

ANÁLISIS DEL CONTACTO ENTRE LAS FORMACIONES VINCHINA Y TORO NEGRO (SIERRA DE LOS COLORADOS, PROVINCIA DE LA RIOJA, ARGENTINA), SUS IMPLICANCIAS TECTÓNICAS

Carlos O. LIMARINO¹, Patricia L. CICCIOLO¹ y Sergio A. MARENSSI^{1,2}

¹ Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires - CONICET. Pabellón 2, Ciudad Universitaria, Buenos Aires, Argentina. E-mail: limar@gl.fcen.uba.ar

² Instituto Antártico Argentino. Cerrito 1248, Buenos Aires, Argentina.

Resumen: En este trabajo se analiza la expresión estratigráfica y significado geológico de la superficie que separa a las formaciones Vinchina (Mioceno) y Toro Negro (Mioceno Tardío-Plioceno), las que afloran conformando la Sierra de Los Colorados (oeste de la provincia de La Rioja). El estudio se realizó mediante el levantamiento de 6 secciones detalladas, de norte a sur: quebrada de La Aguada, quebrada de Los Pozuelos, río de La Troya norte, río de La Troya sur, Campo Negro y quebrada del Yeso. La información reunida en estos perfiles permitió comprobar que el contacto entre ambas unidades queda definido por una superficie de incisión de alto relieve relativo que suprime, en algunos sectores, hasta un 25% de la Formación Vinchina. La superficie en cuestión forma un paleovalle en el sector norte (secciones de La Aguada y Los Pozuelos), se manifiesta como una superficie de incisión ondulada (con mínima supresión estratigráfica) en la parte central del área estudiada (secciones de río de La Troya sur y Campo Negro) y pierde relieve hacia el sur hasta transformarse en una superficie relativamente plana (sección de quebrada del Yeso). El análisis de los depósitos sobrepuestos a la superficie de incisión permitió la definición de cuatro secciones estratigráficas. La sección S1 está compuesta por conglomerados extraformacionales, aglomerados y brechas intraformacionales. En la sección S2 predominan conglomerados gruesos hasta finos, areniscas guijarrosas y areniscas gruesas siendo muy escasas las pelitas y areniscas muy finas. La sección S3 comprende ciclos granocrecientes formados por pelitas, areniscas y conglomerados. Finalmente, la sección S4 comprende pelitas y areniscas finas con limitada participación de conglomerados y areniscas gruesas. La sección S1 es interpretada como depósitos confinados bajo condiciones de bajo espacio de acomodación. La sección S2 también fue formada en condiciones de confinamiento pero dentro de un esquema de espacio de acomodación creciente. Finalmente, las secciones S3 y S4 indican la pérdida de confinamiento del sistema y el estado de máximo espacio de acomodación. La génesis de la superficie de incisión que separa a las formaciones Vinchina y Toro Negro es, en este trabajo, relacionada a las fases principales del ascenso del Famatina occidental.

Palabras claves: superficie de incisión, paleovalle, Cenozoico, Cuenca de Vinchina, Argentina.

EXTENDED ABSTRACT

The stratigraphic expression and geological significance of the contact between the Vinchina (Late Miocene) and Toro Negro (Late Miocene-Pliocene) formations (Turner, 1964; Ciccioli *et al.*, 2010) is analyzed in this paper. These units with more than 8,000 m of sediments (Ramos, 1970; Tripaldi *et al.*, 2001; Ciccioli, 2008) represent the main units of the infill of the Vinchina Basin (Ciccioli *et al.*, 2010) (Figs. 1-3) during the transition from a simple foreland basin stage to a broken foreland one (Ciccioli, 2008; Ciccioli, *et al.*, in press). They mostly represent sedimentation by fluvial and aeolian processes in an inland basin during an overall warm and dry climate period (Tripaldi *et al.*, 2001; Ciccioli, 2008). Thus, major changes in sedimentation are thought to correspond with tectonic events (Ciccioli *et al.*, in press). The lower member of the Vinchina Formation and the upper member of the Toro Negro Formation present a more uniform and extended sedimentation pattern. In contrast, the upper member of the Vinchina Formation and the lower member of the overlying Toro Negro Formation show important lateral (north-south) facies changes (Fig. 4). The along-strike differences in the character of the discontinuity marking the boundary between the Vinchina and Toro Negro formations, is the most meaningful of them all.

Six sections, from north to south (La Aguada creek, Los Pozuelos creek, north La Troya river, south La Troya river, Campo Negro and del Yeso creek) were measured across the boundary between the Vinchina and Toro Negro formations along the Sierra de Los Colorados (Fig. 2). Facies associations within this interval were defined and sedimentary paleoenvironments interpreted. The information gathered from these sections allowed interpreting the contact between the Vinchina and Toro Negro formations as a high-relief incision surface that in some places suppresses up to 25% of the underlying Vinchina Formation (Figs. 4 and 5). This surface forms a west-east oriented paleovalley in the north (La Aguada and Los Pozuelos sections), is a low-relief incision surface (showing minimum stratigraphic suppression) in the central part of the study area (south La Troya river and Campo Negro sections) and becomes in a non-erosive planar surface at the southern end (del Yeso creek, Figs. 6 and 7).

Considering the available radiometric data

(Ciccioli *et al.*, 2010), the age of the unconformity can be bracketed between 19.1 and 8.6 Ma.

Four stratigraphic sections were defined in the deposits of the Toro Negro Formation overlying the incision surface (Table 2). Section S1 is composed of extraformational conglomerates, agglomerates and intraformational breccias. Coarse-grained conglomerates, gravelly sandstones and coarse-grained sandstones predominate in section S2 together with scarce mudstones and very fine-grained sandstones. Section S3 comprises coarsening-upward sequences composed of mudstones, sandstones and conglomerates. Finally section S4 is made up by mudstones and fine-grained sandstones with scarce levels of conglomerates and coarse-grained sandstones.

Section S1 is interpreted as incision-confined fluvial deposits accumulated under low-accommodation conditions. Section S2 is also interpreted as confined to the paleovalley but with increasing accommodation space. Finally sections S3 and S4 mark the shift from confined to unconfined conditions under high accommodation. The Vinchina Formation was reported to crop out in the higher areas of the Famatina range but up to now there is no record of the Toro Negro Formation in that area.

The deep, long-lived, west-east oriented paleovalley described in the northern part of the area is an atypical feature for the foreland basin model. However, the lack of a relationship with contemporaneous marine deposits and evidences of an arid climate throughout the deposition of the Vinchina and Toro Negro Formations suggest a tectonic control for the changes in the erosion vs accumulation rates in the basin. Therefore the incision and infill of the paleovalley is interpreted using the relationship between the fluvial equilibrium-profile and the channel profile (C.f. Dalrymple *et al.*, 1998; Shanley and McCabe, 1994; Blum and Törnqvist, 2000) (Fig. 8) The meandering fluvial system interpreted from deposits of Facies Association (FA) V of the Vinchina Formation (Tripaldi *et al.*, 2001) represents a stage of high accommodation (point A in Fig. 8). After that stage, a progressive lowering of the relative equilibrium profile reduces the accommodation the development of amalgamated channel belts of the fluvial systems interpreted for FA VII (Tripaldi *et al.*, 2001) similar to the “unconfined stream equilibrium profile low” of Dalrymple *et al.* (1998). This trend continued until the equilibrium profile places

below the channel profile. At that point erosion and sediment bypass took place. The major degree on incision and sediment bypass occurred at point C in figure 8 but erosion and down-cutting occurs until point E. At this latter point the equilibrium profile passes above the stream profile and aggradation begins within the incised valley ("confined stream equilibrium profile low" de Dalrymple *et al.*, 1998). Finally, maximum accommodation (point F in figure 8) is represented by the anastomosing fluvial system with encased channels in fine-grained overbank deposits of section S4.

As neither the west-east orientation of the observed paleovalley nor the evolution of the sedimentary environments can be explained by the eastward advance of the fold and thrust belt in a simple foreland basin we interpret that the uplift of the Famatina range (cf. Ramos *et al.*, 2002; Davila and Astini, 2007; Davila, 2010) to the east of the studied area (Fig. 9) might have produced a narrow area of high subsidence modifying the stream profiles of the rivers draining from the Andes. In the distal area (Los Colorados range) stream profile dropped below the equilibrium profile causing deep incision while close to the uplifted range rapid deposition might have occurred.

Therefore the incision surface separating Vinchina and Toro Negro Formations is related to the main phases of uplift of the western Famatina range (Figs. 10 y 11). This event produced accelerated subsidence and increased accommodation in the proximal area and lowering of the equilibrium fluvial profiles (and incision) in the distal areas to the west (Fig. 10b). During post-tectonic times, subsidence and accommodation rates decrease close to the uplifted area and the relative rise of the fluvial equilibrium profiles in the distal area with renewed aggradation (Fig. 10c). A model explaining the interpreted changes in accommodation relative to the subsidence due to the uplift of the Famatina is shown in figure 11.

Keywords: incision surface, paleovalley, Cenozoic, Vinchina basin, Argentina.

INTRODUCCIÓN

Las formaciones Vinchina y Toro Negro (Turner, 1964) conforman una de las más potentes secuencias neógenas (7.300 m de potencia mínima) conocidas

dentro del antepaís andino. Estas unidades, de origen enteramente continental, fueron depositadas desde el Mioceno Temprano (u Oligoceno Tardío) hasta el Plioceno Temprano, y posteriormente exhumadas formando la Sierra de Los Colorados. La mencionada unidad orográfica se encuentra interpuesta entre la Precordillera (al oeste) y el Sistema del Famatina (al este), separando los valles de Vinchina y Jagüel en el noroeste de la provincia de La Rioja (Fig. 1).

Aspectos estratigráficos y paleoambientales de las formaciones Vinchina y Toro Negro han sido desarrollados en varios trabajos previos (Turner, 1964; Ramos, 1970; Tripaldi *et al.*, 2001; Limarino *et al.*, 2001; Ciccioli *et al.*, 2004, 2005, 2008, en prensa; Ciccioli, 2008; Krapovickas *et al.*, 2009 y Melchor *et al.*, 2010). La sedimentación de ambas unidades estuvo fuertemente controlada por la importante actividad tectónica registrada tanto en los márgenes de cuenca como en el interior de las áreas depositacionales (Ramos, 1999; Limarino *et al.*, 2001; Ciccioli *et al.*, 2010). Prueba de ello ha sido la identificación de diferentes tipos de superficies de discontinuidad estratigráfica, tanto en la Formación Vinchina (Marenssi *et al.*, 2000) como en la Formación Toro Negro (Ciccioli, 2008; Ciccioli *et al.*, 2010, en prensa).

Un aspecto pendiente es el análisis de la superficie que separa a las formaciones Toro Negro y Vinchina. El límite entre ambas unidades ha sido inicialmente considerado por Turner (1964), quien señaló la existencia de una posible discordancia erosiva, en la base de la Formación Toro Negro, marcada por un conglomerado de 2 m de espesor. La presencia de esta probable discordancia ha sido también mencionada por Ramos (1970) y Tripaldi *et al.* (2001). Sin embargo, y a diferencia de Turner (1964), Ramos (1970) utilizó un nivel de tobas blancas para marcar la posición de la base de la Formación Toro Negro. Por otro lado, Ciccioli *et al.* (2004) consideraron que el límite entre las formaciones Vinchina y Toro Negro es marcado por un importante cambio en la arquitectura de los sistemas fluviales, probablemente relacionado a movimientos tectónicos en la faja móvil o cambios en la tasa de subsidencia.

