

ANÁLISIS PETROGRÁFICO DE LAS ARENISCAS JURÁSICAS TEMPRANAS EN EL DEPOCENTRO ATUEL DE LA CUENCA NEUQUINA

Maisa A. TUNIK¹, Silvia LANÉS², Florencia BECHIS³ y Laura GIAMBIAGI⁴

¹ Laboratorio de Tectónica Andina, Universidad de Buenos Aires y CIMAR - Universidad Nacional del Comahue, Neuquén. Email: maisa_tunik@yahoo.com.ar

² Villahermosa, Tabasco, México. Email: lucero_sil@yahoo.com.ar

³ Laboratorio de Modelado Geológico, Universidad de Buenos Aires y CRICYT - IANIGLA, Mendoza. Email: fbechis@lab.cricyt.edu.ar

⁴ Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales-CCT-CONICET Mendoza.. Email: lgiambia@lab.cricyt.edu.ar

RESUMEN

El depocentro Atuel es un *hemigraben* de rumbo NNO y polaridad al oeste, que fue rellenado durante el Triásico Tardío - Jurásico Temprano, ubicado en el norte de la cuenca Neuquina. El relleno de este *hemigraben* corresponde a las sedimentitas marinas y continentales de las formaciones Arroyo Malo, El Freno, Puesto Araya y Tres Esquinas. La caracterización petrográfica de las areniscas que conforman dichas unidades permitió discriminar tres petrofacies y analizar sus áreas de procedencia. La petrofacies A ($Q\ 25 \pm 3$, $F\ 27 \pm 7$, $L\ 48 \pm 7$), coincide con el desarrollo de la Formación Arroyo Malo y el marco tectónico del área de procedencia analizada a partir de los gráficos de Dickinson et al. (1983), es de arco transicional. La petrofacies B, incluye a las formaciones El Freno ($Q\ 39 \pm 12$, $F\ 32 \pm 8$, $L\ 29 \pm 9$) y Puesto Araya en su sección inferior ($Q\ 36 \pm 9$, $F\ 28 \pm 10$, $L\ 37 \pm 10$) y tienen una procedencia de un arco volcánico transicional a disectado. La petrofacies C, correspondiente a la Formación Puesto Araya en su sección superior ($Q\ 48 \pm 3$, $F\ 23 \pm 14$, $L\ 29 \pm 12$), presentan una procedencia de un arco disectado a orógeno reciclado. Finalmente, se incluye una muestra correspondiente a la Formación Tres Esquinas ($Q\ 15\ F\ 49\ L\ 36$) cuya composición es muy diferente a las anteriores, ya que está caracterizada por el bajo porcentaje de cuarzo y la presencia de trizas de caída directa; la procedencia de esta muestra es de arco volcánico. La caracterización de las petrofacies A, B y C, permitió en forma preliminar, identificar sus áreas de aporte y apoyar la coetaneidad entre las formaciones El Freno y Puesto Araya inferior, tal como lo propusieron estudios sedimentológicos, estratigráficos y estructurales previos.

Palabras clave: *Areniscas, Petrografía, Procedencia, Hemigraben, Cuenca Neuquina*

ABSTRACT: *Petrographic analyses of the early Jurassic sandstones at the Atuel depocenter, Neuquén basin.* The Atuel depocenter is a NNO trending hemigraben with west polarity filled during the Late Triassic - Early Jurassic. It is located on the northern are of the Neuquén basin. The hemigraben infill is made of marine and continental deposits of the Arroyo Malo, El Freno, Puesto Araya and Tres Esquinas Formations. The sandstone petrographic characterization of those units allowed us to distinguish three petrofacies and analyzed their provenance sources. The A Petrofacies ($Q\ 25 \pm 3$, $F\ 27 \pm 7$, $L\ 48 \pm 7$) matches with the Arroyo Malo Formation and its provenance obtained from the Dickinson et al. (1983) graphs is from a transitional arc. The B Petrofacies includes El Freno Formation ($Q\ 39 \pm 12$, $F\ 32 \pm 8$, $L\ 29 \pm 9$) and the lower section of Puesto Araya Formation ($Q\ 36 \pm 9$, $F\ 28 \pm 10$, $L\ 37 \pm 10$). The petrofacies provenance is from a volcanic arc to a dissected arc. The C Petrofacies, assigned to the upper Puesto Araya Formation ($Q\ 48 \pm 3$, $F\ 23 \pm 14$, $L\ 29 \pm 12$) has a provenance of a dissected arc to a recycled orogen. Finally a sample from Tres Esquinas Formation ($Q\ 15\ F\ 49\ L\ 36$) revealed a provenance from a volcanic arc. Preliminary sources areas were identified based on the petrofacies characterization. This characterization also supports the co-taneous sedimentation between El Freno Formation and the lower section of Puesto Araya Formation suggested by previous stratigraphic and structural studies.

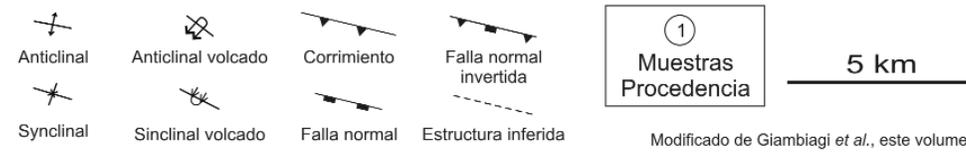
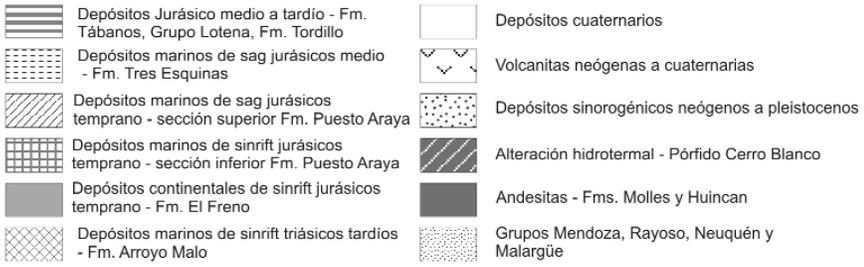
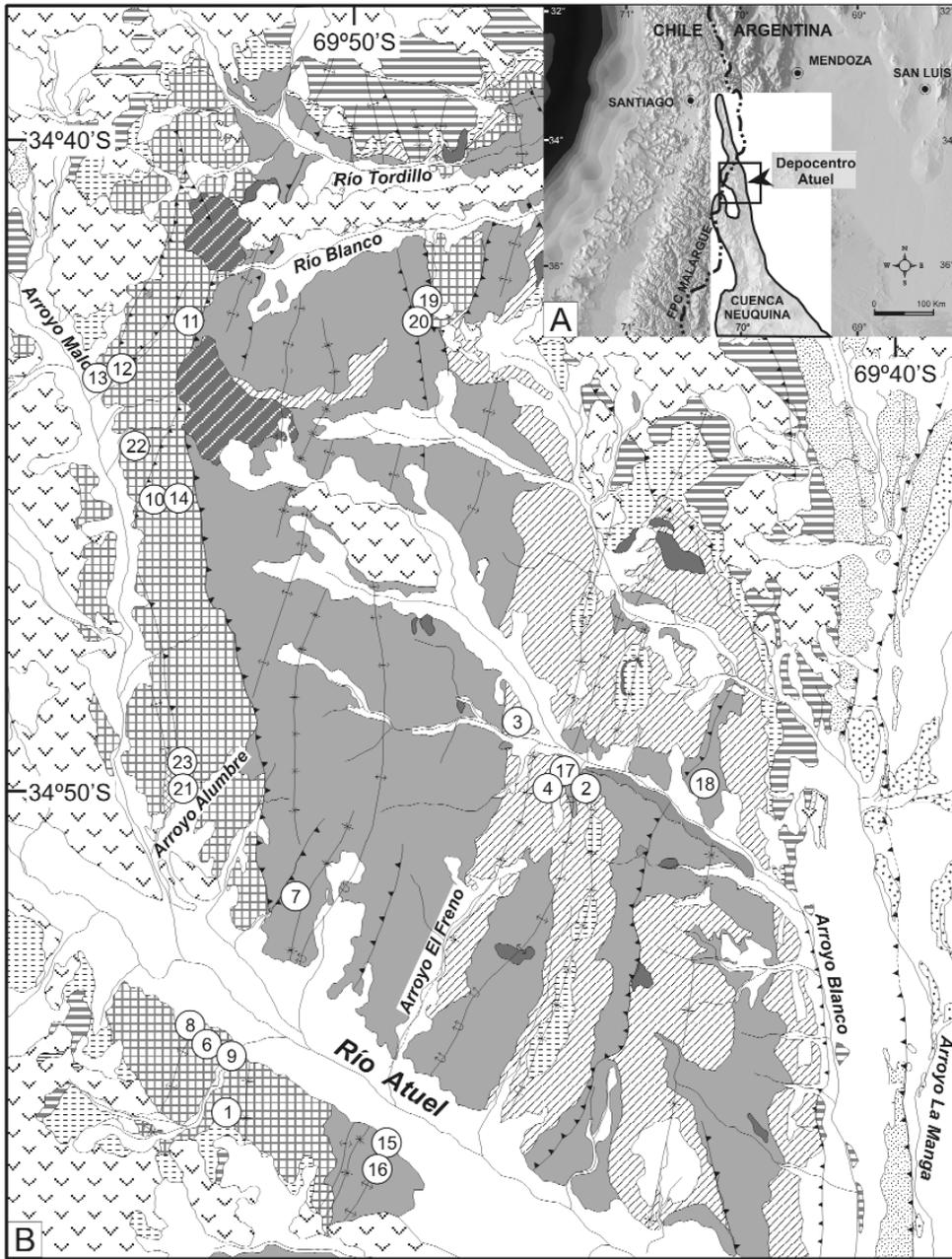
Keywords: *Sandstones, Petrography, Provenance, Hemigraben, Neuquén basin.*

INTRODUCCIÓN

El depocentro Atuel se encuentra dentro de la faja plegada y corrida de Malargüe, en el sector más septentrional de la cuen-

ca Neuquina (Fig. 1). El mismo corresponde a un *hemigraben* de rumbo NNO y polaridad al oeste, que se extiende entre los ríos Diamante y Salado (Manceda y Figueroa 1995), sur de la provincia de

Mendoza. Este trabajo tiene por objetivo caracterizar, mediante al análisis de moldes detríticas de las areniscas jurásicas, al relleno del *hemigraben* y analizar en forma preliminar sus áreas de procedencia.



Modificado de Giambiagi *et al.*, este volumen

Figura 1: A. Mapa de ubicación de la subcuenca Atuel. B. Mapa geológico simplificado con la posición de las muestras analizadas que se detallan en el Cuadro 1.

La petrografía sedimentaria está ampliamente aceptada como una excelente herramienta para determinar el origen y la reconstrucción tectónica de las áreas de procedencia de depósitos terrígenos antiguos (Blatt 1967, Dickinson 1970, Pettijohn *et al.* 1972, Ingersoll 1978, Dickinson y Suczek 1979, Dickinson *et al.* 1983 entre otros trabajos). La excepcional exposición de los depósitos de *synrift* y *sag*, junto con los estudios estructurales y sedimentológicos de detalle (Bechis *et al.* 2005, Giambiagi *et al.* 2005 a, b, Giambiagi *et al.* este volumen, Bechis y Giambiagi 2008, Lanés 2002, 2005, 2007, Spalletti *et al.* 2007) permitieron conocer los ambientes en los que se depositaron las areniscas y entender sus complejas relaciones estructurales. De esta manera, los resultados obtenidos a partir de los análisis petrográficos y de procedencia fueron realizados sobre una excelente base sedimentológica y estructural que permitió arribar a conclusiones más certeras.

