Anales Acad. Nac. de Cs. Ex., Fís. y Nat., tomo 69 (2017): 68-82.

ESTUDIOS DE PROCEDENCIA DE LA FORMACIÓN TORO NEGRO A PARTIR DE MODAS DETRITICAS Y EDADES U-Pb EN CIRCONES DETRÍTICOS: IMPLICANCIAS PARA LA EVOLUCIÓN DEL ANTEPAÍS FRACTURADO ANDINO (LA RIOJA)

Patricia L. Ciccioli [1,2]

[1] Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias Geológicas, Ciudad Universitaria, Pab. 2, 1° Piso, CABA C1428EHA, Buenos Aires, Argentina.
[2] CONICET - Universidad de Buenos Aires. Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales (IGeBA), Buenos Aires, Argentina.
(E-mail: ciccioli@gl.fcen.uba.ar)

Resumen

La propuesta de este trabajo es mostrar la importancia de la integración de distintos métodos para analizar la procedencia de una unidad estratigráfica. Se toma como caso de estudio a la Formación Toro Negro (Mio-Pleistoceno temprano) en la Quebrada de la Troya, Sierra de Los Colorados, provincia de La Rioja. Esta unidad representa el relleno de la cuenca de antepaís fracturado de Vinchina con múltiples áreas de aporte. Se presentan los resultados obtenidos mediante el empleo de modas detríticas en areniscas y edades U-Pb en circones detríticos. Tales resultados permiten interpretar que la Sierra de Toro Negro fue una de las principales áreas de aporte para la Formación Toro Negro durante la depositación de las Secuencias Depositacionales (SD) I y II (~6.8-5 Ma) con menor participación de la Precordillera y Cordillera Frontal. A su vez un progresivo incremento en el aporte de la Precordillera es interpretado desde la SDII y SDIII (~6,1-2,3 Ma) evidenciando probablemente el levantamiento de uno de los corrimientos más orientales de la Precordillera.

Palabras clave: Modas detríticas, circones detríticos, Andes Centrales, Mio-Pleistoceno temprano

Abstract

Provenance studies of the Toro Negro Formation based on detrital modes and U-Pb detrital zircon ages: implications on the evolution of the Andean broken foreland (La Rioja). The goal of this paper is to show the importance of the integration of different study methods to analyze the provenance of a stratigraphic unit. The Toro Negro Formation (Mio-early Pleistocene) is taken as a

case study in the Quebrada de La Troya, Sierra de Los Colorados, province of La Rioja. This unit represents the filling of the Vinchina broken foreland basin with multiple source areas. The results obtained by the use of detrital modes in sandstones and U-Pb ages in detrital zircons are presented. These results allow interpreting that the Sierra de Toro Negro was one of the main source areas for the Depositional Sequences (DS) I and II of the Toro Negro Formation with less participation of the Precordillera and Cordillera Frontal (~6.8-5 Ma). At the same time, a progressive increase in the contribution of the Precordillera is interpreted from the DSII and DSIII (~6.1-2.3 Ma) evidencing probably the uplifting of one of the easternmost thrusts of Precordillera.

Keywords: Detrital modes, detrital zircons, Andes Centrales, Mio-early Pleistocene

Introducción

La procedencia de una unidad estratigráfica puede ser investigada sobre la base de distintas metodologías como por ejemplo modas detríticas de areniscas, composición de gravas en rocas psefíticas, suites de minerales pesados, geoquímica, espectro de edades U-Pb en circones detríticos, etc. Entre estos métodos se destacan en este trabajo dos de ellos: 1) el estudio de las modas detríticas de areniscas y 2) las edades U-Pb de circones detríticos. El estudio de modas detríticas de areniscas ha demostrado ser una metodología altamente útil, de bajo costo y de gran aplicación desde fines del siglo XX para caracterizar el área de aporte y en forma indirecta, el ambiente tectónico de depositación de los sedimentos [1-3]. Mientras que los estudios de procedencia a partir del análisis de edades U-Pb de circones detríticos se han incrementado en los últimos años porque además de proveer información sobre las áreas de aporte, permiten establecer edades máximas de depositación de las sucesiones sedimentarias [4-6].

