

El resto de la fracción clástica corresponde a minerales accesorios (5%), entre los que se encuentran anfíboles anaranjados, micas de variedad muscovita y biotita con coloraciones marrones en cristales alargados, y opacos.

El cemento corresponde al 10% restante y está constituido por carbonatos con textura microgranular, y cemento utilizado para ligar a la muestra.

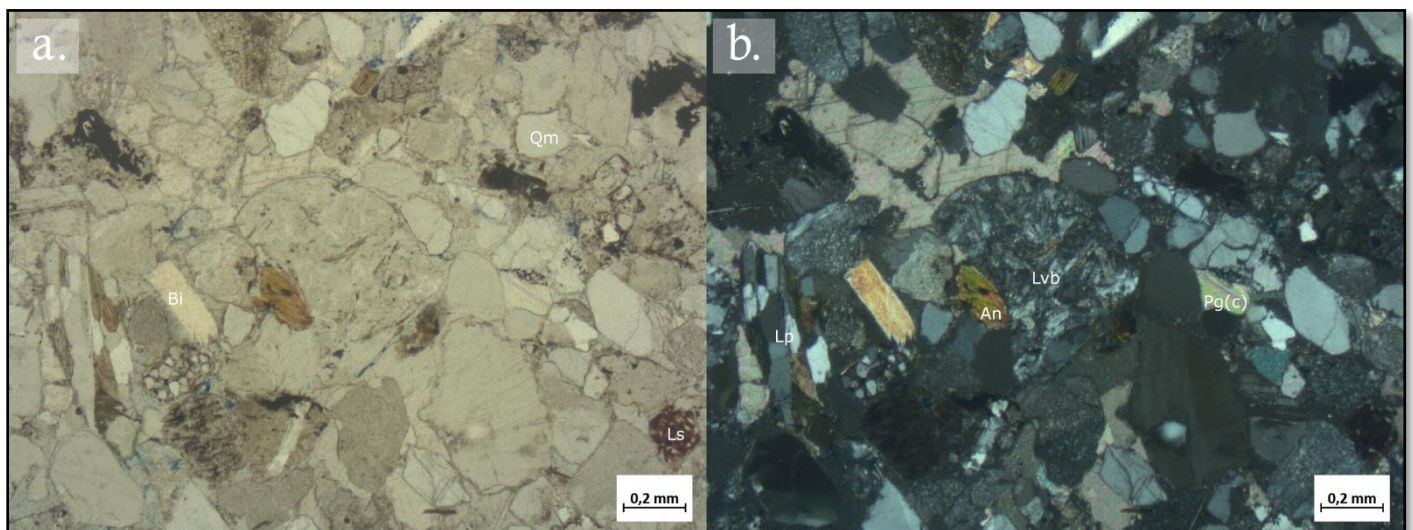


Figura 1. Muestra TNF1 al microscopio, a. nicols paralelos; b. nicols cruzados. Bi: biotita, Qm: cuarzo monocristalino, Ls: lítico sedimentario, Lp: lítico plutónico, An: anfíbol, Lvb: lítico volcánico básico, Pg(c): plagioclasa alterada a carbonato.

Muestra TNF2 (Figura 2). Corte petrográfico de muestra del perfil A.

La muestra corresponde a una arenisca muy mal seleccionada, con tamaños de grano de entre 0,06 y 2,5 mm que se presentan subangulosos a subredondeados. La textura es mayormente clasto-sostén, con algunos sectores de textura flotante. Los contactos son tangenciales y rectos.

La fracción clástica corresponde al 90%, y contiene 23% de cuarzo total, donde la fracción monocristalina (20%) presenta extinción normal y ligeramente ondulante. Muchos de sus ejemplares se encuentran muy fracturados. También se encuentra cuarzo policristalino (3%).

Los feldespatos (22%), con alteración a sericita, se presentan en formas tabulares. Las variedades son feldespatos con intercrecimientos (9%), ortosa (7%), plagioclasa (5%) con su macla polisintética y microclino (<1%) con su macla en arpillera.

Los fragmentos líticos (47%), corresponden a volcanitas ácidas con textura afírica-microgranosa y seriada (20%), líticos plutónicos-graníticos (17%), volcanitas básicas a intermedias con textura porfírica con pastas pilotácicas (8%) y rocas metamórficas de medio a alto grado (1%). También se encuentran fragmentos de areniscas de grano fino (1%) de composición principalmente cuarcítica.

El resto de la fracción clástica corresponde a minerales accesorios (8%), entre los que se encuentran micas con variedad muscovita y biotita con coloraciones marrones, en cristales alargados, anfíboles verdes y anaranjados, y opacos.

El cemento (10%) conforma una parte carbonática y otra de cemento ligante.