Metodología

Las tareas de campo consistieron en la recolección de muestras de las unidades que rellenan el *hemigraben* tomando como base los perfiles sedimentarios previamente levantados (Giambiagi *et al.* 2005 a y b, Lanés 2002, 2005, 2007) o bien en sectores donde la estratigrafía era conocida o era problemática. En este último caso, la petrografía contribuyó a determinar su correcta ubicación estratigráfica. Las muestras proceden de las siguientes localidades: arroyo Las Piedras, quebrada Larga, quebrada del Puma, cerro los Mesones, arroyo Alumbre, La Horqueta, paredones arroyo Malo, codo del arroyo Blanco y arroyo Peuquenes (Fig.1). En laboratorio y para llevar adelante la caracterización de las modas detríticas, se analizaron un total de 40 secciones delgadas, involucrando sedimentitas de las formaciones arroyo Malo, El Freno y Puesto Araya. Se agrega en el presente estudio la caracterización petrográfica de una muestra de la Formación Tres Esquinas dadas las características peculiares que se obser-

varon en la misma. En futuros estudios se aumentará el número de muestras a estudiar de esta unidad para poder sacar conclusiones más precisas.

Se realizaron análisis cualitativos de todas las muestras, seleccionando veintidós areniscas de grano fino a grueso para realizar estudios cuantitativos utilizando el método de Gazzzi-Dickinson (Ingersoll *et al.* 1984). Este método minimiza el efecto de tamaño de grano, estandarizando las muestras a un tamaño de grano arena fina, es decir, si dentro de un lítico se identifica un componente de tamaño arena fina, éste se cuenta como ese componente y no como lítico. Un total de entre 350 y 400 puntos fueron contabilizados por corte delgado, incluyendo la fracción clástica y los componentes de los espacios intergranulares. Los resultados obtenidos de esos conteos permitieron clasificarlas según Folk *et al.* (1970) y ubicarlas en los diagramas de procedencia propuestos por Dickinson *et al.* (1983).

Para caracterizar mejor las fracciones finas y los cementos de las muestras, se utilizó el Microscopio Electrónico Philips SEM 515 de la Universidad Nacional del Comahue.

MARCO TECTÓNICO

La cuenca Neuquina ha sido considerada una cuenca de retro-arco (Mpodozis y Ramos 1989), cuya apertura correspondió a procesos extensivos relacionados a la fragmentación del Gondwana, la apertura del océano Atlántico Sur y a un régimen de subducción con extensión detrás del arco magmático en el margen occidental durante el Mesozoico (Uliana *et al.* 1989, Legarreta y Uliana 1991, Mpodozis y Ramos 1989). Estos procesos extensivos generaron depocentros alargados de orientación NNO (Rolleri y Criado 1968, Charrier 1979). El más septentrional de la cuenca, ubicado en el sector argentino, corresponde al depocentro Atuel (Fig. 1), donde se encuentra la zona de estudio. Corresponde a una subcuenca de rumbo NNO-SSE y polaridad al oeste, desarrollado durante un período de importante

deformación extensional ocurrido entre el Triásico Tardío y el Jurásico Temprano, y caracterizado por dos fallas normales principales, las fallas Alumbre y La Manga (Giambiagi *et al.* este volumen). La falla La Manga corresponde al límite oriental de los depósitos de *synrift* y habría controlado el desarrollo del *hemigraben* Río Blanco, completamente emergido. La falla Alumbre está ubicada unos 20 km al oeste y habría dividido al *hemigraben* Río Blanco del *hemigraben* Arroyo Malo, éste último completamente sumergido.

ESTRATIGRAFÍA

La estratigrafía de la zona incluye secuencias sedimentarias marinas y continentales mesozoicas y volcánicas cenozoicas pre y post tectónicas. El basamento estructural se encuentra expuesto en el Cordón del Carrizalito, perteneciente a la Cordillera Frontal, al noreste de la zona de estudio. Dicho cordón está compuesto por rocas sedimentarias devónicas con metamorfismo de bajo grado, granitos y tonalitas carbonífero-pérmicos y rocas volcánicas permotriásicas (Volkheimer 1978).

La sección triásico-jurásica del depocentro Atuel (Fig. 2) ha sido estudiada en detalle por Reijeinstein (1967), Volkheimer (1978), Riccardi *et al.* (1988, 1990, 1997), Riccardi e Iglesia Llanos (1999) y Lanés (2002, 2005, 2007). Los niveles triásicos tardíos corresponden a las sedimentitas marinas de la Formación Arroyo Malo, a los que se superponen las sedimentitas continentales y marinas de las Formaciones El Freno (Reijeinstein 1970) y Puesto Araya (Volkheimer 1978), respectivamente. El Jurásico Medio está representado por pelitas negras de la Formación Tres Esquinas, seguidas de evaporitas, pelitas y carbonatos de las formaciones Tábanos, Lotena y La Manga (Fig. 2). Por encima se disponen evaporitas de la Formación Auquillo y bancos rojos de la Formación Tordillo del Jurásico Tardío. Plegadas en concordancia con las secuencias mesozoicas se observan rocas volcánicas cenozoicas pre-tectónicas. Cu-

briendo discordantemente a todas estas unidades afloran rocas volcánicas cenozoicas post-tectónicas (Fig. 2).

RASGOS SEDIMENTARIOS Y PALEOAMBIENTALES DE LAS FORMACIONES ARROYO MALO, EL FRENO, PUESTO ARAYA Y TRES ESQUINAS

A continuación se sintetizará la sedimentología e interpretación paleoambiental de las Formaciones Arroyo Malo, El Freno, Puesto Araya y Tres Esquinas. Descripciones e interpretaciones más detalladas pueden consultarse en Giambiagi *et al.* (2005b), en Lanés (2002, 2005 y 2007) y en Spalletti *et al.* (2007).

La Formación Arroyo Malo (Retiano-Hetangiano Medio, Riccardi e Iglesia Llanos 1999) es una sucesión turbidítica fangoarenosa gris, con intercalaciones de bancos tabulares y lentes de conglomerados y brechas, clastosostén y matrizostén. La sucesión refleja la somerización de un abanico deltaico de talud en una cuenca marina que inclinaba al OSO (Az 260°), por debajo del tren de olas. Las paleocorrientes indican flujos al OSO (Az 240°) y ONO (Az 283° a 288°).

La Formación El Freno (Triásico Tardío - pre-Pliensbachiano Temprano) está formada por lentes de conglomerados clastosostenidos, areniscas conglomerádicas, areniscas y pelitas subordinadas. Ha sido interpretada como depósitos de barras longitudinales y transversales de un sistema fluvial entrelazado (Lanés 2002, Giambiagi *et al.* 2005b, Spalletti *et al.* 2005a y b, Artabe *et al.* 2005) que localmente es más sinuoso, desarrollando planicies de inundación, canales y lóbulos de desborde (Lanés 2007, Spalletti *et al.* 2007) y barras laterales alternas (Lanés 2007). Las paleocorrientes indican flujos al O hasta el NO y localmente hacia el N.

La Formación Puesto Araya ha sido dividida por Lanés (2002) en dos secciones: la inferior que aflora al oeste del arroyo Agua Buena (Fig. 1) y la superior, al este del mismo. La Formación Puesto Araya

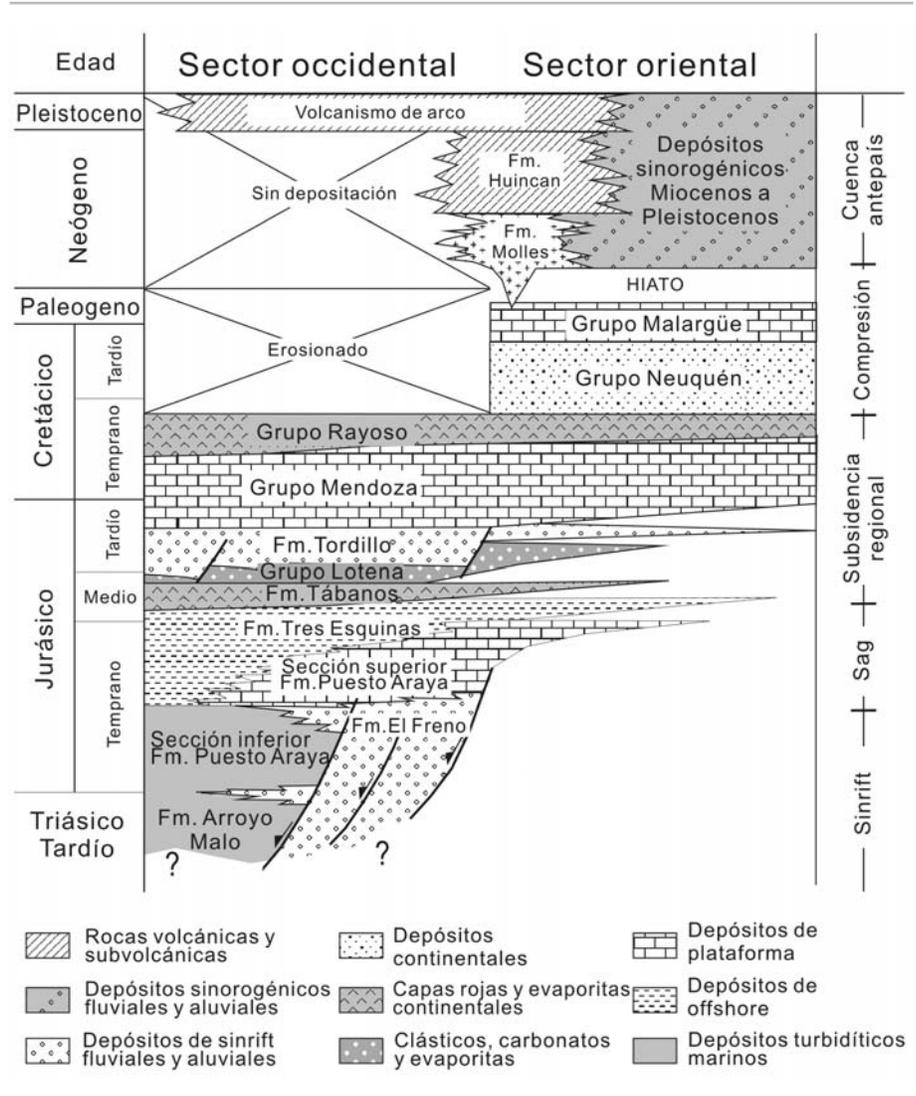


Figura 2: Columna estratigráfica del área de estudio.

inferior (Hetangiano Medio-Sinemuriano Temprano tardío) agrupa depósitos de abanicos deltaicos de *synrift* (incluidos en la Formación Arroyo Malo por Spalletti *et al.* 2005a), posiblemente coetáneos con parte de la Formación El Freno (Lanés 2002, Giambiagi *et al.* 2005b). Consta de pelitas laminadas, turbiditas diluidas, clásicas y arenosas y brechas intraformacionales, a veces con deformaciones sedimentarias. Las facies cuspidales de esta sucesión varían mucho localmente. La Formación Puesto Araya inferior registra la somerización de un abanico deltaico de talud que evolucionó hasta otro transicional a los de tipo Gilbert (Lanés 2005), con un frente de abanico deltaico menos empinado y barras de desembocadura

arenosas. Las paleopendientes inclinaban al OSO y NO (Az 260° y 330°) y los flujos se dirigían al SSO hasta NO (Az 190° hasta 335°), NNE (Az 20°-38°) y N (Az 352°-359°).