En este trabajo, se analiza el tipo, la naturaleza y el significado genético del pasaje entre las formaciones Vinchina y Toro Negro. El origen del límite entre ambas unidades es crítico para la correcta interpretación de la evolución tectosedimentaria de la cuenca. Esta superficie es una discontinuidad de orden mayor que

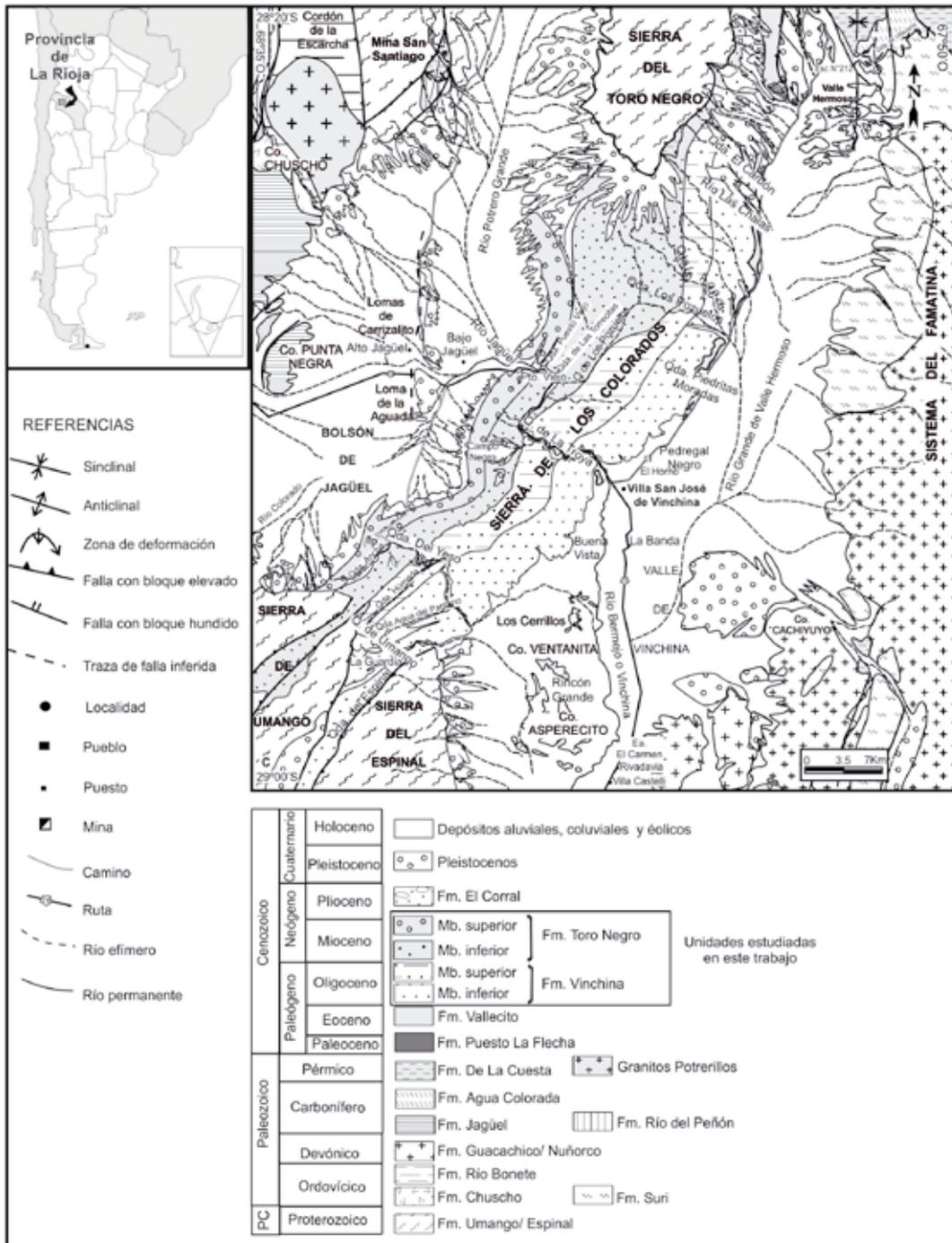


Figura 1. Ubicación y mapa geológico mostrando el contexto regional en el que se enmarca la Sierra de Los Colorados.
Figure 1. Location and geologic map showing the regional geological context that frames the Sierra de Los Colorados.

separa a los dos conjuntos sedimentarios neógenos que caracterizan a la orogenia andina en la región.

ESTRATIGRAFÍA Y MARCO PALEOGEOGRÁFICO

La cuenca terciaria de Vinchina forma parte de las extensas cubetas de antepaís formadas a partir del Oligoceno Tardío como respuesta a la orogenia

andina. El área analizada en este trabajo incluye a la Sierra de Los Colorados (Sierras Pampeanas Noroccidentales) donde se exponen la casi totalidad de los afloramientos terciarios cenozoicos de la cuenca. El contexto geológico en el que se enmarca la Sierra de Los Colorados es mostrado en la figura 1. Como allí puede verse, existen al menos tres elementos morfoestructurales mayores. Hacia el este, el Sistema

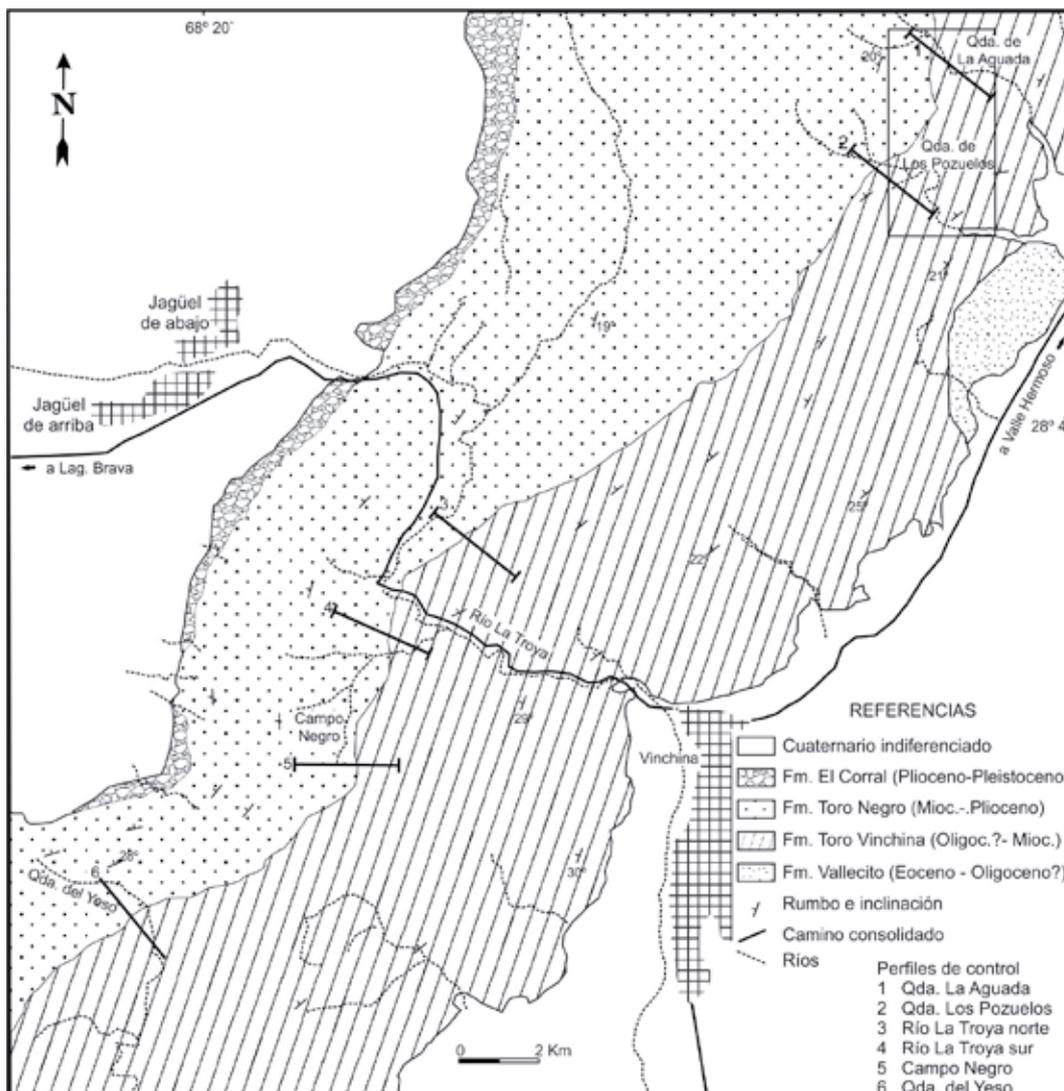


Figura 2. Mapa geológico de la Sierra de Los Colorados mostrando la ubicación de las secciones levantadas. Nótese como la superficie de contacto entre las formaciones Vinchina y Toro Negro aumenta su incisión en el norte eliminando parte del miembro superior de la Formación Vinchina. El recuadro muestra la posición de la imagen mostrada en la figura 5.

Figure 2. Geologic map of the Sierra de Los Colorados showing the location of the surveyed stratigraphic sections. Note the deepening of the incision to the north eliminating part of the upper member of the Vinchina Formation. The rectangle shows the location of the image in figure 5.

del Famatina básicamente compuesto a esta latitud por granitoides ordovícios, sedimentitas marinas del Paleozoico inferior y secuencias continentales del Carbonífero y Pérmico pertenecientes al Grupo Paganzo.

En la parte central se encuentra la Sierra de Los Colorados, integrada totalmente por sedimentitas terciarias que incluyen a las formaciones Puesto La Flecha, Vallecito, Toro Negro, Vinchina y El Corral (Figs. 1-3). A esta unidad orográfica se agregan la Sierra del Toro Negro por el norte y las de Umango y del Espinal al sur, todas ellas integradas por rocas

cristalinas principalmente de edad precámbrica (Turner, 1964; Varela *et al.*, 2003).

Finalmente, el sector occidental está compuesto por sedimentitas y volcanitas plegadas del Paleozoico Superior (formaciones Jagüel, Punta del Agua y Río del Peñón), las que constituyen las estribaciones orientales de la Precordillera. En lo que concierne específicamente a la Sierra de Los Colorados (Figs. 1 y 2), las rocas más antiguas corresponden a reducidos afloramientos de la Formación Puesto La Flecha de muy probable edad paleocena-eocena temprana (Caselli *et al.*, 2002; De la Fuente *et al.*, 2003; Ciccioli



Figura 3. Representación esquemática de la estratigrafía del Cenozoico en la Sierra de Los Colorados. Las áreas en blanco representan hiatos estratigráficos.

Figure 3. Schematic representation of the Cenozoic stratigraphy in the Sierra de Los Colorados. The white areas represent stratigraphic hiatus.

et al., 2010; Fig. 3). Las exposiciones de esta unidad no fueron representadas en el mapa de la figura 2 debido a su limitada extensión, pero se disponen conformando pequeños afloramientos parcialmente cubiertos entre las quebradas de Los Pozuelos y La Troya. A esta unidad se sobreponen areniscas eólicas pertenecientes a la Formación Vallecito (Borello y Cuerda, 1968; Tripaldi y Limarino, 2005, Fig. 3), las que afloran en el sector norte del área estudiada (Figs. 1 y 2).

La Formación Vinchina (Turner, 1964, Figs. 1-3) conforma el núcleo de la Sierra de Los Colorados alcanzando un espesor de 5.100 metros. Esta unidad, de característico color rojo intenso, fue dividida en dos miembros por Ramos (1970), el inferior mayormente formado por areniscas y pelitas, corresponde a potentes secuencias fluviales con escasas intercalaciones eólicas (Limarino *et al.*, 2001; Tripaldi *et al.*, 2001). El miembro superior presenta un mayor número de intercalaciones de conglomerados extraformacionales, siendo también muy frecuentes las brechas intraformacionales, en ocasiones, portando clastos de decenas de centímetros de diámetro.