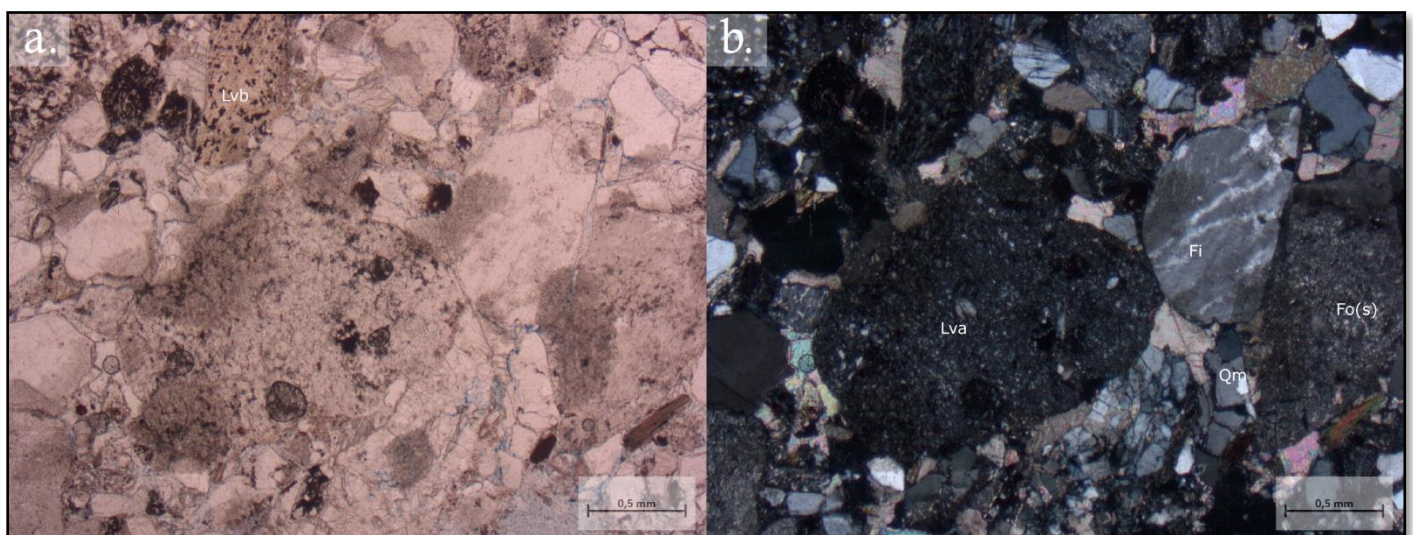


Figura 2. Muestra TNF2 al microscopio, a. nicoles paralelos; b. nicoles cruzados. Lvb: lítico volcánico básico, Lva: lítico volcánico ácido, Fi: feldespato con intercrecimientos de plagioclasa y feldespato potásico, Fo(s): feldespato potásico variedad ortosa, con alteración a sericita, Qm: cuarzo monocristalino (ejemplar fracturado).

Muestra TNF3 (Figura 3). Corte petrográfico de muestra del perfil A.

La muestra corresponde a una arenisca moderadamente seleccionada, con tamaños de grano de entre 0,01 y 0,3 mm que se presentan subangulosos a angulosos. La textura es mayormente clasto-sostén, con algunos sectores de textura flotante. Los contactos son tangenciales y rectos.

La fracción clástica corresponde al 97%, y contiene 30% de cuarzo total, donde la fracción monocristalina (25%) presenta extinción normal y ondulosa. También se encuentra cuarzo policristalino (5%).

Los feldespatos (30%) presentan alteración a sericita. La variedad predominante es la ortosa (15%), seguida por los feldespatos con intercrecimientos (9%), plagioclasas (5%) con macla en peine y microclino (<1%) con macla en arpillera.

Los fragmentos líticos (35%), corresponden a volcanitas ácidas con textura microporfírica, seriada y afírica-microgranosa (15%) donde la textura de desvitrificación es muy común, líticos plutónicos-graníticos (10%), algunos con feldespatos con textura gráfica, volcanitas básicas a intermedias con textura porfírica con pastas pilotáxicas (7%), fragmentos de areniscas de grano fino (2%) y rocas metamórficas de medio a alto grado (1%).

El resto de la fracción clástica corresponde a minerales accesorios (5%), entre los que se encuentran micas como biotita de coloraciones amarronadas y muscovita, anfíboles verdes y anaranjados y opacos.

El porcentaje restante (3%) corresponde a cemento de origen carbonático y cemento utilizado para ligar a la muestra.