La sección superior de la Formación Puesto Araya (Sinemuriano Temprano tardío-Toarciario) es arenosa, grano y estratodecreciente, bien estratificada, mayormente tabular y aflora generalmente al este del arroyo El Freno. Esta sucesión refleja la transgresión de una plataforma dominada por tormentas, desde estuarios dominados por oleaje hasta zonas de plataforma interna. Los flujos se dirigían al ONO hasta NO (Az 305° hasta 312°) y OSO hasta NNO (Az 260° hasta 330°) en el estuario y la plataforma respectivamente.

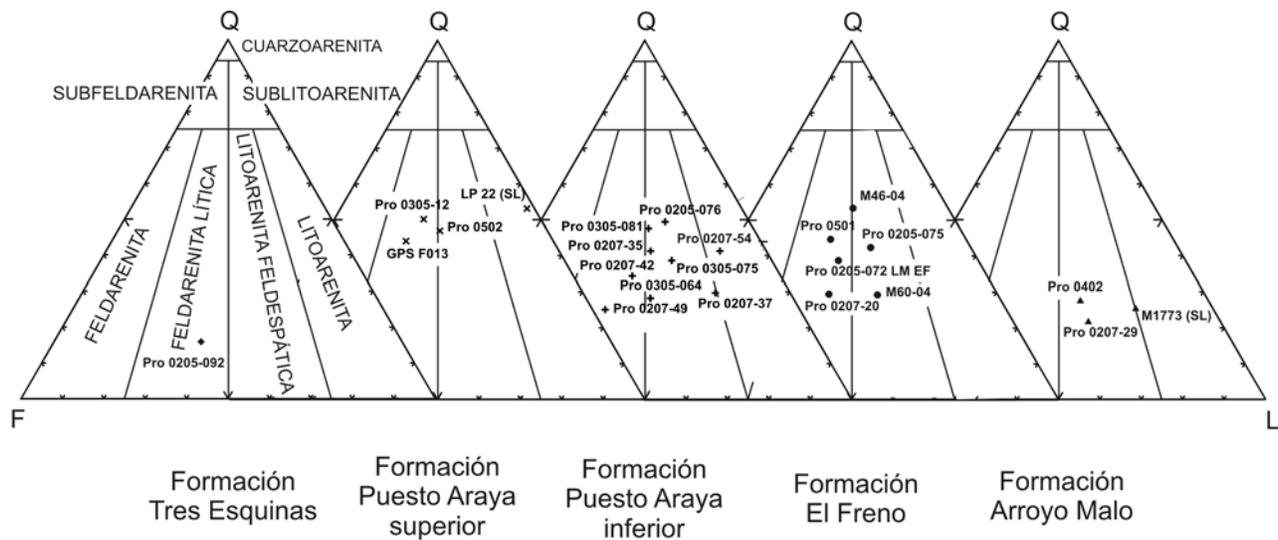


Figura 3: Clasificación de las areniscas analizadas en el diagrama QFL de Folk *et al.* (1970). Q: cuarzo total, F: feldespatos totales, L: líticos totales.

La sección superior de la Formación Puesto Araya pasa transicionalmente a la Formación Tres Esquinas (Pliensbachiano Tardío alto - Bajociano), que consta de pelitas macizas y laminadas con pavimentos de *Bositra* sp. y nanoplancton calcáreo (Lanés 2002), intercaladas con turbiditas diluidas y clásicas. Se interpretan como depósitos de una plataforma externa turbidítica generalmente anaeróbica y ocasionalmente disaeróbica (Lanés 2002). Tanto la Formación Puesto Araya superior como la Formación Tres Esquinas se depositaron durante un lapso de baja tasa de creación de espacio de acomodación compatible con una etapa de *sag* (Lanés 2002, 2005).

ESTRUCTURA

A partir de la integración de datos estratigráficos preexistentes (Lanés 2002, 2005) con el análisis de las estructuras relacionadas a la etapa de *rift*, se pudo establecer que el depocentro Atuel estuvo caracterizado por dos fallas normales principales, las fallas Alumbre y La Manga, de rumbo NNO e inclinación al oeste (Giambiagi *et al.* este volumen). La falla La Manga corresponde al límite oriental de los depósitos de *synrift* y habría controlado el desarrollo del hemigraben Río Blanco, completamente emergido. Su traza está marcada por el lineamiento Bor-

bollón-La Manga que corre con rumbo NNO desde el arroyo Borbollón hasta el río Atuel, y su inclinación es hacia el OSO. La falla Alumbre habría dividido al hemigraben Río Blanco del *hemigraben* Arroyo Malo, éste completamente sumergido. Sus depósitos de pared colgante representan a abanicos deltaicos proximales de geometría marcadamente cuncoform, asociados a importantes discordancias angulares. Estas discordancias generalmente coinciden con límites de secuencia de tercer orden propuestos por Lanés (2002), indicando que el movimiento periódico de esta falla fue el responsable de la reorganización del depocentro y de su patrón de drenaje. El *hemigraben* Río Blanco se encontraría partido por fallas normales de rumbo NNO y fallas normales de rumbo ONO, que habrían controlado localmente la creación de espacio de acomodación.

COMPONENTES DETRÍTICOS, COMPONENTES INTERGRANULARES Y POROSIDAD DE LAS ARENISCAS

Las areniscas estudiadas corresponden a litoarenitas feldespáticas, feldarenitas líticas y litoarenitas (Folk *et al.* 1970) de grano fino hasta grueso, generalmente bien

seleccionadas (Fig. 3). Las mismas presentan indicios de diagénesis y compactación moderada a importante.

Se reconocieron veintidós elementos para el conteo, que se dividieron en componentes detríticos (18) y componentes intergranulares, incluyendo tipos de cementos (3) y porcentaje de matriz (1). La porosidad no fue contabilizada ya que la misma se encuentra en muy baja proporción y sólo en algunas muestras es baja (Fig. 6a). La fracción clástica está compuesta por cuarzo, feldespatos y líticos, con baja proporción de cementos y minerales autigénicos (Cuadro 1).

Cuarzo

Se distinguieron cinco variedades de cuarzo, dos tipos monocristalinos (Figs. 4a, 4f, 5a, 6b, 7b y 8b): con extinción recta y con extinción ondulosa y tres variedades de cuarzo policristalino (Figs. 5a, 5b y 7a): hasta tres subgranos, hasta cinco subgranos y más de cinco subgranos siguiendo el criterio de Basu *et al.* (1975). El reconocimiento de estas diferentes clases de cuarzo se realizó teniendo presente a que tipo de cuarzo correspondía el grano que se estaba observando, es decir, si se observaba un cuarzo de tamaño arena fina en un agregado de más de 5 subgranos se lo incluía en esta categoría. Esta caracterización no implica que

CUADRO 1: Datos obtenidos a partir del conteo de puntos para las areniscas de la subcuenca Atuel.

| Perfil | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | |
|----------|----------|----------------|---------------------|---------------------|-----------------------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|------------|-------------|---------|--------|--------|---------------|------------------|-------|-----|
| Unidad | TE | PA5 | PA5 | PA5 | PA5 | PA5 | PAi | PAi | PAi | PAi | PAi | PAi | PAi | PAi | PAi | EF | EF | EF | EF | EF | EF | AM | AM | AM? |
| Muestras | 0205-092 | F013 (0105) 12 | 0305-0602 (0105) 12 | 0305-0602 (0105) 12 | LP 22 (0105) (SL) 081 | 0305-081 | 0305-064 | 0305-075 | 0205-076 | 0207-49 | 0207-42 | 0207-37 | 0207-35 | 0207-54 | 0205-075 | 0205-072LM | 0501 (0105) | 0207-20 | M46-04 | M60-04 | M17 73(SL) 29 | 0207-0402 (1104) | | |
| Qmr | 10,50 | 4,75 | 10,25 | 18,00 | 20,75 | 8,25 | 11,00 | 9,75 | 18,75 | 17,00 | 5,00 | 24,75 | 15,25 | 4,75 | 17,75 | 6,25 | 31,25 | 19,75 | 3,00 | 1,00 | 11,71 | | | |
| Qmo | 1,75 | 15,75 | 11,25 | 9,50 | 46,86 | 16,50 | 9,75 | 12,25 | 23,50 | 1,00 | 2,50 | 23,25 | 23,75 | 0,5 | 12,50 | 9,75 | 4,50 | 16,25 | 5,5 | 3,5 | 14,50 | 15,00 | 5,71 | |
| Qp1 | 11,00 | 8,25 | 10,25 | 0,57 | 3,25 | 2,75 | 1,50 | 5,25 | 1,25 | 2,25 | 2,75 | 2,00 | 1 | 3,25 | 6,25 | 13,75 | 2,75 | 4,5 | 3,25 | 1,75 | 2,75 | 0,25 | 2,86 | |
| Qp2 | 5,25 | 2,75 | 1,50 | 1,71 | 2,00 | 4,00 | 1,50 | 2,25 | 1,50 | 2,25 | 6,50 | 3,25 | 1,5 | 0,75 | 9,25 | 3,00 | 0,50 | 3,75 | 2,75 | 2,75 | 2,25 | 1,43 | | |
| Qp3 | 1,00 | 3,25 | 11,75 | 3,50 | 3,50 | 0,29 | 4,00 | 1,50 | 3,50 | 7,50 | 2,00 | 2,75 | 3,25 | 1,5 | 4,50 | 3,00 | 1,00 | 0,50 | 6,5 | 1,00 | 0,75 | 3,43 | | |
| K | 14,75 | 17,25 | 15,25 | 11,25 | 1,14 | 10,00 | 13,50 | 8,00 | 8,75 | 11,75 | 18,25 | 9,50 | 16,75 | 4,75 | 9,00 | 12,75 | 7,75 | 17,50 | 4,75 | 7,5 | 5,25 | 15,25 | 12,86 | |
| P | 27,50 | 14,25 | 10,00 | 12,75 | 0,57 | 14,75 | 25,75 | 9,75 | 9,50 | 19,75 | 14,75 | 6,75 | 7,00 | 6,75 | 11,25 | 17,25 | 22,75 | 20,00 | 18 | 19,5 | 12,25 | 13,75 | 14,57 | |
| Mc | 1,25 | | | | 0,50 | | 0,50 | 1,75 | | | 0,75 | | | | 1,50 | | | 0,25 | | | | | | |
| Lvf | 16,25 | 11,50 | 11,25 | 15,50 | 37,14 | 13,25 | 17,25 | 22,50 | 22,00 | 27,25 | 21,50 | 43,50 | 22,00 | 41,75 | 25,25 | 17,25 | 12,00 | 20,00 | 22,00 | 33,75 | 28,50 | 35,25 | 30,86 | |
| Lvp | 13,00 | 1,00 | 2,50 | 1,00 | 0,29 | 7,50 | 2,75 | 2,25 | 2,00 | 3,50 | 0,25 | 0,50 | 1,50 | 8,75 | 1,75 | 2,75 | 1,75 | 2,00 | 0,25 | 0,5 | 18,00 | 1,00 | 3,14 | |
| Lp | 0,50 | 2,50 | 1,75 | 3,75 | 3,25 | 1,00 | 3,25 | 1,00 | 0,75 | 1,00 | 1,00 | 0,50 | 1,00 | 0,50 | 1,75 | 1,50 | 1,00 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 2,00 | 1,14 | | |
| Oi | 3,75 | 3,75 | 4,25 | 4,25 | 2,75 | 2,00 | 3,00 | 4,50 | 0,25 | 0,25 | 2,00 | 0,75 | 1,5 | 0,25 | 3,50 | 4,75 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,86 | | |
| Ls | 1,00 | | 0,00 | | 1,14 | | 0,25 | | | | 0,75 | | | | | | | 0,25 | | | | | | |
| La | | | | | 4,00 | | | | 2,00 | 5,25 | 1,00 | 0,75 | | | | | | 3,50 | 0,25 | 3 | 2,25 | 5,00 | 2,86 | |
| Ch | | | 0,00 | 0,50 | | | | | | | | | | | | | 0,25 | | | | | | | |
| Ot | 7,50 | 1,00 | 2,00 | 4,75 | 2,29 | 0,75 | 3,75 | 0,75 | 0,25 | 1,25 | 3,25 | 1,50 | 1,25 | 1,75 | 6,75 | 0,75 | 3,50 | 3,75 | 0,5 | 4,5 | 0,50 | 0,75 | 5,43 | |
| MV | 3,00 | 5,25 | | | 0,50 | 2,75 | 1,75 | 1,75 | 0,25 | 0,25 | 1,75 | 0,25 | 1,75 | 0,25 | 0,50 | 4,25 | 1,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 2,00 | 0,86 | |
| M | | | | | 2,25 | 0,25 | 0,25 | | | | 2,75 | | | | | | | | | | | 4,50 | | |
| Z | 0,25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Car | 1,00 | 2,25 | 0,25 | 3,25 | 2,86 | 0,25 | 4,00 | 7,25 | 2,50 | 1,50 | 3,25 | 10,00 | 2,00 | 3,25 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 3,75 | 1,75 | 3,5 | 7,00 | 3,25 | 0,86 | |
| Ot cem | 1,25 | | 9,00 | 0,25 | 1,14 | | 0,25 | 0,25 | | | 1,75 | 1,00 | 0,75 | | | | | | | | | | | |
| Ccarb | 0,75 | | | | 4,25 | 15,25 | | | 6,50 | 2,00 | 5,50 | | | | 8,50 | | | | | | 0,25 | | 1,43 | |