La Formación Toro Negro (Turner, 1964) conforma la vertiente occidental de la Sierra de Los Colorados (Figs. 1 y 2); se diferencia de la anterior por la mayor participación de conglomerados, su color castaño o rojo pálido y la presencia de varios niveles tobáceos, algunos de los cuales alcanzan gran continuidad lateral y sirven de excelentes niveles guías. Los paleoambientes depositacionales de la unidad fueron estudiados por Ciccioli (2008) quien reconoció la existencia de depósitos fluviales generados por ríos anastomosados y entrelazados, potentes sucesiones de lagos de bolsón (*playa lake*) y escasas intercalaciones eólicas.

Finalmente, los gruesos conglomerados de la Formación El Corral (Figs. 1-3) representan la progradación de abanicos aluviales y bajadas pedemontanas, las que parcialmente colmataron el valle de Jagüel hacia fines del Plioceno.

EL CONTACTO VINCHINA-TORO NEGRO

El análisis del pasaje entre las formaciones Vinchina y Toro Negro se realizó siguiendo diferentes escalas de trabajo. El estudio de imágenes satelitales y fotos aéreas permitió reconocer que el contacto se resolvía según una superficie de carácter fuertemente erosivo en la parte norte del área estudiada, la que perdía relieve hacia el sur, hasta ser suavemente ondulada a plana entre el Campo Negro y la quebrada del Yeso (Fig. 2). Con el propósito de efectuar un estudio detallado de esta superficie y estimar el espesor eliminado de la Formación Vinchina, se relevaron 6 perfiles de detalle que incluyeron la parte superior de la Formación Vinchina y la parte inferior de la Formación Toro Negro. Los perfiles fueron levantados, de norte a sur, en la quebrada de La Aguada, quebrada de Los Pozuelos, quebrada de La Troya norte, quebrada de La Troya sur, Campo Negro y quebrada del Yeso (Fig. 2).

Con el propósito de evaluar la posible supresión de intervalos estratigráficos de la Formación Vinchina, se identificaron en los distintos perfiles las asociaciones de facies sedimentarias definidas en la parte cuspidal de la unidad por Tripaldi *et al.* (2001). En la Tabla 1 se sintetizan las características y distribución de estas asociaciones de facies. También fue analizado el registro estratigráfico de la Formación Toro Negro comprendido entre el contacto con la Formación Vinchina y un conspicuo nivel de conglomerados aflorante en la parte media del Miembro Inferior. Este

Asociación de Facies	Características Litológicas	Distribución
VII	Areniscas finas y pelitas	En secciones 3, 4 y 5
VI	Areniscas amalgamadas, con frecuentes intercalaciones de conglomerados intraformacionales	En todas las secciones
V	Areniscas gruesas (en ocasiones conglomerados), areniscas finas y pelitas en arreglos granodecrecientes.	En secciones 3, 4, 5 y 6

Tabla 1. Asociaciones de facies sedimentarias identificadas por Tripaldi *et al.* (2001) en la parte cuspidal de la Formación Vinchina a lo largo del río de La Troya.

Table 1. Facies associations identified by Tripaldi *et al.* (2001) in the uppermost part of the Vinchina Formation along the La Troya river.

nivel fue utilizado como superficie de correlación entre los diferentes perfiles. Dentro del intervalo estratigráfico aludido se han distinguido 4 secciones (Tabla 2) las que son descriptas en cada una de las localidades analizadas.

Área quebrada de La Aguada - quebrada de Los Pozuelos

Expresión estratigráfica: En esta región la superficie que marca el límite entre las formaciones Vinchina y Toro Negro muestra su mayor expresión ya que en la región casi el 25% del espesor de la Formación Vinchina ha sido eliminado (tomando como referencia el perfil de quebrada de La Troya sur, Fig. 4). Incluso dentro de esta pequeña área es posible advertir la importante incisión que muestra la superficie cuando se comparan las secciones de Los Pozuelos y La Aguada. Un nivel de referencia correspondiente a un banco tobáceo (nivel de líneas punteadas en la figura 5) que se encuentra unos 280 m por debajo del contacto entre Vinchina y Toro Negro en la quebrada Los Pozuelos, es prácticamente erosionado por la superficie de incisión en la quebrada de La Aguada (Fig. 5).

Por encima de la superficie aquí examinada la Formación Toro Negro comienza con conglomerados y una potente brecha intraformacional que contiene megaclastos de hasta 1 m de potencia (Fig. 6a). Los clastos intraformacionales están compuestos por pelitas macizas o laminadas, correspondientes a depósitos de planicie de inundación, erosionadas de la infrayacente Formación Vinchina (Fig. 6b). Con menor frecuencia aparecen fragmentos intraformacionales

de areniscas y, en algunos casos, grandes intraclastos (hasta de 1 m) en la base de depósitos de canal. En lo que respecta a los conglomerados, se trata de ortoconglomerados polimícticos dominados por clastos bien redondeados de cuarzo, volcanitas ácidas y mesosilícicas y, en menor medida, granitos, esquistos de mediano y alto grado y feldespato.

Depósitos sobrepuestos a la superficie: El relleno de la incisión marcada por la superficie que separa las formaciones Toro Negro y Vinchina, puede ser sintetizado en 4 secciones (Tabla 2). La inferior (sección S1), que alcanza 370 m de espesor, está mayormente formada por bancos lenticulares de conglomerados extraformacionales junto a aglomerados y brechas intraformacionales que cubren a la superficie de incisión (Figs. 4, 6a, b). En menor proporción aparecen areniscas desde gruesas a finas, la mayoría estratificadas en bancos lenticulares. Esta sección ha sido interpretada como depositada en ambiente de ríos entrelazados dominados por barras gravosas de diferente porte, sólo excepcionalmente se han registrado reducidos depósitos de planicies de inundación arenosas.

Al conjunto descrito le siguen unos 682 m de conglomerados gruesos a finos, areniscas guijarrosas y areniscas gruesas conformando depósitos de fajas de complejos de canal de geometría lentiforme (sección S2, Tabla 2, Fig. 4). A estas rocas acompañan, en menor proporción, niveles de pelitas y areniscas muy finas estratificadas en bancos tabulares. Este intervalo señala el pasaje a un sistema fluvial de menor energía, caracterizado por migración lateral limitada de canales, menor diámetro de clastos que

Sección	Características Litológicas	Espesor Máximo	Distribución
S4	Dominan pelitas y areniscas finas que encapsulan fajas de canales areno-conglomerádicas.	150 m	En todas las secciones
S3	Secuencias granocrecientes compuestas por pelitas, areniscas y conglomerados	260 m	En todas las secciones
S2	Conglomerados, areniscas guijarrosas y escasos niveles de areniscas finas y pelitas.	682 m	Sólo en secciones 1 y 2
S1	Dominan conglomerados extraformacionales, brechas intraformacionales y areniscas gruesas	370 m	Sólo en secciones 1 y 2

Tabla 2. Principales características de las secciones identificadas en la Formación Toro Negro.

Table 2. Main features of the stratigraphic sections identified in the Toro Negro Formation.

los observados en la sección S1 y la existencia de planicies de inundación fangosas.

En forma transicional los depósitos de la sección S2 son cubiertos por ciclos granocrecientes compuestos por pelitas, areniscas y conglomerados (principalmente extraformacionales) pertenecientes a la sección S3 (260 m de potencia, Tabla 2). Este conjunto incluye una proporción aproximadamente igualitaria de depósitos de canal de geometría lentiforme (que comprenden la parte superior de cada ciclo) y planicie de inundación (pelitas y areniscas finas). El carácter granocreciente de los ciclos es la consecuencia de la importante participación de depósitos de lóbulos desbordamiento en áreas de planicie de inundación, los que aumentan su proporción hacia la base de los complejos de canales. Cicciooli (2008) interpretó a la mayor parte de la sección aquí considerada como depositada en sistemas fluviales anastomosados, con desarrollo de amplias planicies dominadas por lóbulos de desbordamiento.

Finalmente, la sección S4 presenta un espesor de 140 m (Tabla 2, Fig. 4) y se caracteriza por el amplio dominio de pelitas y areniscas finas a medianas depositadas en áreas de planicie de inundación. Los canales, mayormente formados por conglomerados finos a medianos y areniscas gruesas, muestran una clara geometría lentiforme y aparecen aislados dentro de las facies de planicie. En lo que respecta a las áreas de planicies de inundación, muestran desarrollo tanto de depósitos de lóbulos de desbordamiento como de facies mantiformes de cuenca de inundación, generadas a partir de decantación o por corrientes

de muy baja competencia. Un aspecto interesante de esta sección es la presencia de abundantes grietas de desecación y diferentes tipos de bioturbación (tanto *ephichnia* como formando tubos verticales) en los sedimentos finos. Es muy probable que el conjunto descrito resulte un análogo a los sistemas anastomosados efímeros desarrollados bajo un régimen de alta agradación (Makaske, 2001).

Área del río de La Troya

Expresión estratigráfica: La superficie de incisión disminuye considerablemente su expresión en el área del río de La Troya (Fig. 4). Por ello la Formación Vinchina aumenta su espesor (5.100 m en el perfil de La Troya sur) e incluye depósitos fluviales y lacustres no identificados en la región de Los Pozuelos-La Aguada (Tripaldi *et al.*, 2001). Por lo tanto, el intervalo estratigráfico de la Formación Vinchina que en La Troya corresponde a la última recurrencia de las asociaciones de facies V y VI y a la totalidad de los depósitos lacustres incluidos en la asociación de facies VII (en el sentido de Tripaldi *et al.*, 2001) habría sido erosionado en el sector de Los Pozuelos (Fig. 4).

En un contexto geográfico más reducido, la geometría de la superficie de incisión puede seguirse entre las secciones de La Troya sur y La Troya norte (Fig. 6c). Mientras que en la primera la superficie de incisión se dispone sobre un potente conjunto de areniscas estratificadas en bancos amalgamados (incluidos por Tripaldi *et al.* 2001 en la asociación de facies VI, Tabla 1 y Fig. 4), en la sección de La

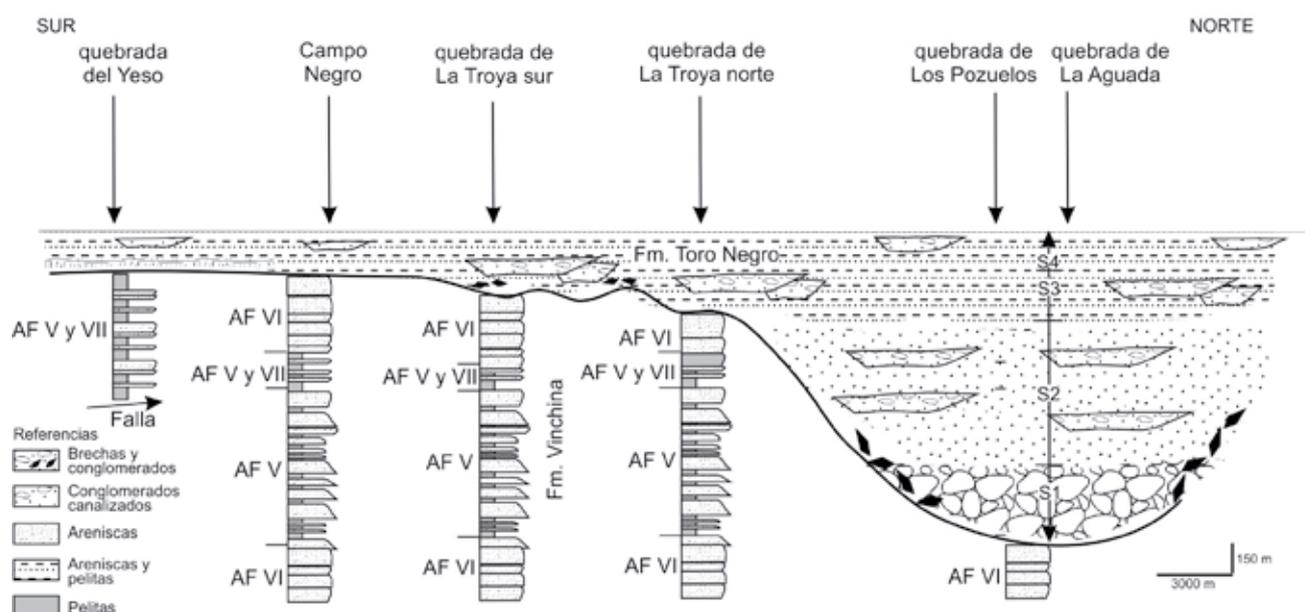


Figura 4. Sección longitudinal a la Sierra de Los Colorados mostrando la disposición del paleovalle, la distribución de las asociaciones de facies (AF, Formación Vinchina) y secciones (S, Formación Toro Negro) indicadas en las Tablas 1 y 2. Note que los perfiles son representaciones esquemáticas de las asociaciones de facies definidas por Tripaldi *et al.* (2001).