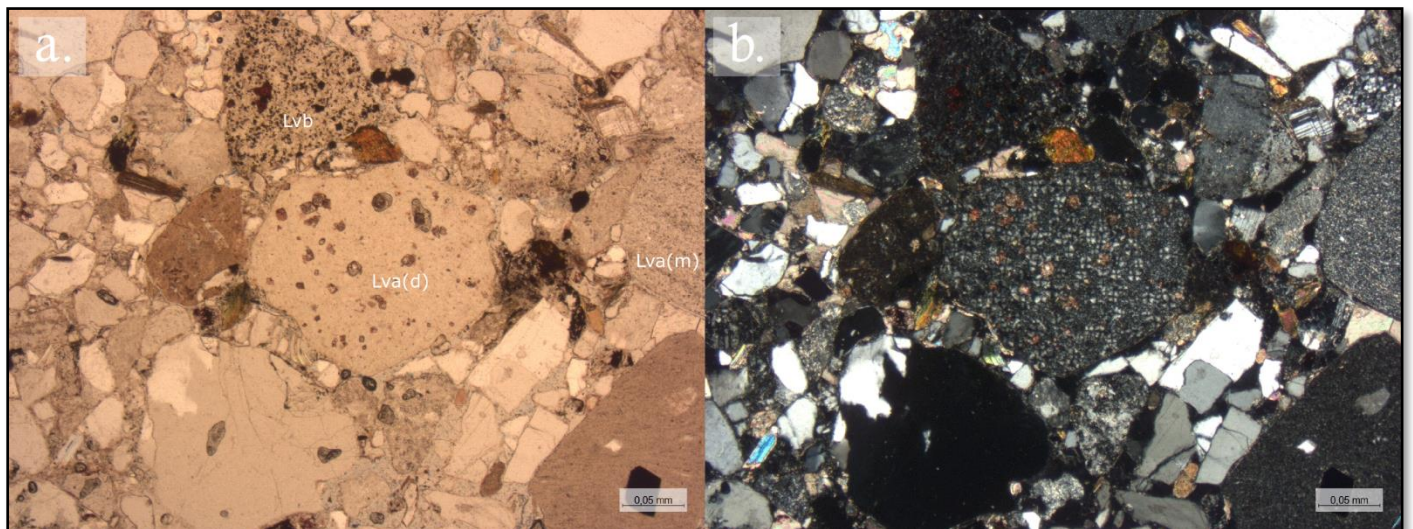


Figura 3. Muestra TNF3 al microscopio, a. nicoles paralelos; b. nicoles cruzados. Lvb: lítico volcánico básico, Lva(m): lítico volcánico ácido con textura microgranosa, Lva(d): lítico volcánico ácido con textura de desvitrificación.

Muestra TNF4 (Figura 4). Corte petrográfico de muestra del perfil A.

La muestra corresponde a una arenisca mal seleccionada, con tamaños de grano de entre 0,06 y 1,5 mm que se presentan subangulosos a subredondeados. La textura es clasto-sostén, con algunos sectores con cemento ligante y carbonático, otorgándole una textura flotante. Los contactos son tangenciales y rectos.

La fracción clástica corresponde al 90%, y contiene 25% de clastos de cuarzo monocristalino generalmente con extinción normal y ondulosa.

Los feldespatos (25%), se presentan con su forma tabular característica o fracturados, con mucha alteración a sericita y carbonatos. El individuo predominante es la variedad ortosa (10%), plagioclasa (8%) con macla polisintética. También se encuentran feldespatos con intercrecimientos de plagioclasa y feldespato potásico (6%), y microclino (1%) con macla en arpillera.

Los fragmentos líticos (45%), corresponden a líticos plutónicos (18%), con individuos alterados a sericita; volcanitas ácidas con textura vitrofírica, afírica y seriada (14%), con textura de desvitrificación y algunas alteradas a carbonatos; volcanitas básicas a intermedias con textura porfírica con pastas intersertales y pilotáxicas (8%) y rocas metamórficas de medio a alto grado (1%). También se encuentran fragmentos de areniscas de grano fino (2%) con cemento ferroso y arcilloso y predominancia de clastos de cuarzo, y cuarzo policristalino (2%) con más de tres cristales.

El resto de la fracción clástica corresponde a minerales accesorios (5%), que consta principalmente de anfíboles (3%), con coloraciones verdes y amarronadas, micas como biotitas pardas y muscovitas (<1%), y opacos (<1%).

El cemento corresponde al 10% restante y está constituido por carbonatos con textura microgranular, formando parches por sectores.