Qmr: cuarzo monocristalino con extinción relámpago, Qmo: cuarzo monocristalino con extinción ondulosa, Qp1: cuarzo policristalino de dos componentes, Qp2: cuarzo policristalino de tres componentes, Qp3: cuarzo policristalino de más de tres componentes, K: feldespato alcalino, P: plagioclasa, Mc: microclino, Lvf: lítico volcánico felítico, Lvp: lítico volcánico pilotáxico, Oi: otros líticos, Ls: líticos sedimentarios, La: líticos alterados, Ch: chert, Ot: otros, Mv: muscovita, Car: cementos arcillosos, Cc: otros cementos, Ccarb: cemento carbonático, M: matriz, Z: trizas. 1) Arroyo de las Piedras. 2) La Horqueta. 3) La Horqueta. 4) La Horqueta. 5) Arroyo Pequeños*. 6) Arroyo de las Piedras. 7) Quebrada Larga. 8) Arroyo de las Piedras. 9) Arroyo de las Piedras. 10) Paredones Arroyo Malo. 11) Quebrada del Puma. 12) Quebrada del Puma. 13) Quebrada del Puma. 14) Paredones Arroyo Malo. 15) Cerro Los Mesones. 16) Cerro Los Mesones. 17) La Horqueta. 18) Codo del Arroyo Blanco. 19) Arroyo Carguero. 20) Arroyo Carguero. 21) Perfil tipo Fm. Arroyo Malo. 22) Paredones Arroyo Malo. 23) Arroyo Alumbre. TE. Formación Tres Esquinas. Pas. Puesto Araya superior. Pai. Puesto Araya inferior. EF. Formación El Freno. AM. Formación Arroyo Malo. Véase figura 1 para la ubicación de las muestras. La muestra 5*, se localiza en: 35°05'52" S; 70°06'1" W fuera del área del mapa.

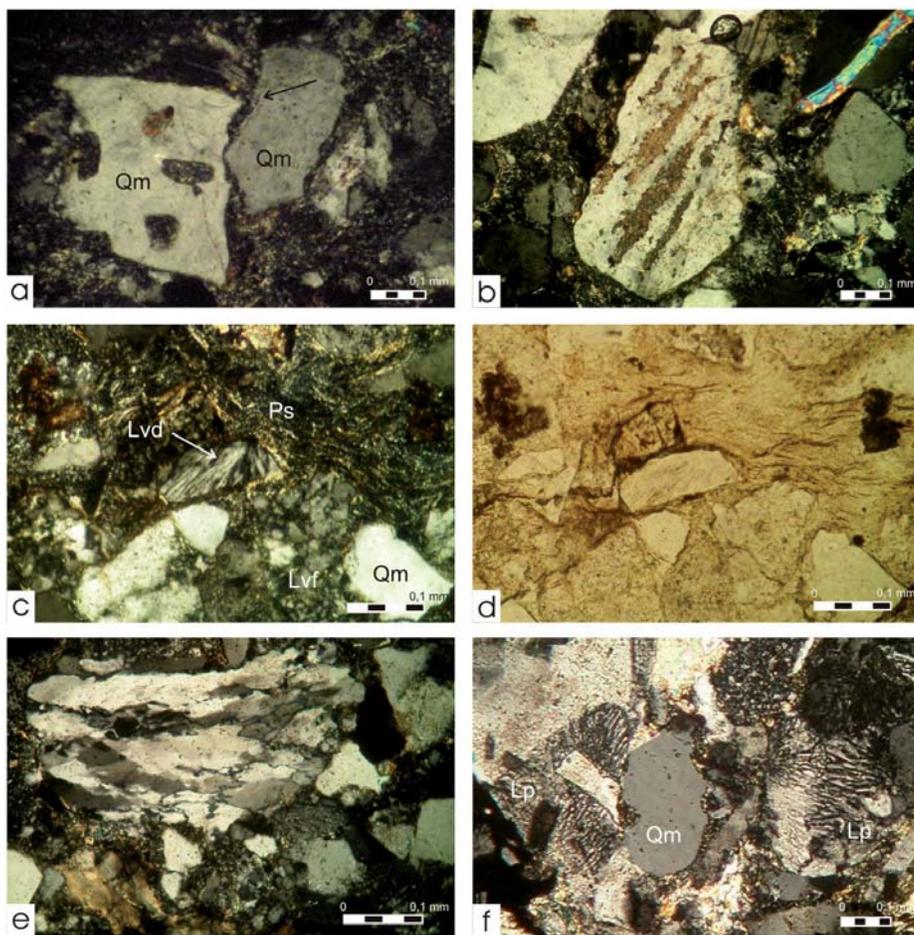


Figura 4: Fotografías de secciones delgadas mostrando las características petrográficas típicas de la Formación Arroyo Malo: a) Cuarzos monocristalinos (Qm). El de la izquierda presenta huecos producto de la reacción del cuarzo con el magma y es característico de rocas volcánicas. El cuarzo de la derecha presenta inclusiones fluidas y crecimiento secundario. Muestra 0207-29. NC. X10; b) Feldespato alcalino que presenta disolución y reemplazo de carbonato controlado por sus maclas. Muestra 0207-29. NC. X10. c. Lítico alterado a arcillas y deformado generando pseudomatriz (Ps). Nótese la presencia de un lítico volcánico felsítico (Lvf) y otro desvitrificado (Lvd) y abundante cuarzo monocristalino límpido (Qm). Muestra 0207-29. NC. X10; d) Imagen con nicoles paralelos de la sección anterior. Nótese la deformación que presenta el lítico. Muestra 0207-29. NP. X10; e) Lítico de origen metamórfico. Nótese la deformación y alineación que presentan los componentes. Muestra 0402. NC. X10; f) Lítico de origen plutónico (Lp) y fragmentos con texturas de intercrecimiento. En el centro se observa un cuarzo límpido con engolfamiento y preservación de la pasta volcánica, en este caso indicando un origen volcánico. Muestra 0402. NC. X10.

se observaba en un tamaño de grano arena fina un cuarzo con cinco subgranos.

Algunos cuarzoes presentan bordes levemente corroídos, sugiriendo disolución parcial durante la diagénesis, o bien contactos cóncavo convexos hasta suturados producto en algunos casos de la fuerte compactación. El promedio del contenido de cuarzo total en la Formación Arroyo Malo es de 22%, mientras que en las formaciones El Freno y Puesto Araya inferior tienen valores de 35 % y 32 % res-

pectivamente. Para la Formación Puesto Araya superior se registró un valor promedio de 44%. Para la Formación Tres Esquinas, en la única muestra analizada, el porcentaje de cuarzo total baja notablemente a 13 %.

Feldespatos

Los feldespatos han sido distinguidos por su forma, alteración, maclas, clivaje y demás características petrográficas (Figs. 4b, 5b, 6c y 8d). Se han identificado or-

tosa, microclino (Fig. 6d) y plagioclasas. Las plagioclasas fueron distinguidas por sus maclas características (Figs. 5a, 6b y 8d). En las formaciones Arroyo Malo, El Freno y Puesto Araya, los valores de feldespato total varían entre 2 % y 39 %. Esta variación se debe a cambios de procedencia local, ya que si se realiza el promedio para cada una de las unidades los valores son similares: Arroyo Malo (25 %), El Freno (28 %), Puesto Araya inferior (24 %) y Puesto Araya superior (21 %). Estos valores contrastan con el porcentaje de 42 % de feldespato total en la muestra de la Formación Tres Esquinas.

En algunas muestras se han observado abundantes texturas de intercrecimientos de cuarzo y feldespato, de tipo pertitas en los feldespatos, mirmequitas en el contacto entre plagioclasa y feldespato alcalino y textura micrográfica asociada al cuarzo. Estas texturas son características de rocas plutónicas (Fig. 4f).

Líticos: El porcentaje de líticos varía notablemente: la Formación Arroyo Malo tiene en promedio 44 % de líticos, mientras que las formaciones El Freno, Puesto Araya inferior y Puesto Araya superior tienen 27 %, 33 % y 26 %, respectivamente. La muestra de la Formación Tres Esquinas alcanza un 31 % de líticos.

Los líticos más abundantes son los volcánicos cuyos porcentajes varían entre 15 y 48 % del valor total y en mucha menor proporción (hasta un 5 % del valor total) plutónicos, sedimentarios, líticos alterados y otros. Los fragmentos de rocas volcánicas más comunes son aquellos que presentan pastas felsíticas (Figs. 4c, 5d, 7b y 8a), mientras que aquellos con pasta pilotáxica están subordinados (Fig. 8b), salvo en la Formación Tres Esquinas y en una muestra de la Formación Arroyo Malo. Entre los líticos felsíticos se incluyen aquellos con texturas de desvitrificación (Figs. 4c y 5c), texturas granosas o seriadas (Fig. 6b).