Figure 4. Longitudinal section to the Sierra de Los Colorados showing the paleovalley geometry, the distribution of facies associations (AF, Vinchina Formation) and stratigraphic sections (S, Toro Negro Formation) indicated in Tables 1 and 2. The columnar sections are schematic representations of the facies associations defined by Tripaldi *et al.* (2001).

Troya norte la superficie ha erosionado parte de las areniscas amalgamadas, encontrándose próxima a los depósitos fluviales meandriformes de la asociación de facies V (Tripaldi *et al.*, 2001, Fig. 4). El relieve de la superficie de incisión se traduce en una supresión estratigráfica calculada en no menos de 80 m para la sección de La Troya norte en relación con La Troya sur.

Depósitos sobrepuestos a la superficie: Por encima de la superficie de incisión se disponen areniscas gruesas, en ocasiones gravillosas, areniscas finas que incluyen niveles tobáceos, brechas intraformacionales y escasos ortoconglomerados polimícticos que marcan la base de la Formación Toro Negro. Sólo dos de las cuatro secciones identificadas en Los Pozuelos y La Aguada son reconocidas en el área de La Troya (Fig. 4). Las secciones S1 y S2 están ausentes en La Troya, donde la base de la Formación Toro Negro corresponde a la sección S3, la que alcanza algo menos de 250 m de espesor.

En ambos perfiles la sección S3 está compuesta por potentes fajas de canales incisas, en ocasiones, profundamente dentro de facies de areniscas finas

y pelitas correspondientes a facies de planicies de inundación. Los depósitos de fajas de canal muestran geometría lentiforme con espesores de hasta 20 m y continuidad lateral de hasta 200 metros. Su base es fuertemente erosiva y en ocasiones se encuentra tapizada de brechas intraformacionales (con clastos de hasta 30 cm) derivadas de las areniscas finas y pelitas infrayacentes (Fig. 7a). En algunos casos, grandes megaclastos (de diámetro métrico) aparecen también aislados en la base de los depósitos de fajas de canales. La mayor parte de las acumulaciones de canal están constituidas por areniscas gravillosas, areniscas gruesas y medianas junto a escasos conglomerados finos (todo el conjunto de color gris claro) mostrando frecuente estratificación entrecruzada tabular planar y en artesa. Con menor asiduidad se encuentran, especialmente hacia el techo de las fajas de canal, areniscas finas con estratificación horizontal de alto régimen de flujo asociadas a lineación por partición. Como se ha dicho las fajas de canales aparecen fuertemente incisas en sedimentos finos de planicie de inundación, compuestos por areniscas macizas o con laminación paralela u ondulítica junto a fangolitas que en

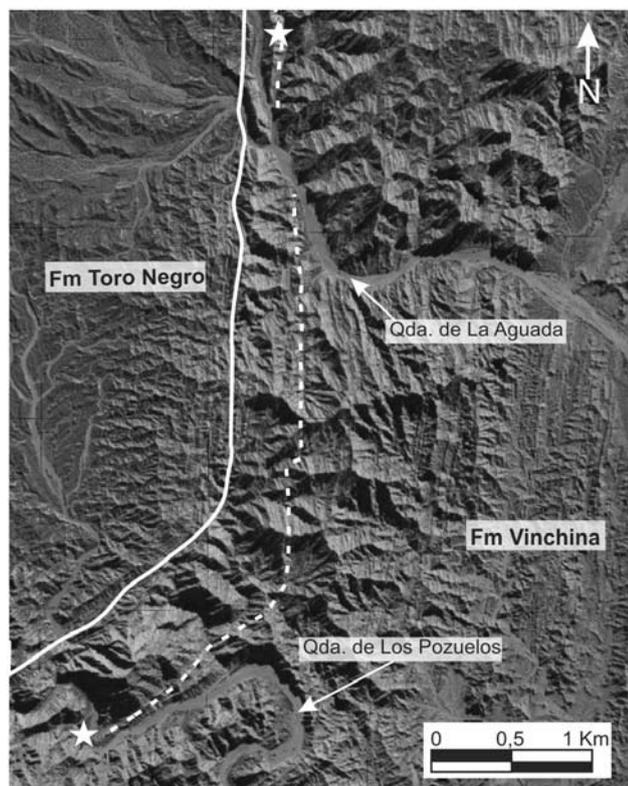


Figura 5. Imagen mostrando el contacto entre las formaciones Vinchina y Toro Negro (trazo continuo) en relación a un nivel guía tobáceo del Miembro Superior de la Formación Vinchina (trazo punteado entre estrellas). Nótese como el banco tobáceo en la quebrada de Los Pozuelos se encuentra varias centenas de metros por debajo del límite formacional, pero es casi erosionado por la superficie de incisión en la quebrada de La Aguada. Para ubicación véase figura 2.

Figure 5. Image showing the contact between Vinchina and Toro Negro Formations (continuous line) in relation to a key tuffaceous bed (dotted line between stars). Note that the tuffaceous bed located several hundred meters below the formational boundary in the Los Pozuelos creek is almost eroded by the incision surface in the La Aguada creek. For location see figure 2.

ocasiones exhiben grietas de desecación. En algunos de estos niveles fue comprobada la existencia de paleosuelos, con numerosos pedotúbulos y niveles de concreciones. Una característica singular de los depósitos de planicie es la presencia de niveles atestados de pistas de vertebrados descritos por Krapovickas *et al.* (2009).

La sección S3 es muy probable que corresponda a un sistema multicanalizado inciso, con canales que en el área de La Troya mostraron menor grado de incisión que en Los Pozuelos-La Aguada. La sección S4 alcanza en el área 110 m de potencia y corresponde a canales aislados en facies de planicies de inundación

ya descritos en el área de Los Pozuelos-La Aguada. Sólo debe destacarse en los perfiles de La Troya una menor participación de conglomerados en relación a areniscas y una ligera disminución en el diámetro máximo de las psefitas.

Área Campo Negro-quebrada del Yeso

Expresión estratigráfica: El análisis detallado de la superficie de incisión entre el perfil de La Troya sur y la quebrada del Yeso permite extraer algunas interesantes conclusiones. Entre La Troya sur y Campo Negro la superficie de incisión se atenúa notablemente transformándose en una superficie erosiva de moderado relieve que no produce supresión estratigráfica significativa (Fig. 7b). Más al sur, entre el Campo Negro y la quebrada del Yeso (Fig. 2), la superficie erosiva va progresivamente reduciendo su relieve hasta manifestarse como una superficie casi plana (Fig. 4). Esta superficie separa a pelitas y escasas areniscas finas de la asociación de facies VII (Tripaldi *et al.*, 2001), de areniscas fluviales medianas y finas, que marcan la base de la Formación Toro Negro en la quebrada del Yeso.

Depósitos sobrepuestos a la superficie: En el sector del Campo Negro los depósitos sobrepuestos a la superficie que marca el contacto entre las formaciones Vinchina y Toro Negro muestran características similares a las descritas en las secciones de La Troya. Esto es, la falta de las secciones S1 y S2, la presencia de fajas de canales incisas pertenecientes a la sección S3 formando la base de la Formación Toro Negro y finalmente depósitos de canales encapsulados en potentes planicies de inundación incluidas en la sección S4.

La sección S3 alcanza en el campo Negro un espesor de 250 m y se caracteriza por el desarrollo de fajas de canales incisas dentro de secuencias de areniscas finas y pelitas correspondientes a depósitos de planicies de inundación. Las características arquitecturales de los litosomas canalizados son enteramente iguales a las descritas para el área de La Troya y sólo puede agregarse un irregular aumento en las facies de planicie de inundación hacia el techo de la sección.

La sección S4 alcanza en el área sólo 80 m de potencia y está formada por depósitos de canales lenticulares a lentiformes que lateralmente gradan a secuencias pelíticas de planicie de inundación.

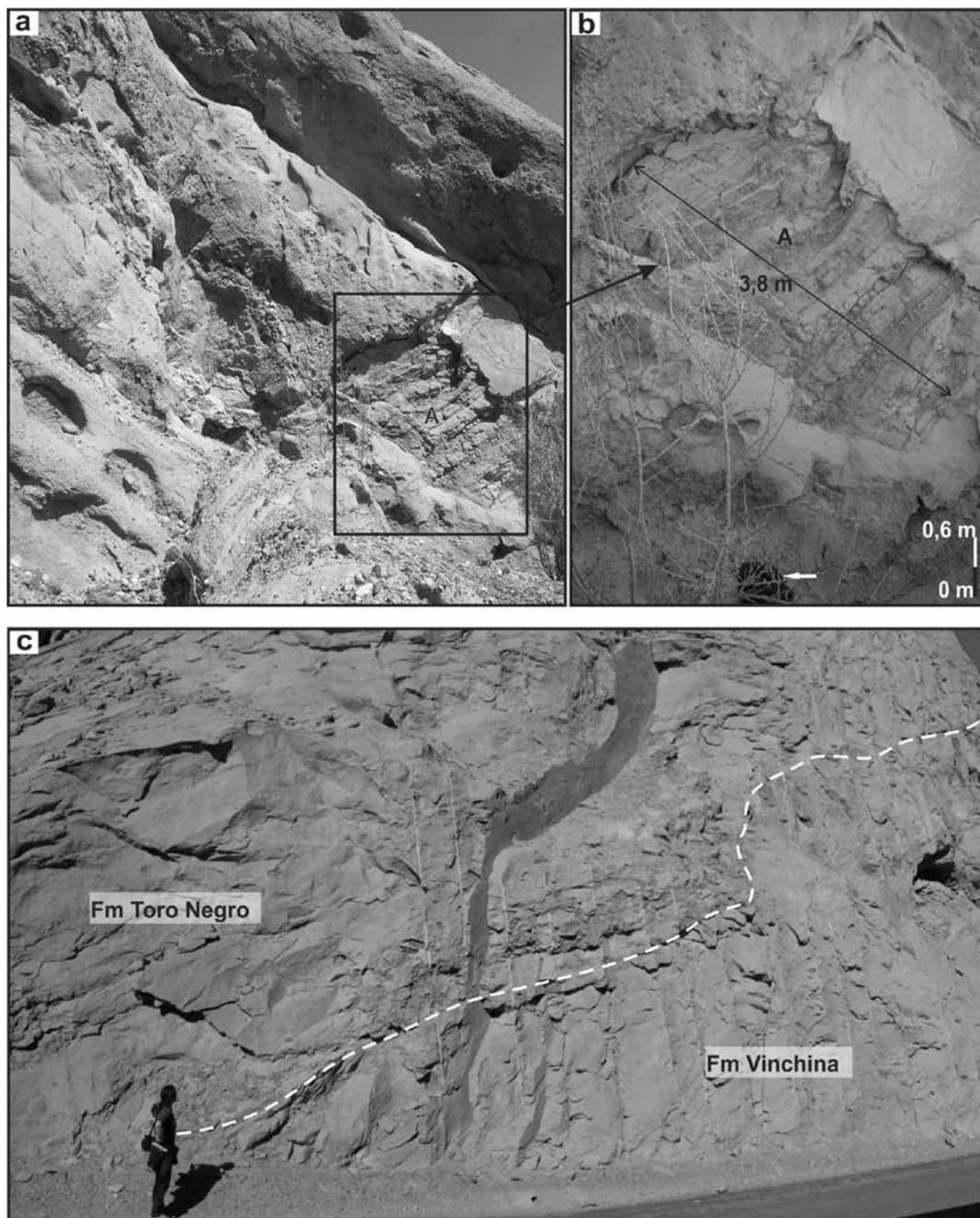


Figura 6. a. Aspecto del nivel de megabrechas intraformacionales que forma la base de la Formación Toro Negro en el perfil de quebrada de Los Pozuelos. b. Detalle de un clasto intraformacional desprendido de depósitos de planicies de inundación adyacentes. c. Vista de la superficie de incisión (línea blanca punteada) que separa a las formaciones Vinchina y Toro Negro en el perfil de La Troya sur.