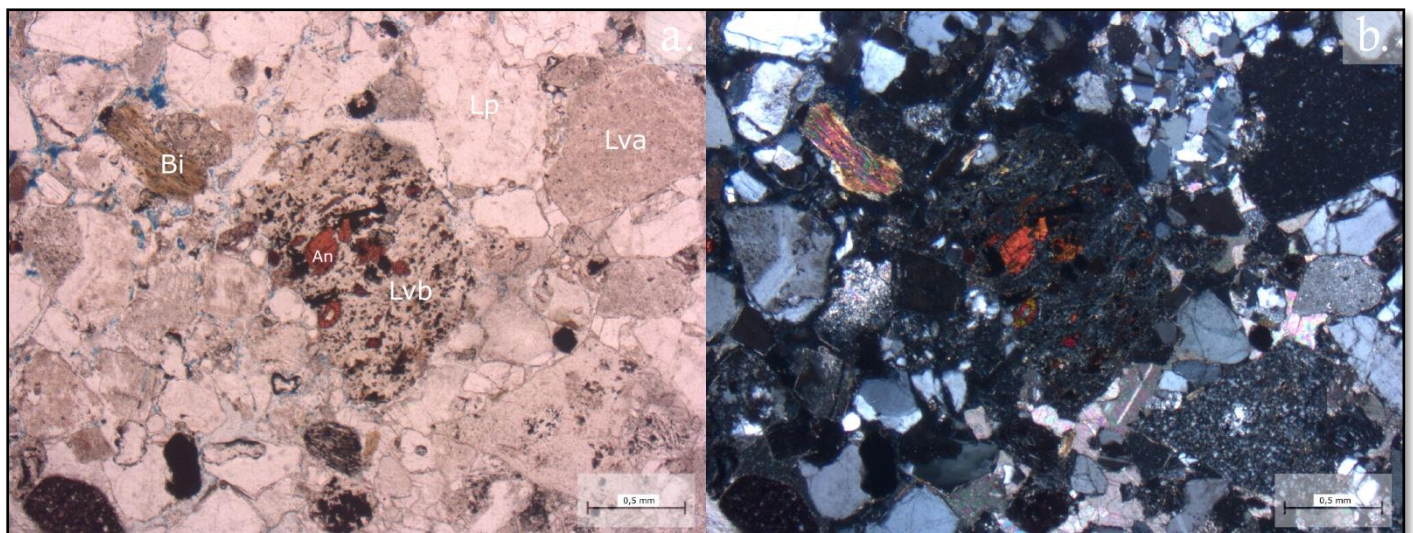


Figura 4. Muestra TNF4 al microscopio, a. nicols paralelos; b. nicols cruzados. Bi: biotita, An: anfíbol, Lvb: lítico volcánico básico, Lp: lítico plutónico, Lva: lítico volcánico ácido.

Muestra TNF5 (Figura 5). Corte petrográfico de muestra del perfil A.

La muestra corresponde a una arenisca mal seleccionada, con tamaños de grano de entre 0,04 y 1,75 mm que se presentan subangulosos a angulosos. La textura es clasto-sostén, con algunos sectores con cemento ligante, otorgándole una textura flotante. Los contactos son tangenciales y rectos.

La fracción clástica corresponde al 95%, y contiene 25% de clastos de cuarzo monocristalino generalmente con extinción normal y ondulosa.

Los feldespatos (35%), se presentan con su forma tabular característica con alteración a sericita y arcillas. Se puede encontrar la variedad ortosa (15%), plagioclasa (11%) con macla polisintética y en peine. También se encuentran aquellos feldespatos descriptos con intercrecimientos de plagioclasa y feldespato potásico (6%), y microclino (3%) con macla en arpillera.

Los fragmentos líticos (35%), corresponden mayoritariamente a líticos plutónicos-graníticos (15%) con un ejemplar de feldespato potásico con textura gráfica; volcanitas ácidas con textura vitrofírica, afírica y seriada (10%); volcanitas básicas a intermedias con textura porfírica con pastas pilotácicas, intersertales (5%) y fragmentos de areniscas de grano fino (2%) con óxidos de hierro como pátinas y cemento y composición predominante cuarcítica. Por último, cuarzo policristalino (2%) con más de tres cristales y rocas metamórficas de medio a alto grado (1%).

El resto de la fracción clástica corresponde a minerales accesorios (5%), entre los que se encuentran micas como biotita amarronada y muscovita, anfíboles verdes y marrones, y opacos.

El (5%) restante consta de cemento utilizado para enlazar la muestra.

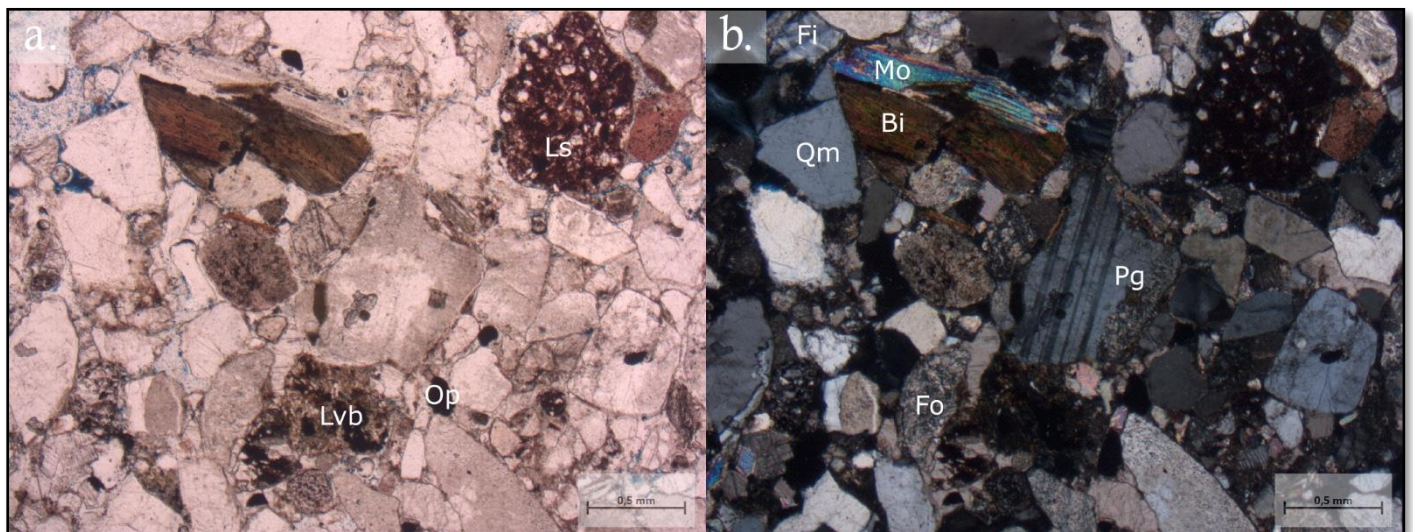


Figura 5. Muestra TNF5 al microscopio, a. nicoles paralelos; b. nicoles cruzados. Lvb: lítico volcánico básico, Op: opacos, Ls: lítico sedimentario, Fi: feldespato con intercrecimiento de feldespato potásico y plagioclasa, Mo: muscovita, Bi: biotita, Qm: cuarzo monocristalino, Pg: plagioclasa, Fo: feldespato potásico variedad ortosa.