En mucha menor cantidad se observaron líticos alterados, generalmente como pseudomatriz (Figs. 4c, 4d, 5d y 6d). El origen de estos líticos no se pudo precisar con certeza por el grado de alteración

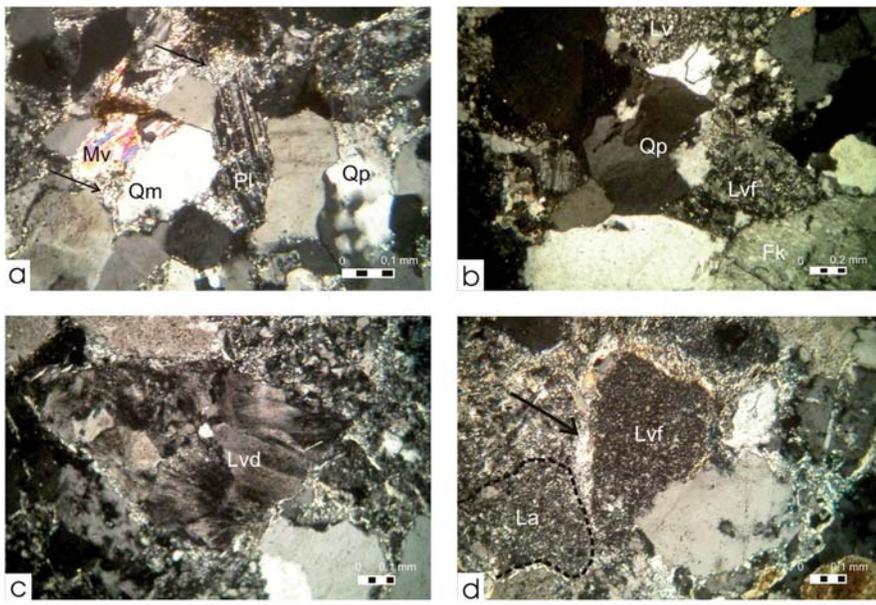


Figura 5: Fotografías de secciones delgadas mostrando las características petrográficas típicas de la Formación El Freno: a) Arenisca con alto porcentaje de cuarzo y feldespatos. Se observa un cuarzo policristalino (Qp), cuarzo monocristalino (Qm), plagioclasa (Pl) y arcillas como relleno de poro y reemplazando a un clasto. Muestra Pro 0501. NC. X10; b) Cuarzo policristalino de más de cinco componentes (Qp), feldespato perítico (Fk) y líticos volcánicos (Lv) con pasta felsítica. Muestra M46-04. NC. X2.5; c) Lítico volcánico desvitrificado (Lvd). Muestra Pro 0205-075. NC. X10; d) Lítico volcánico felsítico (Lv), lítico alterado (La) y arcillas (illita?) como relleno de poro y como cobertura de grano. Muestra Pro 0205-075. NC. X10.

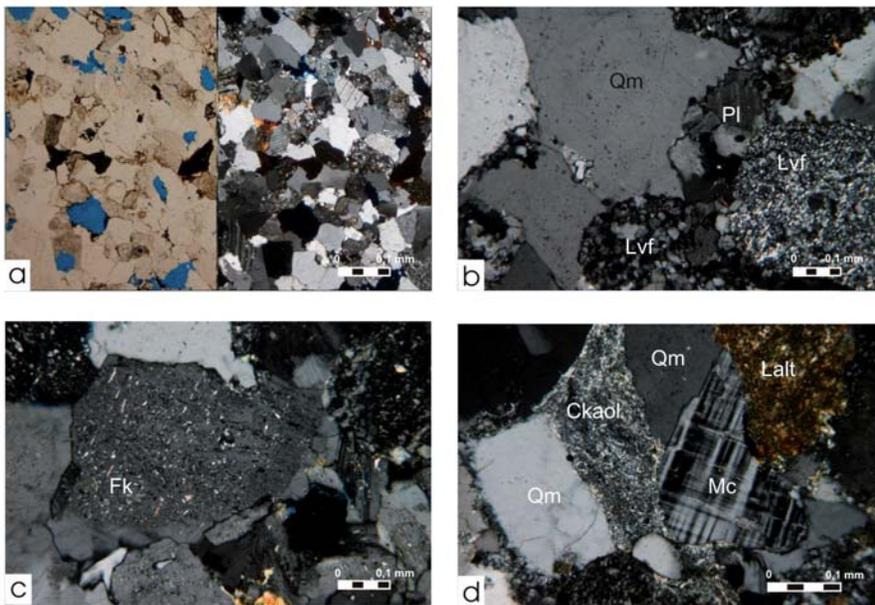


Figura 6: Fotografías de secciones delgadas mostrando las características petrográficas típicas de la Formación Puesto Araya inferior: a) Arenisca similar porcentaje de cuarzo, feldespatos y líticos. Se presenta una de las pocas muestras que presenta porosidad secundaria producto de disolución de clastos. Muestra 0305-081. NP y NC. X5; b) Cuarzo monocristalino (Qm) con contactos cóncavo-convexos con una plagioclasa (Pl). Nótese la presencia de líticos volcánicos con pastas felsíticas (Lvf). Muestra 0305-081. NC. X10; c) Feldespato alcalino con crecimiento secundario. Muestra 0305-081. NC. X10; d) Microclino (Mc), cuarzo monocristalino (Qm) y lítico alterado (Lalt) con cemento caolinitico (Ckaol) como relleno de poro. Muestra Pro 0205-076. NP. X10.

que presentan.

Los líticos sedimentarios se presentan en

muy baja proporción y corresponden a pelitas (Fig. 7b) y areniscas finas o frag-

mentos calcáreos (Fig. 8a). En algunas muestras son más abundantes, revelando una procedencia local.

También se han observado escasos fragmentos de rocas piroclásticas y metamórficas (Fig. 4e) y sólo en algunas muestras. Los líticos plutónicos (Fig. 4f) también se encuentran en muy baja proporción. En este caso, y debido al método de conteo empleado, los componentes individuales de los clastos se cuentan como cuarzo, feldespato potásico y plagioclasas. Sin embargo, se debe tener presente el origen plutónico de elementos, especialmente para la interpretación paleogeográfica.

No se han observado cambios importantes en de la composición de los líticos que ayude a discriminar las distintas unidades, salvo la mayor proporción de líticos volcánicos con pastas pilotácicas dentro de la Formación Arroyo Malo. Esta tendencia deberá ser analizada con mayor detalle cuando aumente el número de muestras analizadas.

Componentes intergranulares-cementos y matriz

Como cemento se ha observado escaso crecimiento secundario de feldespatos (Fig. 6c) y plagioclasas y en forma más común, crecimiento secundario de cuarzo (Figs. 4a, 7a y 7b). En algunas muestras el cemento carbonático puede ser abundante (Fig. 8d) o bien predominar las arcillas como relleno de poro o reemplazando la pseudomatrix (Figs. 6d y 8a). El crecimiento secundario de cuarzo se distingue por la presencia de inclusiones fluidas o delgados *rims* arcillosos en el clasto original. Dicho crecimiento secundario no se observa en contacto con fragmentos líticos (Fig. 4a), lo que sugeriría una compactación significativa antes de la cementación de cuarzo (Milliken 2001). Algunas areniscas tienen calcita como cemento, la cual se observa como relleno de poros y reemplazando clastos, principalmente feldespatos (Figs. 4b y 8d). Eventualmente quedan englobados granos de cuarzo o plagioclasa inmersos en el cemento calcítico, los cuales muestran

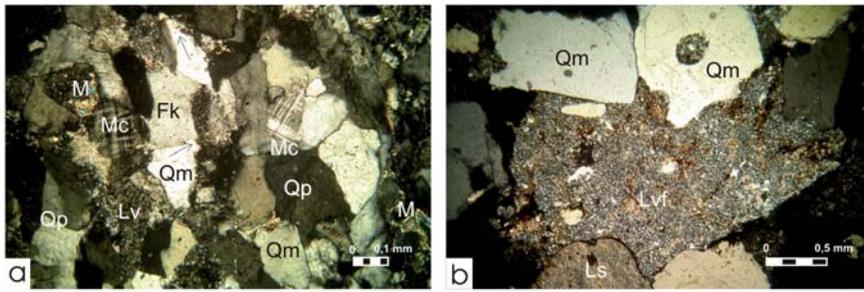


Figura 7: Fotografías de secciones delgadas mostrando las características petrográficas típicas de la Formación Puesto Araya superior: a) Arenisca con cuarzo mono (Qm) y policristalino (Qp), feldespato (Fk y Mc) y escasos líticos volcánicos (Lv). Nótese el empaquetamiento cerrado de la muestra, la deformación de las micas y el crecimiento secundario de cuarzo, indicado con la flecha. Muestra GPS F013. La barra tiene 0,1 mm. NC. X10; b) Detalle de una arenisca gruesa con abundante cuarzo, líticos volcánicos ácidos y líticos sedimentarios. Nótese la ausencia de feldespato. Muestra LP 22: La barra tiene 0,5 mm. NC. X10.

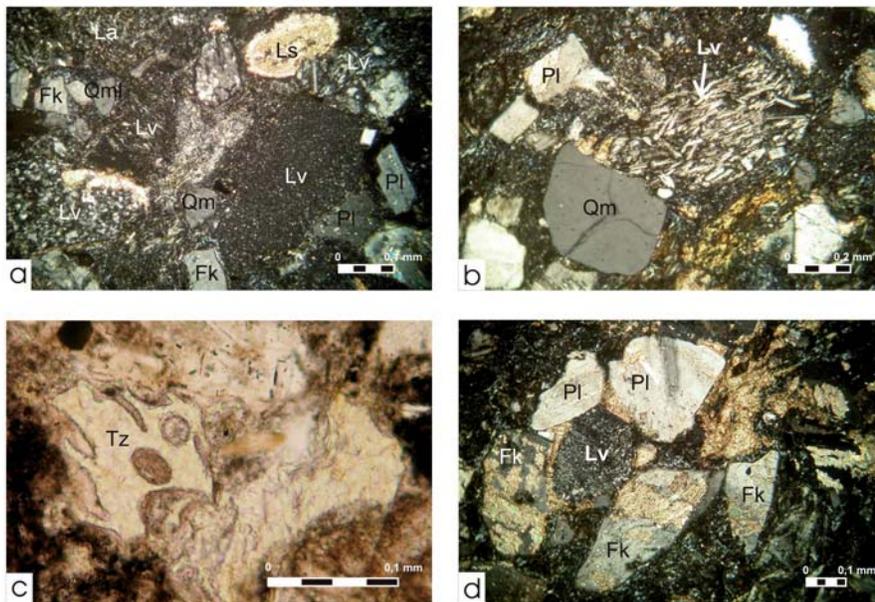


Figura 8: Fotografías de la sección delgada de la Formación Tres Esquinas: a) Arenisca con abundantes líticos, feldspatos y bajo porcentaje de cuarzo. Se distinguen líticos volcánicos de diferentes tipos, líticos de origen sedimentario (Ls), plagioclasas (Pl) y feldespato alcalino (Fk) y escaso cuarzo monocristalino (Qm). NC. X10; b) Detalle de un lítico volcánico con pasta pilotáxica. Nótese las plagioclasa alineadas. Se observa también cuarzo monocristalino (Qm) y abundantes líticos volcánicos, algunos alterados (Lv). NC. X10; c) Triza desvitrificada (Tz). NP. X20; d) Clastos de feldespato alcalino (Fk) y plagioclasas (Pl) reemplazados por carbonato. El carbonato también aparece como relleno de poro. NP. X10. Todas las fotos corresponden a la Muestra Pro0205-092.

bordes angulosos. El reemplazo completo de feldespato resulta en parches de calcita de gran tamaño que conservan las formas típicas de los feldspatos, los cuales suelen estar marcados por coberturas de arcillas. Es importante destacar que en los conteos, estos reemplazos de carbonatos fueron contados como feldspatos. En estas areniscas, la presencia de crecimiento secundario de cuarzo está subordinada.