Figure 6. a. Intraformational megabreccias at the base of the Toro Negro Formation in Los Pozuelos creek. b. Detail of a large intraformational clast detached from adjacent floodplain deposits. c. View of the incision surface (white dotted line) separating the Vinchina and Toro Negro formations in the south La Troya section.

Los canales conglomerádicos progresivamente disminuyen su participación hacia la quebrada del Yeso, siendo allí reemplazada por facies finas interpretadas como depósitos lacustres efímeros de lagos de bolsón (*playa lake*).

ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO DE LA SUPERFICIE DE INCISIÓN Y DEPÓSITOS SOBREPUESTOS

De lo expuesto precedentemente surge que el contacto entre las formaciones Vinchina y Toro Negro...

gro resulta una superficie de incisión de alto relieve relativo comparable con las superficies limitantes de séptimo orden descritas por Miall (1996) o con las de sexto orden en el sentido de DeCelles *et al.* (1991). El relieve de esta superficie 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. Los valores de paleocorrientes obtenidos para los niveles inferiores de la Formación Toro Negro son consistentes con la disposición del eje del paleovalle (Ciccioli *et al.*, 2008, en prensa).

La pared sur del paleovalle se encuentra bien definida entre los perfiles de La Troya norte y quebrada de La Aguada, alcanzando su máxima profundización en esta última (Fig. 4). Por el contrario, la margen norte ha sido disturbada por el ascenso de la Sierra de Toro Negro y se encuentra en gran medida cubierta por acarreo cuaternario.

La sección norte-sur mostrada en la figura 4 muestra las relaciones estratigráficas entre las formaciones Vinchina y Toro Negro, e intenta reconstruir la topografía previa a la depositación de ésta última. Al norte de las secciones del río de La Troya la superficie muestra alta pendiente, profundizándose rápidamente y formando la pared sur del valle. Por el contrario, al sur de la sección del río de La Troya sur (Fig. 4), la discontinuidad pierde bruscamente relieve y se manifiesta como una suave superficie erosiva que no produce supresión estratigráfica significativa en la Formación Vinchina. En las proximidades de la quebrada del Yeso la superficie de incisión ha prácticamente desaparecido y el contacto entre las formaciones Vinchina y Toro Negro se resuelve mediante una superficie plana o de muy escaso relieve (Fig. 4).

Más allá de los factores extrínsecos que promovieron la formación del paleovalle, tema que será discutido en la próxima sección, resulta importante analizar la arquitectura de las unidades depositacionales por debajo (últimos metros de la Formación Vinchina) y por encima (primeros metros de la Formación Toro Negro) de la superficie de incisión. La figura 8 muestra el balance hipotético, para la transición Vinchina-Toro Negro, entre el perfil de equilibrio y el perfil del cauce de los sistemas fluviales siguiendo modelos clásicos (*c.f.* Dalrymple *et al.*, 1998; Shanley y McCabe, 1994; Blum y Törnqvist, 2000). Este balance, y su influencia en los cambios en la tasa de creación de espacio de

acomodación, han sido construidos asumiendo una tasa de subsidencia y aporte de sedimentos constante en el sector de cuenca que hoy ocupa la Sierra de Los Colorados.

Teniendo en cuenta la existencia de depósitos fluviales meandriformes en los términos superiores de la Formación Vinchina (facies V de Tripaldi *et al.*, 2001), se ha supuesto en la figura 8 un estado de perfil de equilibrio alto (agradación) para la parte superior de ésta unidad. Las condiciones de mayor espacio de acomodación están representadas en el punto A (Fig. 8) cuando existe la mayor diferencia positiva entre el perfil de equilibrio y el perfil del cauce. Al comenzar a producirse una caída relativa del perfil de equilibrio, el espacio de acomodación fue progresivamente reducido, hasta que en el punto B (Fig. 8) se intersectan el perfil de equilibrio y el del cauce. En esta situación se desarrollan frecuentemente fajas de canales amalgamados correspondientes al “*unconfined stream equilibrium profile low*” de Dalrymple *et al.* (1998). Es importante destacar que Tripaldi *et al.* (2001) incluyeron en su asociación de facies VI complejos de canales amalgamados en el techo de la Formación Vinchina, lo que concuerdan con una reducción del espacio de acomodación. A partir del punto B el perfil de equilibrio desciende por debajo del perfil del cauce y el sistema fluvial comienza a incidir generando erosión y transferencia de sedimentos. El punto C (Fig. 8) corresponde a la mayor diferencia negativa entre el perfil de equilibrio y el perfil del cauce, la que es progresivamente reducida hasta el punto E. Nótese entonces que el paleovalle se habría labrado en el lapso comprendido entre los puntos B y E, siendo el registro estratigráfico en este intervalo escaso o inexistente (hiato). Sin embargo, un comentario debe ser hecho en relación al punto D en la figura 8. Como bien ha demostrado Lancaster (2007) durante el estado de incisión de valles ocurre esporádica sedimentación en el piso de los canales, generalmente como flujos de detritos en períodos de crecientes. Cuando nos acercamos al final de las condiciones de perfil de equilibrio bajo (punto D, Fig. 8) estos depósitos de grano grueso pueden preservarse en el piso de los valles como acumulaciones residuales de megabrechas intraformacionales, análogas a las descritas en el perfil de Los Pozuelos (Fig. 6a, b).

En el punto E (Fig. 8) nuevamente el perfil de equilibrio intersecta el del cauce, favoreciendo el desarrollo de fajas de canales amalgamados, aunque

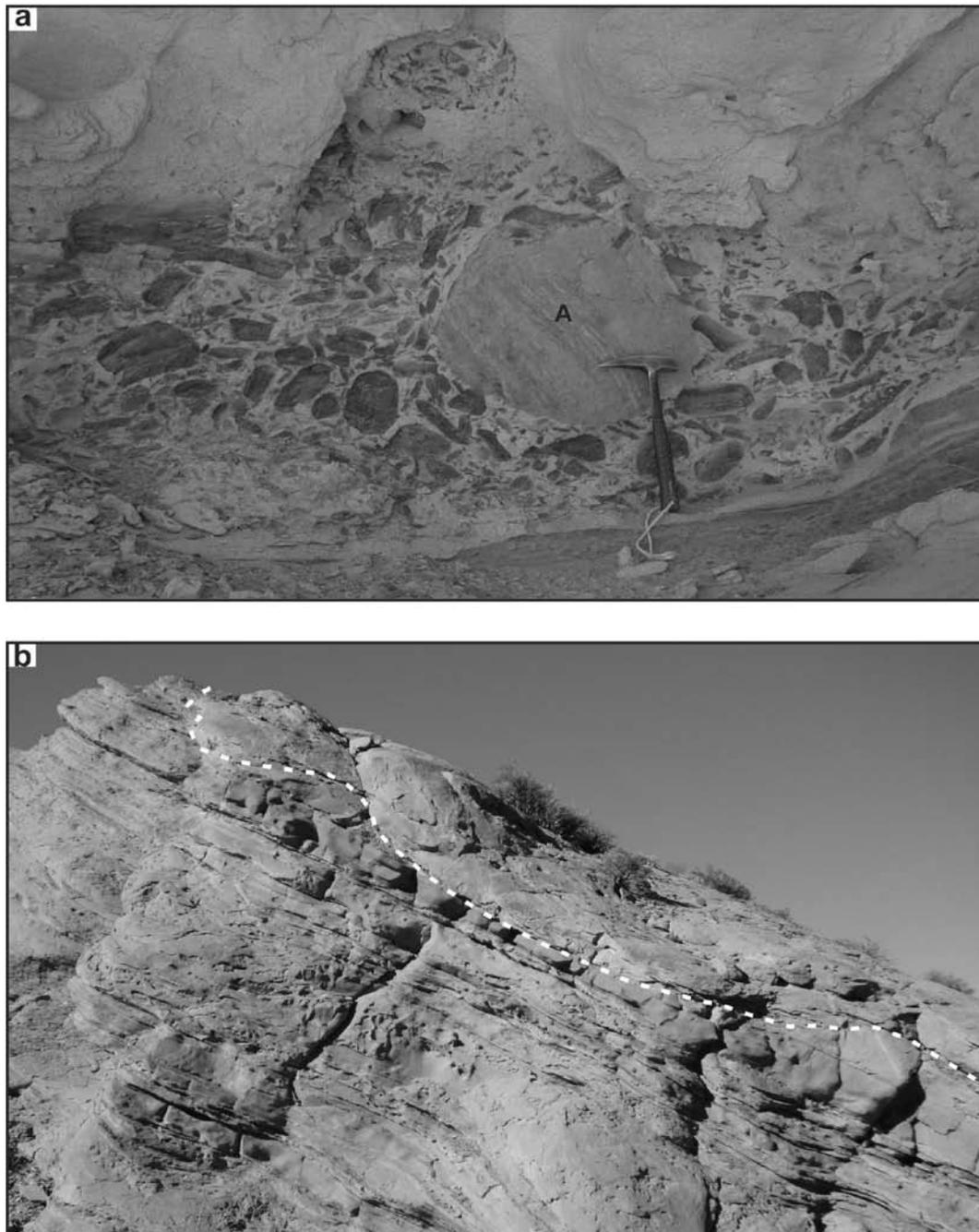


Figura 7. a. Detalle de los conglomerados intraformacionales que forman la base de las fajas de canales incisas correspondientes a la sección S3 en el perfil de la quebrada de La Troya sur. Note que los fragmentos intraformacionales no sólo incluyen clastos de fangolitas derivados de planicies de áreas de planicie de inundación, sino también fragmentos de areniscas (A) probablemente erodados de fajas de canales formadas previamente. **b.** Aspecto del contacto entre las formaciones Vinchina y Toro Negro al norte del perfil del Campo Negro.

Figure 7. a. Detail of the intraformational conglomerates that occur at the base of incised channel belts belonging to the S3 section in the south La Troya creek section. Note that intraformational fragments include not only muddy clasts derived from overbank areas but also sandy clasts (A) probably eroded from previously formed channel deposits. **b.** View of the contact between Vinchina and Toro Negro Formations to the North of the Campo Negro section.

en este caso de naturaleza confinada al paleovalle (“*confined stream equilibrium profile low*” de Dalrymple *et al.*, 1998). Este tipo de arquitectura

fluvial corresponde a la observada en la sección S1 en los perfiles de Los Pozuelos y La Aguada.