Muestra TNF6 (Figura 6). Corte petrográfico de muestra del perfil A.

La muestra corresponde a una arenisca mal seleccionada, con tamaños de grano de entre 0,06 y 1,2 mm que se presentan subangulosos a subredondeados. La textura es clasto-sostén, por sectores flotante, dado que se encuentra inmerso en cemento ligante, arcilloso o carbonático. Los contactos son tangenciales y rectos.

La fracción clástica corresponde al 95%, y contiene 23% de clastos de cuarzo monocristalino generalmente con extinción normal y ondulosa.

Los feldespatos (30%), con geometría tabular alterados a sericita y carbonatos. El individuo mayoritario es la variedad ortosa (14%), seguido por plagioclasa (10%) con macla polisintética. Continúan con feldespatos con intercrecimientos de plagioclasa y feldespato potásico (5%), y microclino (1%) con macla en arpillera.

Los fragmentos líticos (44%), corresponden a volcanitas ácidas con textura vitrofírica, afírica y seriada (16%), con textura de desvitrificación y algunas alteradas a arcillas; líticos plutónicos (14%), volcanitas básicas a intermedias con textura porfírica con pastas intersertales y pilotáxicas (10%) y rocas metamórficas de medio a alto grado (2%). También se encuentran fragmentos de areniscas de grano fino (1%) de composición predominante cuarcítica, con pátinas de óxidos de hierro y arcillas, y cuarzo policristalino (1%).

El resto de la fracción clástica corresponde a minerales accesorios (3%), entre los que se encuentran biotitas amarronadas, anfíboles verdes y pardos, y opacos.

El 5% restante corresponde al material que se utilizó para cementar mayormente, seguido de cemento arcilloso y cemento carbonático (en parches).

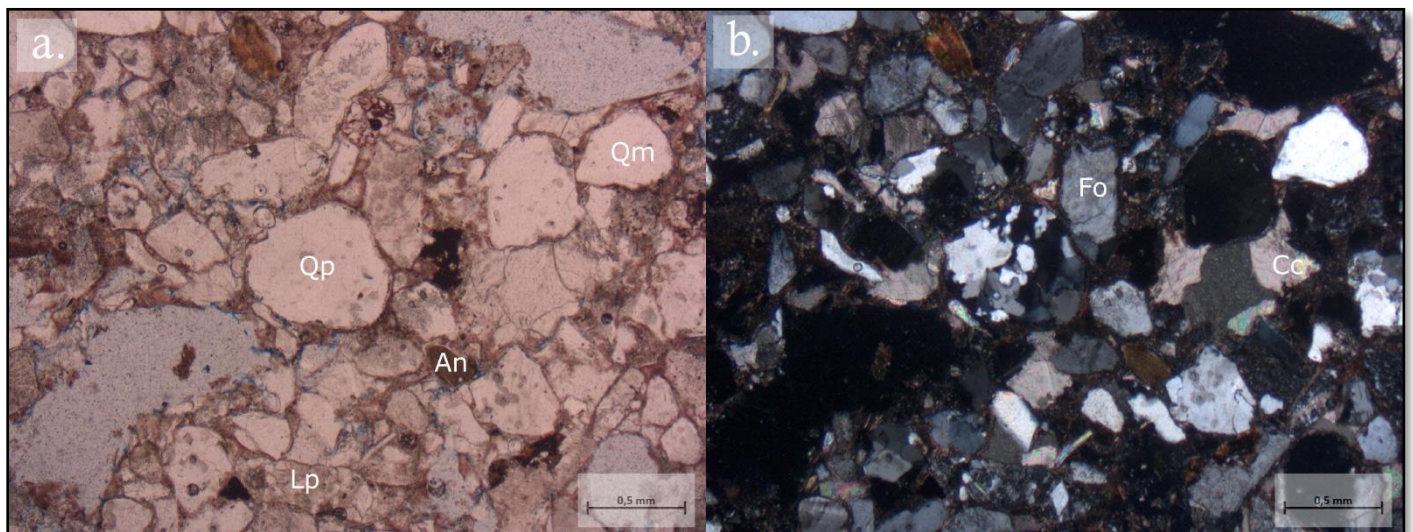


Figura 6. Muestra TNF6 al microscopio, a. nicoles paralelos; b. nicoles cruzados. Qp: cuarzo policristalino, An: anfíbol, Lp: lítico plutónico, Qm: cuarzo monocristalino, Fo: feldespato potásico variedad ortosa, Cc: cemento carbonático (en parches).

Muestra TNF7 (Figura 7). Corte petrográfico de muestra del perfil A.