En forma subordinada, se observan cementos arcillosos: illita, clorita y en mucha menor proporción esmectita. La illita y la clorita se encuentran como relleno microcristalino de poros o bien como cobertura de granos. La esmectita aparece como relleno de poros.

Compactación y porosidad

Las areniscas tienen evidencias de com-

compactación mecánica y química. La compactación mecánica está dada por la deformación de líticos de origen volcánico, sedimentario o indeterminado que han sido transformados en pseudomatriz. La compactación también provocó la deformación mecánica de micas y fracturamiento y reordenamiento de granos. La compactación química se desarrolla localmente en las zonas de presión-solución intergranular, desarrollando, contactos rectos, cóncavo-convexos y suturados principalmente entre granos de cuarzo (Fig. 6b) y entre cuarzo y feldspatos (e.g. Arribas *et al.* 2003).

Los bajos valores de porosidad que se observan en las muestras están dados principalmente por la intensa compactación que presentan las muestras.

PETROFACIES TENDENCIAS Y COMPOSICIONALES

En el presente trabajo, se usa el término petrofacies para areniscas que comparten porcentajes similares de sus modas detríticas de cuarzo, feldespato y líticos (Cuadro 2) (Mansfield 1971, Dickinson y Rich 1972). Se establecieron así, tres petrofacies: Petrofacies A, que incluye a las areniscas de la Formación Arroyo Malo (Fig. 4), Petrofacies B, que incluye a las areniscas de la Formación El Freno (Fig. 5) y de la Formación Puesto Araya inferior (Fig. 6) y Petrofacies C que abarca a las areniscas de la Formación Puesto Araya superior (Fig. 7). También se indican las características de la única muestra de la Formación Tres Esquinas ya que presenta algunas características particulares (Fig. 8).

La petrofacies A está caracterizada por un bajo contenido de cuarzo y feldspatos y alto porcentaje de líticos, con valores promedio de $Q 25 \pm 3$, $F 27 \pm 7$, $L 48 \pm 7$. El tipo de cuarzo más abundante es el monocristalino con extinción ondulosa. Las proporciones de feldespato alcalino y plagioclasa son similares y no se han observado clastos de microclino. Los líticos más abundantes son de rocas vol-

CUADRO 2: Modas detríticas recalculadas para las areniscas de la subcuenca Atuel.

| | Perfil | Formación | Muestras | Dickinson <i>et al.</i> 1983 (A) | | | Dickinson <i>et al.</i> 1983 (B) | | |
|----|------------------------|-----------------------|---------------------|----------------------------------|-------|-------|----------------------------------|-------|-------|
| | | | | Q | F | L | Qm | F | Lt+Qp |
| 1 | Arroyo de las Piedras | Tres Esquinas | PRO 0205-092 | 15,36 | 48,99 | 35,65 | 14,20 | 48,99 | 36,81 |
| 2 | La Horqueta | Puesto Araya superior | GPS F013 (0105) | 43,72 | 35,79 | 20,49 | 22,40 | 35,79 | 41,80 |
| 3 | La Horqueta | Puesto Araya superior | Pro 0305-12 | 49,86 | 28,45 | 21,69 | 24,23 | 28,45 | 47,32 |
| 4 | La Horqueta | Puesto Araya superior | Pro 0502 (0105) | 46,59 | 26,16 | 27,25 | 29,97 | 26,16 | 43,87 |
| 5 | Arroyo Peuquenes* | Puesto Araya superior | LP 22 (SL) | 52,75 | 1,82 | 45,43 | 50,01 | 1,82 | 48,17 |
| | | | Promedio | 48,23 | 23,06 | 28,71 | 31,65 | 23,06 | 45,29 |
| | | | Desviación standard | 3,92 | 14,74 | 11,52 | 12,65 | 14,74 | 2,98 |
| 6 | Arroyo de las Piedras | Puesto Araya inferior | Pro 0305-081 | 47,21 | 25,63 | 27,16 | 37,82 | 25,63 | 36,55 |
| 7 | Quebrada Larga | Puesto Araya inferior | Pro 0305-064 | 24,70 | 47,29 | 28,01 | 21,69 | 47,29 | 31,02 |
| 8 | Arroyo de las Piedras | Puesto Araya inferior | Pro 0305-075 | 38,26 | 24,50 | 37,25 | 31,21 | 24,50 | 44,30 |
| 9 | Arroyo de las Piedras | Puesto Araya inferior | Pro 0205-076 | 49,10 | 20,67 | 30,23 | 34,37 | 20,67 | 44,96 |
| 10 | Paredones Arroyo Malo | Puesto Araya inferior | Pro 0207-49 | 27,90 | 34,81 | 37,29 | 21,82 | 34,81 | 43,37 |
| 11 | Quebrada del Puma | Puesto Araya inferior | Pro 0207-42 | 33,97 | 36,16 | 29,86 | 21,37 | 36,16 | 42,47 |
| 12 | Quebrada del Puma | Puesto Araya inferior | Pro 0207-37 | 29,38 | 18,36 | 52,26 | 26,27 | 18,36 | 55,37 |
| 13 | Quebrada del Puma | Puesto Araya inferior | Pro 0207-35 | 40,92 | 28,24 | 30,84 | 33,14 | 28,24 | 38,62 |
| 23 | Paredones Arroyo Malo | Puesto Araya inferior | Pro 0207-54 | 30,91 | 12,37 | 56,72 | 27,15 | 12,37 | 60,48 |
| | | | Promedio | 35,82 | 27,56 | 36,62 | 28,31 | 27,56 | 44,13 |
| | | | Desviación standard | 8,61 | 10,56 | 10,80 | 6,11 | 10,56 | 9,07 |
| 14 | Cerro Los Mesones | El Freno | Pro 0205-075 | 41,79 | 25,07 | 33,14 | 31,99 | 25,07 | 42,94 |
| 15 | Cerro Los Mesones | El Freno | Pro 0205-072 LM EF | 38,15 | 34,68 | 27,17 | 16,76 | 34,68 | 48,55 |
| 16 | La Horqueta | El Freno | Pro 0501 (0105) | 44,08 | 33,61 | 22,31 | 24,52 | 33,61 | 41,87 |
| 17 | Codo del Arroyo Blanco | El Freno | Pro 0207-20 | 28,93 | 41,60 | 29,48 | 24,79 | 41,60 | 33,61 |
| 18 | Arroyo Carguero | El Freno | M46-04 | 53,09 | 23,45 | 23,45 | 37,89 | 23,45 | 38,66 |
| 19 | Arroyo Carguero | El Freno | M60-04 | 29,04 | 29,59 | 41,37 | 25,48 | 29,59 | 44,93 |
| | | | Promedio | 38,78 | 32,06 | 29,15 | 28,17 | 32,06 | 39,77 |
| | | | Desviación standard | 11,90 | 7,61 | 8,73 | 6,49 | 7,61 | 4,84 |
| 20 | Perfil Arroyo Malo | Arroyo Malo | M1773 (SL) | 25,14 | 19,13 | 55,74 | 19,13 | 19,13 | 61,75 |
| 21 | Paredones Arroyo Malo | Arroyo Malo | Pro 0207-29 | 21,51 | 32,40 | 46,09 | 17,88 | 32,40 | 49,72 |
| 22 | Arroyo Alumbre | Arroyo Malo? | Pro 0402 (1104) | 27,50 | 30,00 | 42,50 | 19,05 | 30,00 | 50,95 |
| | | | Promedio | 24,71 | 27,18 | 48,11 | 18,69 | 27,18 | 54,14 |
| | | | Desviación standard | 3,02 | 7,07 | 6,85 | 0,70 | 7,07 | 6,62 |

Ver figura 1 para la ubicación de las muestras. La muestra 5*, se localiza en: 35°05'52"S; 70°06'1"W fuera del área del mapa.

Q: cuarzo total, F: feldespatos totales, L: líticos totales. Qm: cuarzo monocristalino, F: feldespatos totales, Lt: líticos totales más cuarzo policristalino.

cánicas ácidas, aunque también pueden ser comunes los líticos de rocas volcánicas fenoandesíticas lo que sugiere una procedencia local a partir de datos de paleocorrientes desde el ENE, cerca del actual anticlinal El Freno (Fig. 1). Se identificaron en baja proporción líticos plutónicos y minerales con texturas de disolución y reemplazo, líticos sedimentarios y piroclásticos. La baja madurez composicional puede relacionarse con un transporte corto desde áreas elevadas cercanas, a través de los canales distributarios del abanico deltaico que originó los depósitos de la Formación Arroyo Malo. La petrofacies B, presenta en promedio un notable aumento en la proporción de cuarzo y feldespatos y una merma en los

líticos. Los valores medios son $Q\ 39 \pm 12$, $F\ 32 \pm 8$, $L\ 29 \pm 9$ para las muestras de la Formación El Freno y $Q\ 36 \pm 9$, $F\ 28 \pm 10$, $L\ 37 \pm 10$ para las muestras de la Formación Puesto Araya inferior. El tipo de cuarzo más abundante es el monocristalino (Fig. 5a) en sus diferentes variedades y hay un aumento de la proporción de cuarzo policristalino (Figs 5a y 5b). Los feldespatos alcalinos y las plagioclasas (Fig. 5a) se encuentran en similar proporción si se analiza el promedio, pero observando con detalle las muestras, se observa que en algunas localidades, como por ejemplo en la quebrada del Puma, al norte del cerro Blanco (localidades 11, 12 y 13, Fig. 1). En las muestras Pro 0207-42, Pro 0207-37, Pro 0207-35

la proporción de feldespato alcalino supera a la proporción de las plagioclasas, mientras que en las otras muestras, la relación es inversa. Esto evidencia nuevamente cambios locales en la procedencia de las areniscas. Asimismo, comienza a aparecer microclino en algunas de las muestras. Entre los fragmentos líticos, los más comunes son los de pastas felsíticas (Figs. 5b, 5c y 5d). Los líticos volcánicos fenoandesíticos y plutónicos están muy subordinados, lo mismo que los líticos de origen sedimentario.