El intervalo comprendido entre los puntos E y F

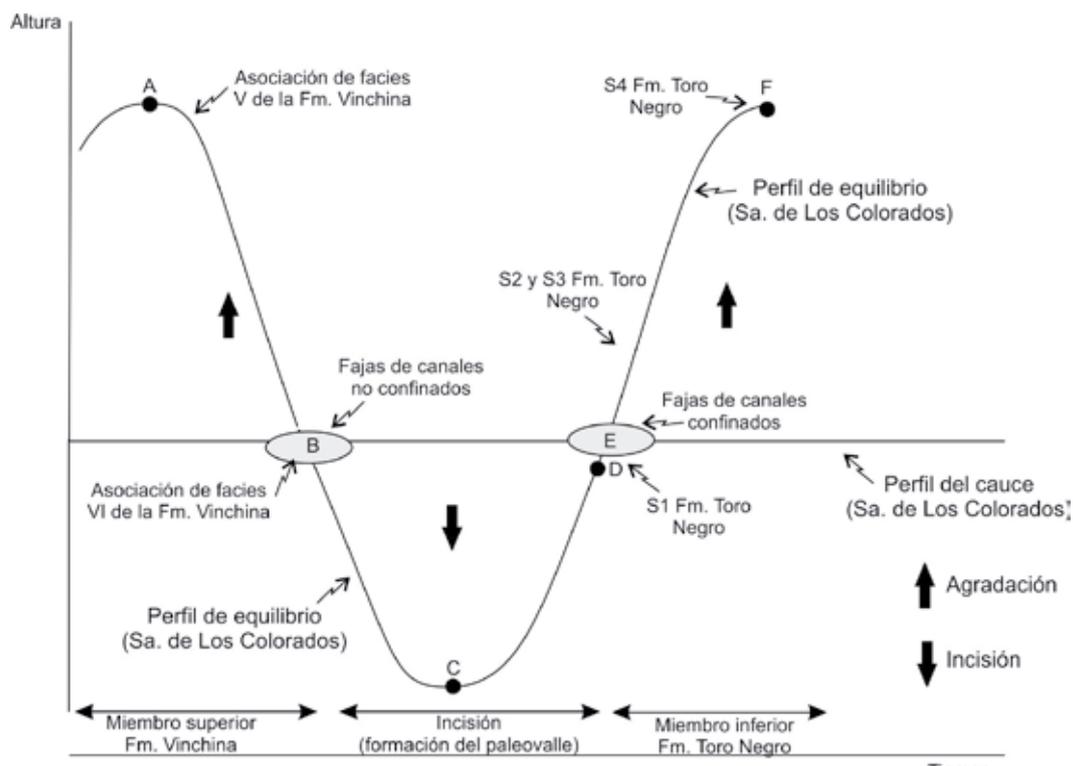


Figura 8. Balance hipotético entre el perfil de equilibrio y el perfil del cauce de los sistemas fluviales asumiendo tasa de subsidencia y aporte sedimentario constante en el sector de la actual Sierra de Los Colorados.

Figure 8. Hypothetic balance between the equilibrium profile and the channel profile assuming constant subsidence rate and sediment supply in the present day Sierra de Los Colorados area.

(Fig. 8) muestra crecimiento de la tasa de creación del espacio de acomodación, en este caso reflejado en el aumento de la preservación de depósitos de planicie de inundación desde la sección S2 a la sección S4. Es importante destacar que los canales encapsulados en facies de planicie de inundación de la sección S4, probablemente correspondan a condiciones de máxima tasa de creación de espacio de acomodación (punto F, Fig. 8).

EDAD DE LA SUPERFICIE DE INCISIÓN

La edad de la superficie de incisión que separa a las formaciones Vinchina y Toro Negro puede ser estimada a partir de dataciones radimétricas efectuadas sobre ambas unidades. En el caso de la Formación Vinchina, Tabbutt *et al.* (1989) citaron una edad por trazas de fisión de $7,3 \pm 1,3$ Ma para un nivel bentonítico en la Formación Vinchina, aunque aclararon que la correcta ubicación del nivel datado en relación a la sección de la Formación Vinchina ilustrada por Ramos (1970) no era conocida. Una segunda edad para la Formación Vinchina de $25,3 \pm 0,9$ Ma (método K-Ar) fue obtenida en la quebrada

de La Aguada para una toba localizada pocos metros por debajo de la superficie de incisión (Ciccioli *et al.*, 2010). Recientemente, Dávila *et al.* (2008) reportaron una edad U/Pb de 19,1 Ma de zircones detríticos encontrados en una arenisca tobácea en la Formación Vinchina.

En lo que respecta a las edades obtenidas por encima de la superficie de incisión, Tabbutt *et al.* (1989) reportaron una edad por trazas de fisión de $4,3 \pm 1$ Ma para la parte basal (?) de la Formación Toro Negro. Ciccioli *et al.* (2005) obtuvieron dos edades K-Ar de $6,8 \pm 0,2$ Ma y $8,6 \pm 0,3$ Ma para tobas vítreas ubicadas en el techo del miembro inferior de la Formación Toro Negro.

Las edades arriba mencionadas sugieren que la superficie de incisión, que marca un hiato estratigráfico entre Vinchina y Toro Negro, no sería más antigua que los 19,1 Ma, ni más joven que los 8,6 Ma. Sin embargo, con respecto a esta última edad es necesario aclarar que las tobas datadas fueron obtenidas en niveles estratigráficos suprayacentes al techo de la aquí denominada sección 4, y por lo tanto a más de 1600 m por encima de la superficie de incisión.

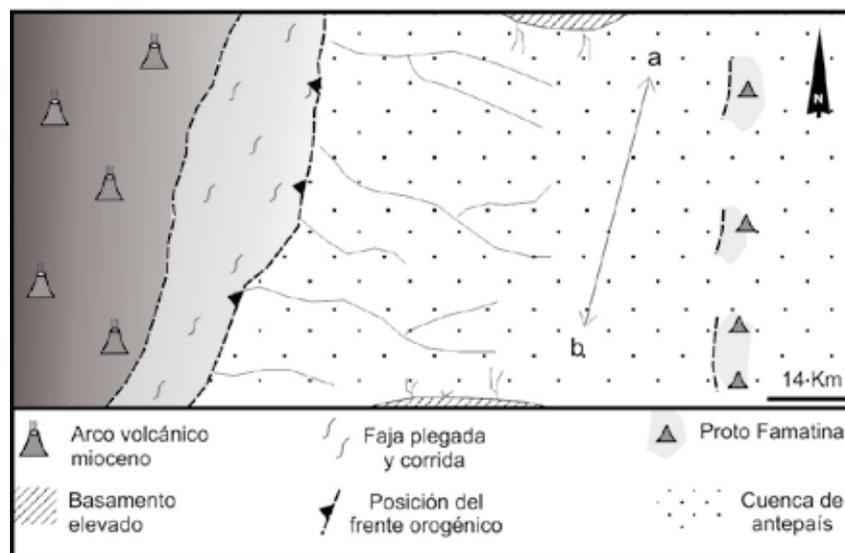


Figura 9. Esquema paleogeográfico de la Cuenca de antepaís durante la deposición del Miembro Superior de la Formación Vinchina (previo al levantamiento del Famatina occidental). El segmento A-B indica la posición aproximada de la Sierra de Los Colorados en la actualidad.

Figure 9. Paleogeographic scheme of the foreland basin during the deposition of the Upper Member of the Vinchina Formation (previous to the uplift of the western Famatina). The A-B segment points out the present day position of the Sierra de Los Colorados area.

IMPLICANCIAS PALEOGEOGRÁFICAS Y TECTÓNICAS DE LA SUPERFICIE DE INCISIÓN

El contacto entre las formaciones Vinchina y Toro Negro plantea algunos interesantes interrogantes, en particular vinculados al control de los factores extrínsecos sobre el origen del paleovalle y su posterior relleno. La existencia de paleovalles y los factores que controlan su evolución han sido examinados en diferentes situaciones, incluyendo paleovalles glaciales (Dykstra *et al.*, 2006; Henry *et al.*, 2010), relacionados a sistemas estuarinos-parálidos (Greb y Chesnut, 1996), tectónicamente controlados (Arnott *et al.*, 2002; Ciccioli, 2008) y paleovalles compuestos (Törnqvist *et al.*, 2000; Korus *et al.*, 2008).

En el caso aquí tratado la falta de relación lateral y vertical con depósitos marinos y de evidencias que sustenten cambios paleoclimáticos, llevan a suponer que la generación del paleovalle estuvo controlada por factores tectónicos. En este sentido, es importante destacar que aunque han sido reportadas discordancias intraformacionales en el contacto entre el miembro inferior y superior de la Formación Vinchina (Marenssi *et al.*, 2000), no existen evidencias de movimientos tectónicos que deformaran o bascularan a las rocas de la Formación Vinchina previa a la deposición de la Formación

Toro Negro. Por el contrario, ambas secuencias conforman una sucesión homoclinal tal cual ha sido destacado en trabajos anteriores (Turner, 1964; Ramos, 1970; Limarino *et al.*, 2001, Ciccioli, 2008).

De acuerdo a lo señalado, los eventos tectónicos que provocaron la drástica caída en el perfil de equilibrio de los sistemas fluviales, condición necesaria para la formación del paleovalle, deben buscarse fuera de la zona en estudio. Un esquema paleogeográfico de la cuenca para el Oligoceno Tardío Mioceno Temprano, estratigráficamente equivalente al Miembro Superior de la Formación Vinchina, es mostrado en la figura 9. Como allí puede verse, la cuenca de antepaís se encontraba limitada al oeste por los primeros corrimientos de la faja plegada y corrida andina, que más hacia el poniente pasaba al arco volcánico cenozoico. Al norte y sur emergían bloques de basamento elevado (Sierras de Toro Negro y Umango-Espinal), muy probablemente limitados por fallas transcurrentes originadas por la interacción de los esfuerzos andinos con antiguas estructuras precámbricas y eopaleozoicas (Rossello *et al.*, 1996). Finalmente, en el este es muy probable la existencia de un Proto-Famatina que habría controlado, al menos parcialmente, el diseño de la red de drenaje desde el inicio de la Formación Vinchina (Limarino *et al.*, 2001).

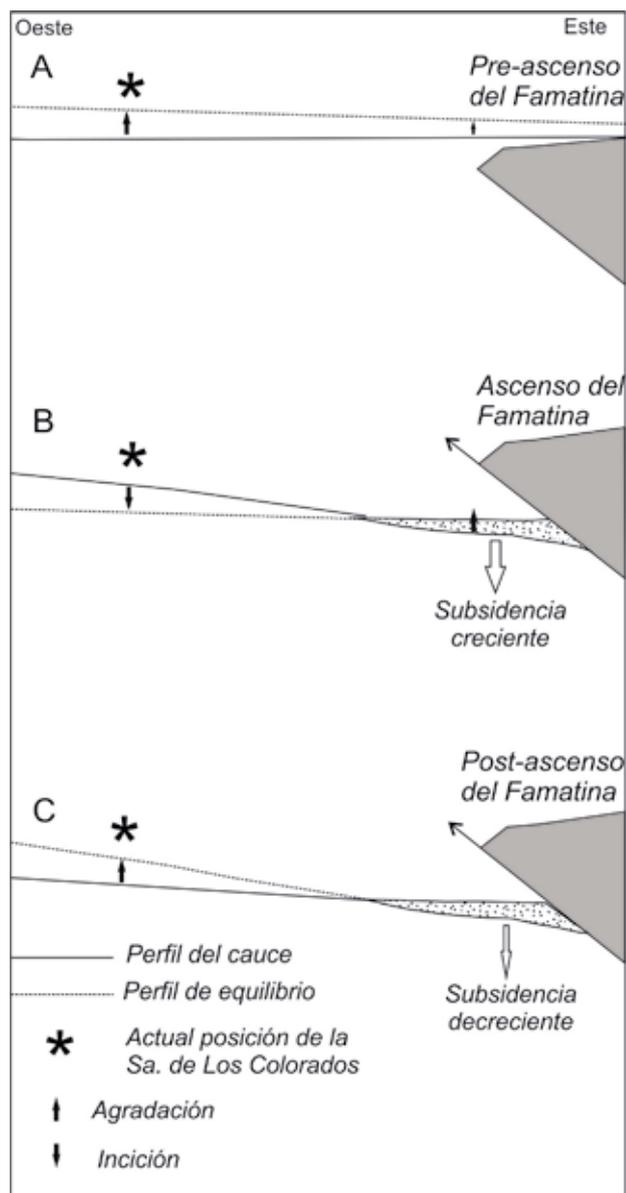


Figura 10. Relación entre la subsidencia, perfiles de equilibrio (y cauces) y estados de agradación-incisión vinculados al ascenso del Famatina occidental.