La muestra corresponde a una arenisca muy mal seleccionada, con tamaños de grano de entre 0,03 y 3 mm que se presentan subangulosos a subredondeados. La textura es clasto-sostén, por sectores con textura flotante. Los contactos son tangenciales y rectos.

La fracción clástica corresponde al 95%, y contiene 20% de clastos de cuarzo monocristalino con extinción normal y ondulosa.

Los feldespatos (25%), se presentan con su forma tabular característica, con alteración a sericita y arcillas. El individuo predominante es la variedad ortosa (15%), seguido por plagioclasa (8%) con macla polisintética y también con alteración a carbonatos, feldespatos con intercrecimientos de plagioclasa y feldespato potásico (2%), y microclino (1%).

Los fragmentos líticos (50%), corresponden a volcanitas ácidas con textura vitrofírica, afírica y seriada (15%), algunas alteradas a carbonatos; líticos plutónicos (15%), volcanitas básicas a intermedias con textura porfírica con pastas pilotáxicas (10%). También se encuentran fragmentos de areniscas de grano fino (8%) de composición predominante cuarcítica, con pátinas y cemento de óxidos de hierro y arcillas. Por último, cuarzo policristalino (1%) y rocas metamórficas de medio a alto grado (<1%).

El resto de la fracción clástica corresponde a minerales accesorios (5%), entre los que se encuentran anfíboles verdes y anaranjados, micas con variedad muscovita y biotita. Por último, opacos.

El cemento carbonático (y ligante) corresponden al 5% restante.

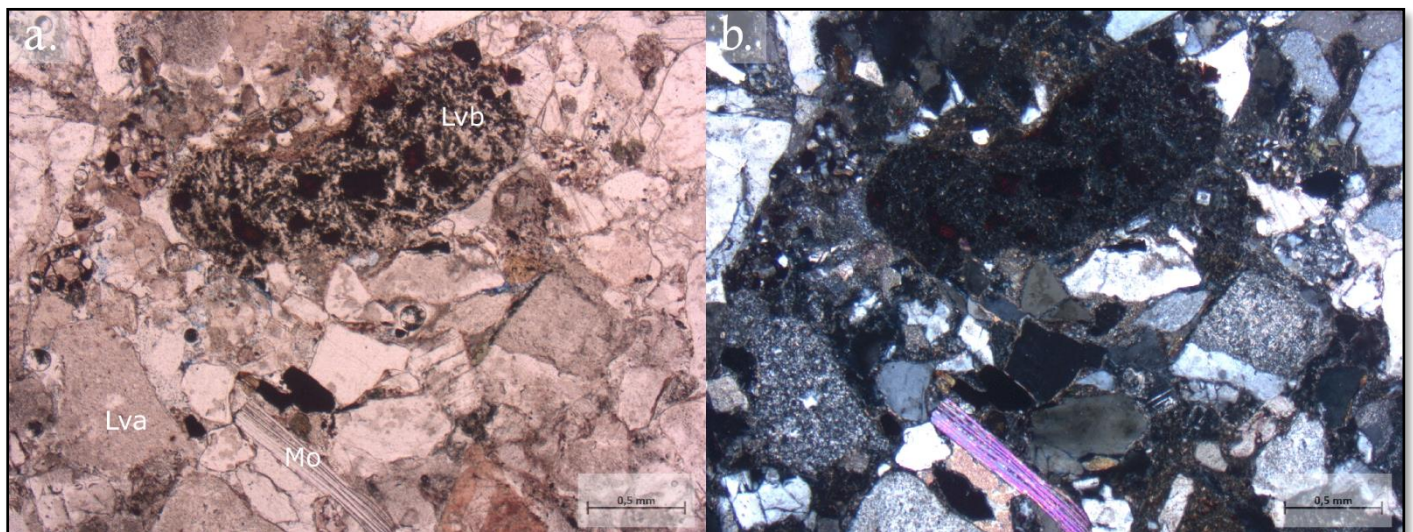


Figura 7. Muestra TNF7 al microscopio, a. nicols paralelos; b. nicols cruzados. Lvb: lítico volcánico básico, Lva: lítico volcánico ácido, Mo: muscovita.

Muestra VH0 (Figura 8). Corte petrográfico de muestra del perfil B.

La muestra corresponde a una arenisca moderadamente seleccionada, con tamaños de grano de entre 0,04 y 1,5 mm que se presentan subangulosos a angulosos. La textura es clasto-sostén, por sectores flotante. Los contactos son tangenciales y rectos.

La fracción clástica corresponde al 95%, y contiene 20% de clastos de cuarzo monocristalino con extinción normal y ondulosa.

Los feldespatos (30%), se presentan con su forma tabular característica, y muchos de ellos con alteración a sericita y carbonatos. El individuo predominante es la variedad ortosa (12%), aunque también se encuentran aquellos feldespatos descriptos con intercrecimientos de plagioclasa y feldespato potásico (6%), plagioclasa (9%) con macla polisintética y microclino (6%).