La petrofacies C presenta valores más altos de cuarzo que las petrofacies anteriores, especialmente por el notable aumento del cuarzo policristalino en las muestras. Está caracterizada por $Q\ 48 \pm 3$, F

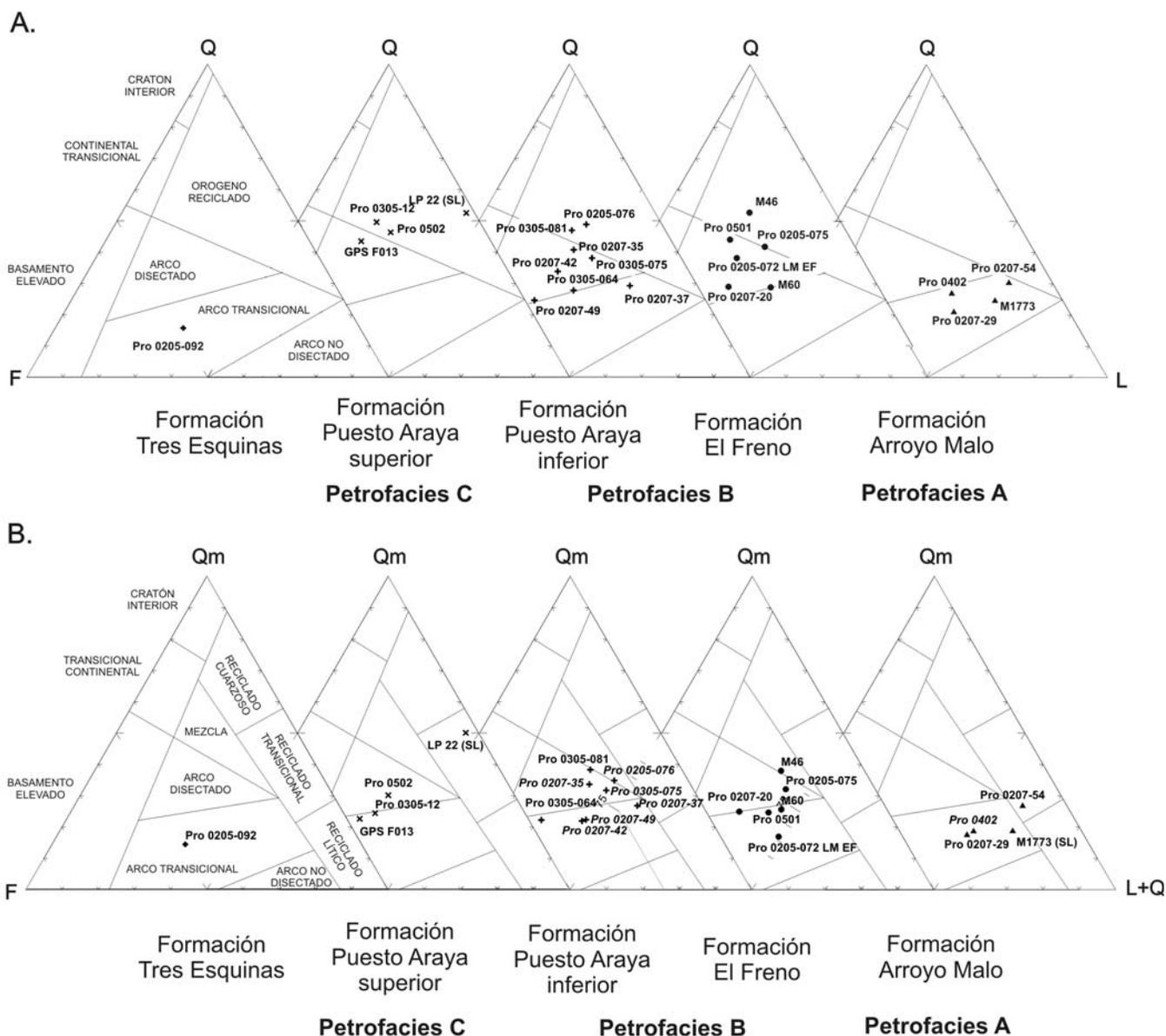


Figura 9: Modas detríticas de las areniscas ploteadas en los diagramas de procedencia de Dickinson *et al.* (1983) (A) QFL y (B) QmFLt. Q: cuarzo total, F: feldespatos totales, L: líticos totales. Qm: cuarzo monocristalino, F: feldespatos totales, L+Q: líticos totales más cuarzo policristalino.

23 ± 14 , L 29 ± 12 . Las muestras presentan valores similares de cuarzo mono y policristalino, porcentajes de feldespatos cercanos al 25 % y líticos con cifras cercanas al 15 %. La alta proporción de cuarzo monocristalino y líticos felsíticos evidencia el aporte de un volcanismo fenodacítico contemporáneo relacionado con la Formación Remoredo, ocurrido en la zona del valle del río Grande (Lanés y Salani 1998). Para la petrofacies C se infiere un aporte de rocas plutónicas ácidas debido al aumento de los valores de

cuarzo policristalino, la presencia de clastos de microclino y de líticos plutónicos y cuarzo y feldespato con texturas de intercrecimiento como mirmequitas y texturas granofíricas.

Se destaca que la muestra obtenida de la Formación Tres Esquinas está caracterizada por una muy baja proporción de cuarzo en relación con las petrofacies anteriores, y un aumento de la proporción de feldespatos y líticos, especialmente los líticos volcánicos con pastas pilotáxicas (Q 15 F 49 L 36). Si bien corresponde a

una muestra, los valores de cuarzo y feldespato cambian notablemente y además, se identificaron abundantes trizas de caída (Fig. 8c), desvitrificadas, que estarían sugiriendo la acción coetánea del volcanismo con la depositación de esta unidad.

PROCEDENCIA

Los datos obtenidos a partir del análisis de las modas detríticas de las areniscas fueron ploteados en los gráficos de pro-

cedencia de Dickinson et al. (1983) (Fig. 9). Para el diagrama de QFL, la petrofacies A, se ubica en el campo de arco transicional, la petrofacies B lo hace predominantemente en el campo de arco disectado, mientras que la petrofacies C queda principalmente ubicada dentro del campo de orógeno reciclado. A modo de comparación, la única muestra de la Formación Tres Esquinas se ubica en el campo de un arco transicional.

DISCUSIÓN

Los datos de procedencia y las paleocorrientes (Lanés 2002, 2005, 2007) sugieren, para las formaciones Arroyo Malo, El Freno y Puesto Araya inferior, un aporte desde un arco volcánico transicional a disectado situado a E y ENE (Fig. 9). En particular, para la petrofacies A, los líticos de volcanitas ácidas y de fenoandesitas pueden provenir de afloramientos del Grupo Choiyoi, situados al E y ENE de la zona de estudio, probablemente en el Bloque San Rafael. Sin embargo debe mencionarse que en el lapso Triásico Medio-Triásico Tardío temprano se registró un volcanismo explosivo en la cordillera del límite, cerca del paso Santa Elena (36° S) y un volcanismo intermedio en zonas costeras de Chile central (32° S) representados respectivamente, por las tobas de los Estratos de Cajón de Troncoso (Muñoz y Niemeyer 1984) y las volcanitas de las formaciones Pichidangui y La Ligua (Charrier et al. 2007). Este volcanismo explosivo estaría evidenciado en las muestras por la presencia de líticos de rocas piroclásticas y clastos de cuarzos de origen netamente volcánico, indicando una procedencia del oeste. Estas características están subordinadas a la fuerte impronta de arco volcánico transicional que presentan las litoarenitas feldespáticas y las feldarenitas líticas.

Para las formaciones El Freno y Puesto Araya en su sección inferior (Petrofacies B), se estableció una procedencia de arco volcánico transicional a disectado que habría estado ubicado al ENE. Este arco volcánico podría corresponder al inicio

de la exposición de las raíces de las volcanitas del Grupo Choiyoi.

Es necesario aclarar que hasta el momento no existen datos bioestratigráficos que acoten la edad de la Formación El Freno. Sin embargo, las características petrográficas similares de dicha unidad y de la sección inferior de la Formación Puesto Araya sugieren que se depositaron simultáneamente. Las muestras de la Formación Puesto Araya superior (Petrofacies C) procede de un orógeno reciclado a arco disectado, evidenciado por un aumento notable del cuarzo policristalino, la presencia de microclino y a fragmentos de feldespatos y cuarzo con texturas de intercrecimiento. Estas areniscas reflejan la exposición de los batolitos localizados debajo de la cubierta volcánica. La alta proporción de cuarzo monocristalino y líticos felsíticos en una muestra (LP22) de esta petrofacies evidenciaría la influencia local de un alto estructural situado al este que aportaba al relleno del *hemigraben* o bien podría ser producto de haber muestrado un sector perteneciente a depósitos de primer orden que estarían reflejando drenajes locales.

La escasa información de la Formación Tres Esquinas, sugiere procedencia de arco volcánico, que de acuerdo a las paleocorrientes estaría ubicado al ENE hasta SE. Se destaca que los tipos y proporción de líticos sugieren un arco diferente al del Choiyoi que podría vincularse al volcanismo del precuyano. Además, dada la naturaleza piroclástica de algunos componentes y la presencia de trizas de caída, las paleocorrientes no permiten excluir otras posibles fuentes al oeste, como los volcanismos explosivos de edad bajociana registrados en el Miembro Inferior de la Formación Nacientes del Teno (Klohn 1960, Davidson 1988) cerca del paso Santa Elena 36° S y en la Formación Nacientes del Biobío (De la Cruz y Suárez 1997, Suárez et al. 1990) en la zona de Lonquimay en Chile. Desde la Petrofacies A a la C, el aumento de cuarzo refleja un incremento en la madurez composicional. Paralelamente se observa mayor cantidad de los componentes plutónicos

y la disminución de los volcánicos, lo que sugiere el cese o la pausa del aporte volcánico durante la depositación de la Formación Puesto Araya superior en el valle del Atuel con excepción de la zona del arroyo Peuquenes (Lanés y Salani 1998). El aporte volcánico se habría reanudado durante la sedimentación de la Formación Tres Esquinas. La tendencia al incremento de la madurez composicional también puede estar relacionada con el pasaje de la etapa de *synrift* a la de *sag*. Durante el *synrift* la fuerte subsidencia tectónica creó grandes desniveles topográficos y depósitos con abundantes líticos y poco cuarzo. Posteriormente la influencia creciente de la subsidencia térmica permitió que el paisaje se suavizara a través del retroceso de las pendientes y el retrabajo de los depósitos.

En las muestras analizadas no hay evidencias petrográficas que indiquen la influencia de un volcanismo bimodal tholeítico-alcalino, característico del *rift*. Esto puede deberse a la ausencia de volcanismo durante la apertura del depocentro Atuel, cuyo relleno fue completamente clástico.

CONCLUSIONES

En la sucesión jurásico-cretácica, se caracterizaron tres petrofacies distintivas. La petrofacies A corresponde a la Formación Arroyo Malo, está caracterizada por bajos porcentajes de cuarzo y feldespato (23 % y 26 %), procede de arco transicional y se habría acumulado durante los estadios iniciales del *rift*.

La petrofacies B incluye a las formaciones El Freno y Puesto Araya en su sección inferior y está caracterizada por porcentajes similares de cuarzo, feldespatos y líticos. La misma revela una mayor influencia de rocas volcánicas ácidas procedentes de un arco volcánico transicional a disectado.

La petrofacies C, correspondiente a la Formación Puesto Araya en su sección superior, muestra aumento en el porcentaje de cuarzo y baja proporción de feldespatos y líticos. Las características de la

misma indican procedencia de un arco disectado o bien de un orógeno reciclado.

Las características de la muestra de la Formación Tres Esquinas la diferencian netamente por su bajo porcentaje en cuarzo con respecto al feldespato y a los líticos y por la presencia de trizas de caída directa producto de la ingresión a la cuenca de detritos procedentes del oeste, relacionados con el arco volcánico jurásico, allí ubicado.