Figure 10. Relation between subsidence, equilibrium (and channels) profiles and aggradation-incision stages linked to the western Famatina uplift.

En este modelo se ha omitido la existencia de centros volcánicos que habrían provisto parte de los clastos encontrados en los conglomerados sinorogénicos de la Formación del Crestón en la Sierra de Famatina (Dávila *et al.*, 2004). Aunque la existencia de este volcanismo es incuestionable, la posición de los centros efusivos a esta latitud es aún imprecisa.

En concordancia con Ramos *et al.* (2002), en este trabajo se propone que el inicio del levantamiento

de la Sierra de Famatina correlaciona hacia el oeste con el límite entre las formaciones Vinchina y Toro Negro. Recientemente Dávila y Astini (2007) y Dávila (2010) han mostrado que el levantamiento del dominio occidental de la Sierra de Famatina ocurrió en el Mioceno Temprano y Medio (entre los 17 Ma y 14 Ma; Dávila, 2010). Esta antigüedad es concordante con la aquí propuesta para la superficie de incisión.

En este trabajo se propone que el origen de la incisión está estrechamente vinculado al alzamiento del cordón más occidental del Famatina que produjo la fragmentación de la cuenca de antepaís. En particular la presencia de afloramientos de la Formación Vinchina en la parte alta de la Sierra de Famatina (Maisonave, 1979), la ausencia de exposiciones de la Formación Toro Negro en la misma área y la abundancia de clastos graníticos en las formaciones Del Crestón y Del Abra (Dávila y Astini, 2007) sugieren que el ascenso del Famatina occidental correlaciona con el contacto entre las Formaciones Vinchina y Toro Negro.

El Sistema del Famatina incluye rocas de basamento (Granito Ñuñorco, Fig. 1) elevadas por fallas inversas vergentes al oeste que forman la ladera oeste del Famatina (Durand, 1996; Ramos *et al.*, 2002). De esta forma, la cuenca de antepaís incorporó en su fragmentación un área dominada por tectónica de piel gruesa que indujo patrones de subsidencia característicos (Mortimer *et al.*, 2007). En este sentido el ascenso de bloques de basamento puede generar subsidencia tectónica y de sobrecarga que forman estrechas artesas adyacentes a la zona elevada. La aceleración de la subsidencia debió producir no sólo modificaciones sustanciales en el espacio de acomodación frente al área elevada (Famatina occidental), sino también en toda la región (p.e. área de la Sierra de Los Colorados).

La figura 10 esquematiza la variación en la tasa de subsidencia, perfiles de equilibrio y espacio de acomodación frente al bloque elevado y en regiones distantes. En la figura 10a se han supuesto las condiciones pre-movimiento caracterizadas por un alto perfil de equilibrio y tasa de creación de espacio de acomodación en la actual Sierra de Los Colorados. Al producirse el alzamiento tectónico (Fig. 10b) se acelera la subsidencia y aumenta la tasa de creación de espacio de acomodación en el sector proximal al sistema de fallas. En contraposición, el área distal (incluyendo el *forebulge*) queda sujeta a una caída de los perfiles de equilibrio, acompañada muy

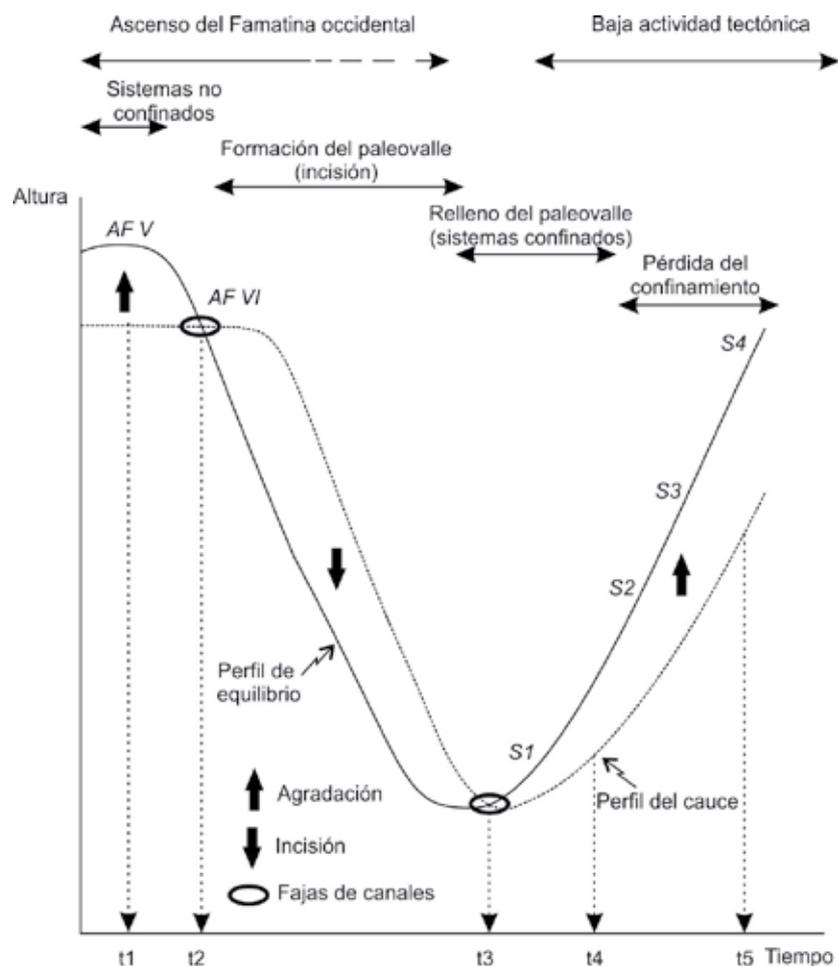


Figure 11. Variación de la altura de los perfiles de equilibrio y cauces a lo largo del tiempo al producirse el ascenso del Famatina occidental. Referencias: AF asociaciones de facies (Formación Vinchina), S secciones estratigráficas (Formación Toro Negro).

Figure 11. Changes in the height of equilibrium and channel profiles along the time during the uplift of the western Famatina. References: AF facies associations (Vinchina Formation), S stratigraphic sections (Toro Negro Formation).

probablemente por incisión de los sistemas fluviales (generación de paleovalles) y cambio en el diseño de los sistemas fluviales (Ouchi, 1985). Durante el período post-tectónico (Fig. 10c) la subsidencia y el espacio de acomodación disminuyen en el área móvil, al tiempo que los perfiles de equilibrio ascienden en el sector distal y los sistemas fluviales entran nuevamente en agradación.

Un modelo que explica la variación de las condiciones de creación del espacio de acomodación en la región que hoy ocupa la Sierra de Los Colorados es mostrado en la figura 11. Este modelo asume una tasa de subsidencia constante durante el lapso considerado en la Sierra de Los Colorados, y a diferencia de la figura 8 varía la altura del cauce y perfil de equilibrio en el tiempo. A partir de t1 (Fig. 11) el perfil de equilibrio comienza a caer, probablemente en respuesta al aumento de la

subsidencia en el área próxima al Famatina, hasta intersectar el perfil de los cauces en t2 (Fig. 11). De esta forma la alta tasa de creación del espacio de acomodación, que caracterizó a la asociación de facies V de la Formación Vinchina (Tabla 1), fue progresivamente reducido hasta favorecer sólo la preservación de fajas de canales (asociación de facies VI, Tabla 1). Entre t2 y t3 (Fig. 11) los sistemas fluviales inciden generando el paleovalle sobre la Formación Vinchina. A partir de t3 y al disminuir sensiblemente la tasa de subsidencia en la región próxima al Famatina, se recuperan las condiciones de perfil de equilibrio bajo y los sistemas fluviales comienzan a agrandar rellenando progresivamente el paleovalle (sección S1). Sin embargo el limitado espacio de acomodación que caracteriza al relleno inicial de paleovalles favorece la formación de fajas de canales amalgamados con escasos depósitos de

planicies de inundación (Shanley y McCabe, 1994; Dalrymple *et al.*, 1998; Blum y Törnqvist, 2000; Catuneanu, 2006, Fig. 11).

Un progresivo aumento en la tasa de creación de espacio de acomodación, muy probablemente vinculado a quietud tectónica, llevó a una mayor tasa de agradación, y a partir de t4 (Fig. 11) los sistemas fluviales incluidos en las secciones S2 y S3 incrementan la participación de depósitos de planicies de inundación fangosas. Finalmente, en t5 (Fig. 11) la tasa de agradación se hace máxima y la arquitectura fluvial evoluciona a fajas de canales “encapsuladas” (sección S4).

CONCLUSIONES

De lo expuesto en la presente contribución pueden extraerse las siguientes conclusiones:

1. El contacto entre las formaciones Vinchina y Toro Negro corresponde a una superficie de incisión de alto relieve relativo que produjo en el sector norte del área analizada la erosión de no menos del 25% de la Formación Vinchina.
2. La mencionada superficie de incisión presenta diferente expresión estratigráfica a lo largo del área analizada. La parte norte (secciones de La Aguada y Los Pozuelos) corresponde a los niveles inferiores de un paleovalle que muestra su pared sur entre el área de Los Pozuelos y el río de La Troya. Por el contrario al sur del río de La Troya el relieve de la incisión disminuye considerablemente hasta formar a una superficie plana (o de bajo relieve relativo) en la quebrada del Yeso.
3. El relleno de la superficie de incisión puede ser caracterizado a partir de la definición de 4 secciones estratigráficas. La sección S1 está formada por conglomerados extraformacionales junto a aglomerados y brechas intraformacionales. La sección S2 corresponde a conglomerados gruesos a finos, areniscas guijarrosas y areniscas gruesas con minoritaria participación de pelitas y areniscas muy finas. La sección S3 comprende ciclos granocrecientes compuestos por pelitas, areniscas y conglomerados. Finalmente, la sección S4 está dominada por depósitos finos (pelitas y areniscas finas) con limitada participación de conglomerados y areniscas gruesas. Las secciones S1 y S2 están paleogeográficamente limitadas al paleovalle, mientras que las secciones S3 y S4 se extiende a lo largo de toda el área estudiada.

4. La parte basal de la sección S1 ha sido interpretada como correspondiente a condiciones de confinamiento con bajo espacio de acomodación. El contexto de confinamiento continuó durante la depositación de la sección S2 pero dentro de un esquema de espacio de acomodación creciente. Durante la sedimentación de la sección S3 el sistema pasó de confinado a no confinado y se alcanzó el estado de máximo espacio de acomodación en la sección S4.