Los fragmentos líticos (40%), corresponden a volcanitas ácidas con textura vitrofírica, afírica y seriada (15%), algunas alteradas a arcillas; líticos plutónicos (10%) con las alteraciones mencionadas antes en los feldespatos, volcanitas básicas a intermedias con textura porfírica con pastas intersertales y pilotácicas (10%), fragmentos de areniscas de grano fino (2%) de composición predominante cuarcítica, con pátinas de óxidos de hierro y arcillas, cuarzo policristalino (2%) con más de tres cristales, y rocas metamórficas de medio a alto grado (1%).

El resto de la fracción clástica corresponde a minerales accesorios (10%), entre los que se encuentran anfíboles en variedades verdes y amarronadas, micas como biotita parda y muscovita, y opacos.

El 5% restante corresponde a cemento carbonático y cemento ligante.

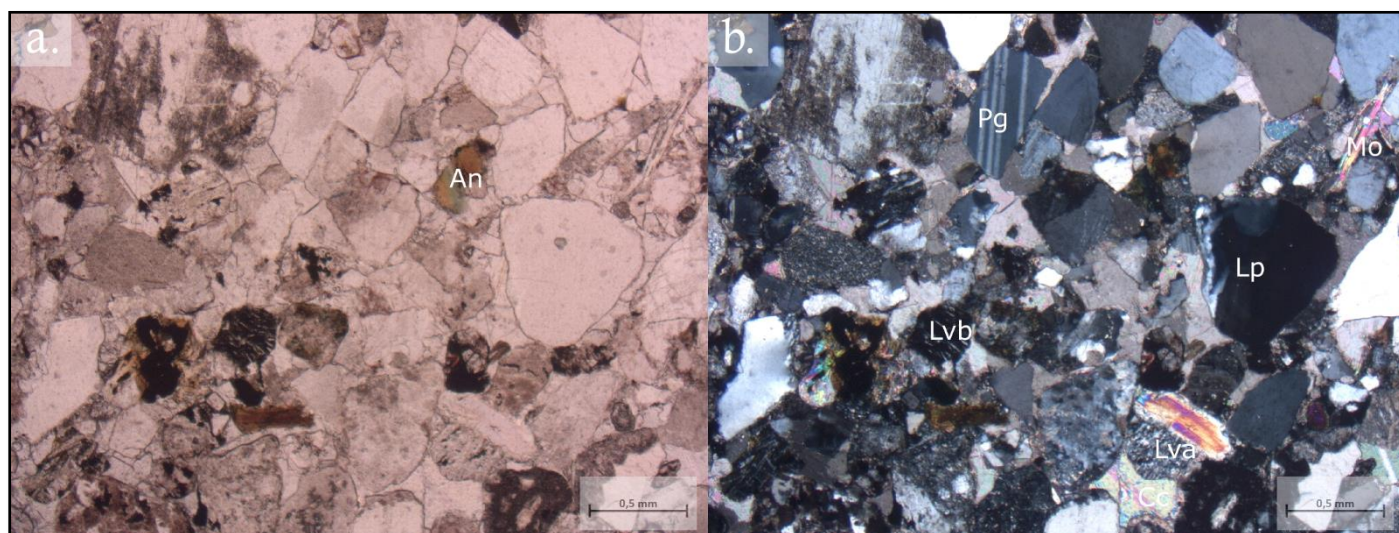


Figura 8. Muestra VH0 al microscopio, a. nicols paralelos; b. nicols cruzados. An: anfíbol, Pg: plagioclasa, Lvb: lítico volcánico básico, Lva: lítico volcánico ácido, Cc: cemento carbonático, Lp: lítico plutónico, Mo: muscovita.

Muestra VH6 (Figura 9 y 10). Corte petrográfico de muestra del perfil B.

La muestra corresponde a una arenisca moderadamente seleccionada, con tamaños de grano de entre 0,04 y 0,8 mm que se presentan subangulosos a angulosos. La textura es clasto-sostén y flotante. Los contactos son tangenciales y rectos.

La fracción clástica corresponde al 90%, y contiene 20% de clastos de cuarzo monocristalino generalmente con extinción normal, y ondulosa.

Los feldespatos (25%), con geometría tabular y alteraciones a sericita, arcillas y carbonatos. El individuo más encontrado es la variedad ortosa (13%), plagioclasa (11%) con macla polisintética y de dos individuos y microclino (1%).

Los fragmentos líticos (45%), corresponden a volcanitas ácidas con textura vitrofírica, afírica y seriada (16%), con textura de desvitrificación y alteración a carbonatos; líticos plutónicos-graníticos (14%), volcanitas básicas a intermedias con textura porfírica con pastas intersertales y pilotáxicas (10%) y rocas metamórficas de medio a alto grado (1%). Luego, fragmentos de areniscas de grano fino (1%) de composición predominante cuarcítica, con pátnas de óxidos de hierro y arcillas, y cuarzo policristalino (3%).

El resto de la fracción clástica corresponde a minerales accesorios (10%), entre los que se encuentran micas como muscovita y biotita parda, anfíboles de coloración verde y anaranjado, y opacos.

El 10% restante corresponde a sericítico/arcilloso y al cemento para ligar la muestra.