La caracterización de estas petrofacies permitió en forma preliminar identificar sus áreas de aporte y apoyar la coetaneidad entre las formaciones El Freno y Puesto Araya inferior, tal como los propusieron los estudios estratigráficos y sedimentológicos de Lanés (2002, 2005) y el análisis de arquitectura del *rift* de Giambiagi *et al.* (este volumen) y Bechis *et al.* (2005).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado con fondos de los subsidios PIP 5843 del CONICET y el BID 1728/OC-AR-PICT 38295 de la Agencia de Promoción Científica y Técnica. M.A.T le agradece especialmente a la Prof. M. I. Fernández (UNPSJB) por su constante apoyo y ayuda en el análisis petrográfico y a L. Chiaramonte (Stanford University) por su ayuda con la bibliografía. Se agradece la atenta lectura realizada por los árbitros Rita Tófolo y Susana Alonso, quienes con sus comentarios y sugerencias mejoraron la versión final del trabajo.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Arribas, J., Alonso, A., Mas, R., Tortosa, A., Rodas, M., Barrenechea, J., Alonso-Azcárate, J. y Artigas, R. 2003. Sandstone Petrography of Continental Depositional Sequences of an Intraplate Rift Basin: Western Cameros Basin (North Spain). *Journal of Sedimentary Research* 73(2): 309-327.

Artaño, A.E., Ganuza, D.G., Spalletti, L.A., Zúñiga, A. y Morel, E.M. 2005. Revisión de la paleoflora del cerro La Brea (Jurásico Tem-

prano), provincia de Mendoza, Argentina. *Ameghiniana* 42(2): 429-442.

Basu, A., Young, S.W., Suttner, L.J., James, W.C. y Mack, G.H. 1975. Re-evaluation of the use of undulatory extinction and crystallinity in detrital quartz for provenance interpretation. *Journal of Sedimentary Petrology* 45: 873-882.

Bechis, F. y Giambiagi, L. 2008. Kinematic analysis of data from small scale faults and its application to the study of an extensional depocenter, Neuquén basin, west-central Argentina. International Meeting of Young Researchers in Structural Geology and Tectonics (YORSGET), Extended abstract CD version, Oviedo.

Bechis, F., Giambiagi, L.B. y García, V. 2005. Extensión multifásica en el depocentro Atuel de la Cuenca Neuquina, evidenciada en estructuras de pequeña escala. 16° Congreso Geológico Argentino, Simposio de Tectónica Andina, Actas 2: 87-94, La Plata.

Blatt, H. 1967. Original characteristics of clastic quartz grains. *Journal of Sedimentary Petrology* 37: 401-424.

Charrier, R. 1979. El Triásico en Chile y regiones adyacentes de Argentina: una reconstrucción paleogeográfica y paleoclimática. *Universidad de Chile. Comunicaciones* 26: 1-137.

Charrier, R., Pinto, L. y Rodríguez, M.P. 2007. Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. En Moreno, T. y Gibbons, W. (eds.) *The Geology of Chile*, The Geological Society, 21-114, London.

Davidson, J. 1988. El Jurásico y Cretácico inferior en las nacientes del río Teno (Chile): una revisión. 5° Congreso Geológico Chileno, Actas 1: A453-A458, Santiago.

De la Cruz, R. y Suárez, M. 1997. El Jurásico de la cuenca de Neuquén en Lonquimay, Chile: Formación Nacientes del Bio-Bío (38°-39°S). *Revista Geológica de Chile* 24(1): 3-24.

Dickinson, W.R. 1970. Interpreting detrital modes of graywacke and arkose. *Journal of Sedimentary Petrology* 40: 695-707.

Dickinson, W.R. y Rich, E.I. 1972. Petrologic intervals and petrofacies in the Great Valley sequence, Sacramento Valley, California. *Geological Society of America Bulletin* 83: 3007-3024.

Dickinson, W.R. y Suczek, C.A. 1979. Plate tectonics and sandstones compositions. *American*

Association of Petroleum Geologists Bulletin 63: 2164-2182.

Dickinson, W.R., Beard, L.S., Brakenridge, G.R., Erjavec, J.L., Ferguson, R.C. Inman, K.F., Knepp, R.A. Lindberg, F.A. y Ryberg, P.T. 1983. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. *Geological Society of America Bulletin* 94: 222-235.

Folk, R.L., Andrews, P.B. y Lewis, D.W. 1970. Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics* 13: 937-968.

Giambiagi, L., Bechis, F., Lanés, S. y García, V. 2005a. Evolución cinemática del Depocentro Atuel, Triásico Tardío-Jurásico Temprano. 16° Congreso Geológico Argentino, Simposio de Tectónica Andina, Actas en CD, La Plata.

Giambiagi, L., Suriano, J. y Mescua, J. 2005b. Extensión multiépica durante el Jurásico temprano en el depocentro Atuel de la cuenca Neuquina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 60: 524-534.

Giambiagi, L.B., Bechis, F., Lanés, S., Tunik, M., García, V., Suriano, J. y Mescua, J. 2008. Formación y evolución triásico-jurásica del depocentro Atuel, Cuenca Neuquina, provincia de Mendoza, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63(4): 520-533.

Ingersoll, R.V. 1978. Petrofacies and petrologic evolution of the late Cretaceous fore-arc basin, northern and central California. *Journal of Geology* 86: 335-352.

Ingersoll, R.V., Bullard, T.F., Ford, R.L., Grimm, J.P., Pickle, J.D. y Sares, S.W. 1984. The effect of grain size on detrital modes: a test of the Gazzi-Dickinson point-counting method. *Journal of Sedimentary Petrology* 54: 103-116.

Klohn, C. 1960. Geología de la Cordillera de los Andes de Chile Central, Provincias de Santiago, Colchagua y Curicó. Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín 8, 95 p., Santiago.

Lanés, S. 2002. Paleoambientes y Paleogeografía de la primera trasgresión en Cuenca Neuquina, sur de Mendoza. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, (inérita), 403 p., Buenos Aires.

Lanés, S. 2005. Late Triassic to Early Jurassic se-

- dimentation in northern Neuquén Basin, Argentina: Tectonosedimentary evolution of the first transgression. *Geologica Acta* 3(2): 81-106.
- Lanés, S. 2007. Depósitos fluviales de la Formación El Freno en el valle del Atuel, sur de Mendoza: datos preliminares. *Ameghiniana* 44 (4-Suplemento): 59R.
- Lanés, S. y Salani, F. 1998. Petrografía, origen y paleoambiente sedimentario de las piroclásticas de la Formación Remoredo (Jurásico temprano), sudoeste de Mendoza. *Revista Geológica de Chile* 25(2): 141-152.
- Legarreta, L. y Uliana, M.A. 1991. Jurassic-Cretaceous marine oscillations and geometry of back-arc basin fill, central Argentine Andes. *International Association of Sedimentology, Special Publication* 12: 429-450.
- Manceda, R. y Figueroa, D. 1995. Inversion of the Mesozoic Neuquén rift in the Malargüe fold-thrust belt, Mendoza, Argentina. En: Tankard, A.J., Suárez R. y Welsink, H.J. (eds): *Petroleum Basins of South America*. American Association of Petroleum Geologists, *Memoir* 62: 369-382.
- Mansfield, C.F. 1971. Stratigraphic variations in sandstone petrology of the Great Valley Sequence in the southern Coast Ranges west of Coalinga, California. *Geological Society of America, Abstract with Programs* 3: 157.
- Milliken, K.L. 2001. Diagenetic heterogeneity in sandstone at the outcrop scale, Breathitt Formation (Pennsylvanian), eastern Kentucky: *American Association of Petroleum Geologist* 85: 795-815.
- Mpodozis, C. y Ramos, V.A., 1989. The Andes of Chile and Argentina. En Ericksen, G.E., Cañas M.T. y Reinemund, J.A. (eds.) *Geology of the Andes and its relation to hydrocarbon and mineral resources*, Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, *Earth Science Series* 11: 59-90.
- Muñoz, J. y Niemeyer, H. 1984. Hoja Laguna del Maule, Regiones del Maule y del Bio-Bio. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago, Chile, Carta 64, 1: 250.000.
- Pettijohn, F.L., Potter, P.E. y Siever, R. 1972. *Sand and sandstone*. Springer-Verlag, 618 p., New York.
- Reijnenstein, C. 1970. Estratigrafía y tectónica de la zona al Norte del río Atuel, entre los arroyos Blanco y Malo (Provincia de Mendoza). Trabajo final de Licenciatura, Universidad de Buenos Aires, (inédito), 67 p., Buenos Aires.
- Riccardi, A. e Iglesia Llanos, M.P. 1999. Primer hallazgo de amonites en el Triásico de la Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 54: 298-300.
- Riccardi, A., Damborenea, S., Manceñido, M.O. y Ballent, S.C. 1988. Hettangiano y Sinemuriano marinos en Argentina. 5° Congreso Geológico Chileno, *Actas* 2: 359-377.
- Riccardi, A., Damborenea, S. y Manceñido, M.O. 1990. Lower Jurassic of South America and Antarctic Peninsula. En Westermann, G. E. G. y Riccardi, A. (eds.) *Jurassic taxa ranges and correlation charts for the Circum-Pacific*, *Newsletters on Stratigraphy* 21(2): 75-103, Berlin-Stuttgart.
- Riccardi, A., Damborenea, S.E., Manceñido, M.O., Scasso, R., Lanés, S., Iglesia Llanos, P. y Stipanovic, P.N. 1997. Primer registro de Triásico marino fosilífero de la Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 52(2): 228-234.
- Rolleri, E.O. y Criado, P. 1968. La Cuenca Triásica del norte de Mendoza. 3° Jornadas Geológicas Argentinas, *Actas* 1: 1-60.
- Spalletti, L.A., Franzese, J.R., Morel, E.M. y Artabe, A.E. 2005a. Nuevo enfoque estratigráfico del Triásico-Jurásico Temprano en la región del río Atuel, Provincia de Mendoza. 16° Congreso Geológico Argentino, *Actas* 3: 77-82.
- Spalletti, L.A., Franzese, J.R., Artabe, A.E., Morel, E.M. y Ganuza, D. 2005b. Contribución al conocimiento sedimentológico y paleobotánico del rift del Atuel (Jurásico Inferior), Mendoza. Resúmenes del II Simposio Argentino del Jurásico. *Ameghiniana* 42(4): 55R-56R.
- Spalletti, L.A., Morel, E.M., Franzese, J.R., Artabe, A.E., Ganuza, D.G. y Zúñiga, A. 2007. Contribución al conocimiento sedimentológico y paleobotánico de la Formación El Freno (Jurásico Temprano) en el valle superior del río Atuel, Mendoza, República Argentina. *Ameghiniana* 44: 367-386.
- Suárez, M., De la Cruz, R. y Emparán, C. 1990. El Jurásico de Lonquimay, Chile: Facies occidentales de la cuenca de Neuquén. 3° Reunión Argentina de Sedimentología, *Actas* 260-269.
- Uliana, M.A., Biddle, K. y Cerdán, J. 1989. Mesozoic extension and the formation of Argentine sedimentary basins. En: A. Tankard y H.R. Balkwill (eds): *Extensional tectonics and stratigraphy of the North Atlantic Mar-ins*. American Association of Petroleum Geologists, *Memoir* 46: 599-614.
- Volkheimer, W. 1978. Descripción Geológica de la Hoja 27a, Cerro Sosneado, provincia de Mendoza. Servicio Geológico Nacional, *Boletín* 151, 83 p., Buenos Aires.

Recibido: 31 de marzo, 2008

Aceptado: 25 de junio, 2008