5. Dataciones radimétricas obtenidas en las formaciones Vinchina y Toro Negro indican que la superficie de incisión se habría formado durante el Mioceno más tardío y no sería más antigua que los 19,1 Ma ni más joven que los 8,6 Ma.

6. Es muy probable que el origen de la superficie de incisión descrita en este trabajo esté directamente vinculado a una de las fases principales de ascenso del Famatina occidental. En esta interpretación, una alta tasa de subsidencia en la cuenca ubicada directamente al frente de las fallas inversas que produjeron el ascenso del Famatina, generó una caída del nivel de base, aumentando el ángulo de los perfiles de equilibrio de los sistemas fluviales y la formación de la superficie de incisión en la Sierra de Los Colorados. En condiciones post-tectónicas se habría producido el llenado del paleovalle y la extensión de la sedimentación a la totalidad de la región estudiada.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a los revisores Dra. Gilda Collo y al Dr. Sergio Georgieff la cuidadosa lectura del trabajo y sus valiosas sugerencias. Este trabajo fue realizado en el marco de los Proyectos de Investigación UBACyT X119 de la Universidad de Buenos Aires y PICT 0375/2007 de la ANPCyP.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arnott, R.W., R.A. Zaitlin y D.J. Potockt, 2002. Stratigraphic response to sedimentation in a net-accommodation-limited setting, Lower Cretaceous Basal Quartz, south-central Alberta. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology* 50:92-104.
- Borello, A. y A. Cuerda, 1968. Grupo Río Huaco (Triásico), San Juan. Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires. *Noticias* 7:3-15.
- Blum, M.D. y T. Törnqvist, 2000. Fluvial responses to climate and sea level changes a review and look forward. *Sedimentology* 47(S1):2-48.
- Caselli, A.T., S. Marensi, A. Tripaldi, C.O. Limarino y M.L. Gagliardo, 2002. Análisis paleoambiental y correlación

- estratigráfica de la Formación Puesto La Flecha (Terciario), provincia de La Rioja. *XV Congreso Geológico Argentino Actas* 1:679-683, El Calafate.
- Catuneanu, O.**, 2006. *Principles of Sequence Stratigraphy*. Elsevier, Amsterdam, 375 pp.
- 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, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, 336 pp. (inédito).
- Ciccioli, P.L., S.A. Marensi y C.O. Limarino**, 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). *X Reunión Argentina de Sedimentología Actas*:41-43, San Luis.
- Ciccioli, P.L., C.O. Limarino y S.A. Marensi**, 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* 60:251-254.
- Ciccioli, P.L., S.A. Marensi y C.O. Limarino**, 2008. Procedencia de la Formación Toro Negro: Un estudio complementario a partir de modas detríticas de areniscas y componentes modales de conglomerados. *XII Reunión Argentina de Sedimentología Actas*: 57, Buenos Aires.
- Ciccioli, P.L., C.O. Limarino, S.A. Marensi, A.M. Tedesco y A. Tripaldi**, 2010. Estratigrafía de la Cuenca de Vinchina (Terciario), Sierras Pampeanas, Provincia de La Rioja. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 66(1):146-155.
- Ciccioli, P.L., C.O. Limarino, S.A. Marensi, A.M. Tedesco y A. Tripaldi**, en prensa. Tectosedimentary evolution of the La Troya-Vinchina depocenters (Northern Bermejo Basin Tertiary), La Rioja Province, Argentina. En J.A. Salfity y R.A. Marquillas (Eds.), *Cenozoic Geology of the Central Andes of Argentina*. Geological Society of America Special Publication (in press).
- Dalrymple, M., J. Prosser y B., Williamsn**, 1998. A dynamic systems approach to the regional controls on deposition and architecture of alluvial sequences, illustrated in the Staffjord Formation (United Kingdom, Northern North Sea). En *Relative Role of Eustasy, Climate and Tectonism in Continental Rocks*, SEPM Special Publication 59:65-81.
- Dávila, F.M.**, 2010. Dynamics of deformation and sedimentation in the northern Sierras Pampeanas: An integrated study of the Neogene Fiambalá Basin, NW Argentina. Comment and Discussion. *Geological Society of America Bulletin* 122:946-949.
- Dávila, F.M. y R.A. Astini**, 2007. Cenozoic provenance history of synorogenic conglomerates in western Argentina (Famatina belt): Implications for Central Andean foreland development. *Geological Society of America Bulletin* 119:609-622.
- Dávila, F.M., R.A., Astini, T.E., Jordan y S.M., Kay**, 2004. Early Miocene andesite conglomerates in the Sierra de Famatina, broken foreland region of western Argentina, and documentation of magmatic broadening in the south-central Andes. *Journal of South American Earth Sciences* 17:89-101.
- Dávila, F.M., G. Collo, J. Nobile, R.A. Astini y G. Gehrels**, 2008. U-Pb detrital ages on a tuffaceous sandstone sheet in the Vinchina Formation, La Rioja: deposition and exhumation explanations. *XVII Congreso Geológico Argentino Actas* 1:65-96, San Salvador de Jujuy.
- DeCelles, P.J., M.B. Gray, K.D. Ridgway, R.B. Cole, D.A. Pivnik, N. Pequera y P. Srivastava**, 1991. Controls on synorogenic alluvial-fan architecture, Beartooth Conglomerate (Paleocene), Wyoming and Montana. *Sedimentology* 38:567-590.
- De La Fuente, M., P.L., Ciccioli, C.O., Limarino, P.R., Gutiérrez y L.E., Fauqué**, 2003. Quelonios podocnemídidos en la Formación Puesto La Flecha (Oligoceno), Precordillera de La Rioja, Argentina. *Ameghiniana* 40:617-624.
- Durand, F.R.**, 1996. La tectónica cenozoica del Sistema del Famatina. En F.G. Aceñolaza, H. Miller y A.J. Toselli, (Eds.), *Geología del Sistema del Famatina*. Münchner Geologische Hefte A 19:343-357.
- Dykstra, M., B. Kneller y J.P. Milana**, 2006. Deglacial and postglacial sedimentary architecture in a deeply incised paleovalley-paleofjord – The Pennsylvanian (late Carboniferous) Jejenes Formation, San Juan, Argentina. *Geological Society of America Bulletin* 118:913-937.
- Greb, S.F. y D.R. Chesnut Jr.**, 1996. Lower and lower Middle Pennsylvanian fluvial to estuarine deposition, central Appalachian basin: Effects of eustasy, tectonics, and climate. *Geological Society American Bulletin* 108:303-317.
- Henry, L.C., J.L. Isbell, C.O. Limarino, L.J. McHenry y M.L. Fraiser**, 2010. Mid-Carboniferous deglaciation of the Protoprecordillera, Argentina recorded in the Agua de Jagüel palaeovalley. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 298:112-129.
- Korus, J.T., E.P. Kvale, K.A. Eriksson y R.M. Joeckel**, 2008. Compound paleovalley fills in the Lower Pennsylvanian New River Formation, West Virginia, USA. *Sedimentary Geology* 208:15-26.
- Krapovickas, V., P.L. Ciccioli, M.G. Mángano, C.A. Marsicano y C.O. Limarino**, 2009. Paleobiology and paleoecology of an arid-semiarid Miocene South American ichnofauna in anastomosed fluvial deposits. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 284:129-152.
- Lancaster, S.T.**, 2007. Evolution of sediment accommodation space in steady state bedrock-incising valleys subject to episodic aggradation. *Journal of Geophysical Research* 113(F04002):1-17.
- Limarino, C., A. Tripaldi, S. Marensi, L. Net, G. Re y A. Caselli**, 2001. Tectonic control on the evolution of the fluvial systems of the Vinchina Formation (Miocene), northwestern Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 14:751-762.
- Maisonave, H.M.**, 1979. *Descripción geológica de la Hoja 14c. Cerros Cuminchango (Provincias de La Rioja y Catamarca)*. Servicio Geológico Nacional. Boletín N° 162, Buenos Aires, 83 pp.
- Makaske, B.**, 2001. Anastomosing rivers: a review of their classification, origin and sedimentary products. *Earth-Science Reviews* 53:149-196.
- Marensi, S., L. Net, A. Caselli, A. Tripaldi y C. Limarino**, 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* 55:414-418.
- Melchor, R.N., J.F. Genise, J.L. Farina, M.V. Sánchez, L. Sarzetti y G. Visconti**, 2010. Large striated burrows from fluvial deposits of the Neogene Vinchina Formation La Rioja, Argentina: A crab origin suggested by neoichnology and sedimentology. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 291:400-418.
- Miall, A. D.**, 1996. *The geology of fluvial deposits*. Springer, Berlin, 582 pp.

- Mortimer, E., B. Carrapa, I. Coutand, L. Schoenbohm, E.R. Sobel, J. Sosa Gomez y M.R., Strecker,** 2007. Fragmentation of a foreland basin in response to out-of-sequence basement uplifts and structural reactivation: El Cajón-Campo del Arenal basin, NW Argentina. *Geological Society of America Bulletin* 119:637-653.
- Ouchi, S.,** 1985. Response of alluvial rivers to slow active tectonic movement. *Geological Society American Bulletin* 896:504-515.
- 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* 15(3):359-382.
- Ramos, V.A.,** 1999. Los depósitos sinorogénicos terciarios de la región andina. En R. Caminos (Ed.), *Geología Argentina*, Anales del Instituto de Geología y Recursos Minerales 29(22):651-691.
- Ramos, V.A., E.O. Cristallini y D.J. Pérez,** 2002. The Pampean flat-slab of the Central Andes. *Journal of South American Earth Sciences* 15:59-78.
- Rossello, E.A., M.E., Mozetic, P.R., Cobbold, M. de Urreiztietia y D., Gapais,** 1996. El espolón Umango-Maz y la conjugación sintaxial de los lineamientos Tucumán y Valle Fértil (La Rioja, Argentina), *XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos Actas* 2:187-194, Buenos Aires.
- Shanley, K.W. y P.J. McCabe,** 1994. Perspectives on the sequence stratigraphy of continental strata: report of a working Group at the 1991 NUNA Conference on High Resolution Sequence Stratigraphy. *American Association Petroleum Geologists Bulletin* 74:544-568.
- Tabbutt, K.D., Ch.W. Naeser, T.E. Jordan y P.F. Cervený,** 1989. New fissiontrack ages of Mio-Pliocene tuffs in the Sierras Pampeanas and Precordillera of Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* XLIV(1-4):408-419.
- Törnqvist, T.E., J. Wallinga, A.S. Murray, H. DeWolf, P. Cleveringa y W. De Gans,** 2000. Response of the Rhine–Meuse system (west-central Netherlands) to the last Quaternary glacio-eustatic cycles: a first assessment. *Global and Planetary Change* 27:89-111.
- Tripaldi, A. y C. O. Limarino,** 2005. Vallecito Formation (Miocene): The evolution of an eolian system in an Andean foreland basin (northwestern Argentina). *Journal of South American Earth Sciences* 19:343-357.
- Tripaldi, A., L. Net, L. Limarino, S. Marensi, G. Re y A. Caselli,** 2001. Paleoambientes sedimentarios y procedencia de la Formación Vinchina, Mioceno, noroeste de la prov. de La Rioja. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 56:443-465.
- Turner, J.C.M.,** 1964. Descripción geológica de la Hoja 15c. Vinchina (Provincia de La Rioja). Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín N° 100, 81 pp. Buenos Aires.
- Varela, V., A.M. Sato, M.A.S. Basei y O. Siga,** 2003. Proterozoico medio y Paleozoico inferior de la sierra de Umango, antepaís andino (29°S), Argentina: edades U-Pb y caracterizaciones isotópicas. *Revista Geológica de Chile* 30:265-284.