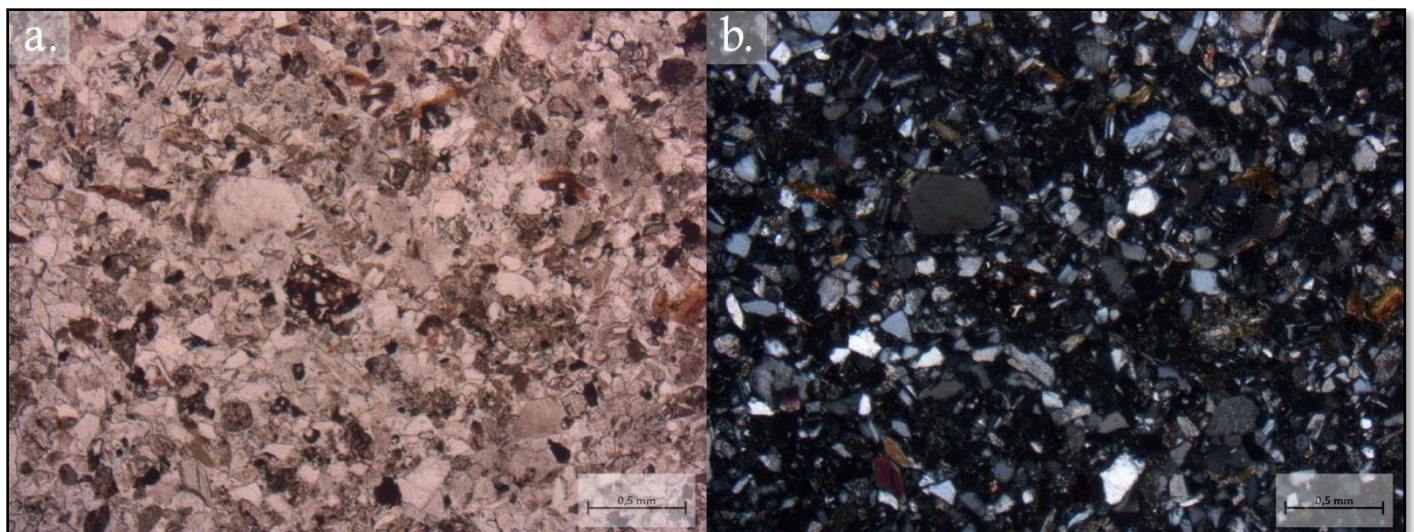


Figura 9. Muestra VH6 al microscopio, a. nicols paralelos; b. nicols cruzados.

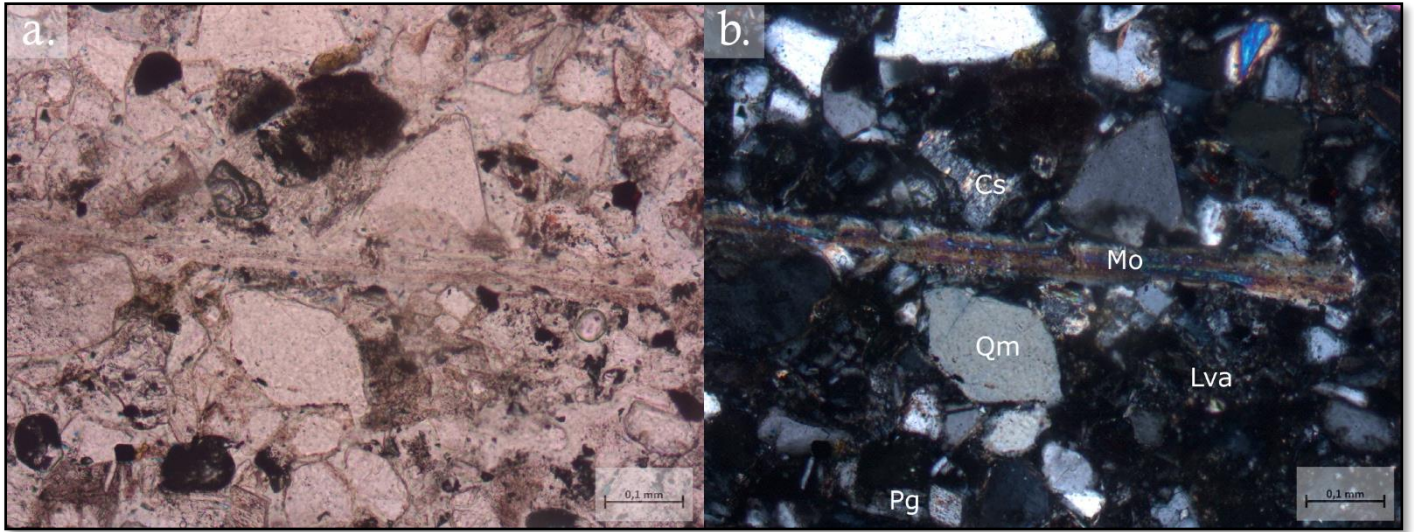


Figura 10. Muestra VH6 al microscopio, a. nicoles paralelos; b. nicoles cruzados. Cs: cemento sericítico, Mo: muscovita, Qm: cuarzo monocristalino, Lva: lítico volcánico ácido, Pg: plagioclasa.