En este trabajo se comparan los resultados obtenidos por medio de ambos métodos (modas detríticas de areniscas y edades U-Pb en circones detríticos) para la Formación Toro Negro [7] en la Quebrada de La Troya, Cuenca de Vinchina, provincia de La Rioja, noroeste argentino. Esta formación resulta sumamente interesante porque registra cambios paleogeográficos ocurridos durante el Mio-Pleistoceno temprano en el antepaís fracturado a los 28°30' LS y 68°30' LO como consecuencia de la orogenia andina. Los datos analizados en este trabajo, que han sido publicados recientemente por [8] y [9], evidencian algunos de los cambios en la configuración de la cuenca producto del levantamiento de bloques de basamento cristalino (Sierras Pampeanas Noroccidentales) como de corrimientos de la faja plegada y corrida de Precordillera. Además se discuten brevemente los resultados haciendo hincapié

en la importancia de integrar y complementar ambas metodologías para una más certera interpretación de la procedencia de una unidad estratigráfica.

Contexto geológico

La Formación Toro Negro junto con la Formación Vinchina [7, 10] constituyen las principales unidades neógenas de la Cuenca de Vinchina, uno de los principales depocentros cenozoicos de más de 10.000 m de espesor desarrollado como consecuencia de la orogenia andina en el noroeste de la Argentina (Fig. 1). Esta cuenca de antepaís fracturado, generado por el ascenso de bloques de basamento, se desarrolla en el segmento de subducción subhorizontal pampeano [12], entre los 28°30' y 29°00' LS y 68°30' y 69°00' LO, en los Andes Centrales (Fig. 1). En este segmento la placa de Nazca presenta convergencia oblicua con partición de esfuerzos generando una deformación compleja que incluye a las siguientes unidades morfoestructurales de oeste a este: la Cordillera Frontal, la Precordillera, las Sierras Pampeanas Noroccidentales y el Sistema de Famatina (Fig. 1). Los afloramientos de la Cuenca de Vinchina conforman la Sierra de Los Colorados, unidad orográfica que limita al norte y sur con bloques de basamento correspondiente a las Sierras Pampeanas Noroccidentales (Sierras de Toro Negro, Umango y Espinal respectivamente), al oeste con el bolsón de Jagüé que lo separa de la Precordillera y al este con el valle de Vinchina que lo separa del Sistema de Famatina en la provincia de La Rioja (Figs. 1, 2).

La Formación Toro Negro cubre mediante una discordancia erosiva a la Formación Vinchina [12,13] la cual presenta un gran desarrollo en el sector norte de la cuenca (Quebrada de Los Pozuelos). Esta unidad ha sido dividida en dos miembros por [10]. El miembro inferior está formado principalmente por areniscas pardo amarillentas, grises y verdosas con intercalaciones de pelitas y abundantes brechas intraformacionales pelíticas y, en menor medida, conglomerados grises. Una característica particular es la presencia de numerosos niveles de tobas blancas, grises y verdosas y las importantes variaciones litológicas en sentido lateral, mostrando una clara disminución en el tamaño de grano de norte a sur conjuntamente con significativas variaciones en el espesor de la unidad [10, 14]. De esta forma, en el sector norte, el miembro inferior, que alcanza los 3.150 m de espesor, concentra las facies más gruesas con predominio de conglomerados y areniscas, junto a escasa proporción de sedimentos pelíticos. En el sector central (Quebrada de La Troya), esta unidad presenta 1.684 m de espesor y está dominada por areniscas, con conglomerados y pelitas en forma subordinada. Finalmente, hacia el sur (Quebrada del Yeso), donde este miembro alcanza 1.592 m, los depósitos conglomerádicos son extremadamente escasos y dominan las pelitas con baja proporción de areniscas [12, 15].

El miembro superior de la Formación Toro Negro está compuesto por conglomerados y, en menor proporción, por areniscas y limolitas tobáceas lo que le confiere una notable homogeneidad tanto litológica como de ambientes depositacionales. Este miembro, que presenta 1.022 m de espesor en la Quebrada de La Troya, muestra un cambio litológico notable respecto al miembro inferior, del que está separado por una superficie neta y erosiva.

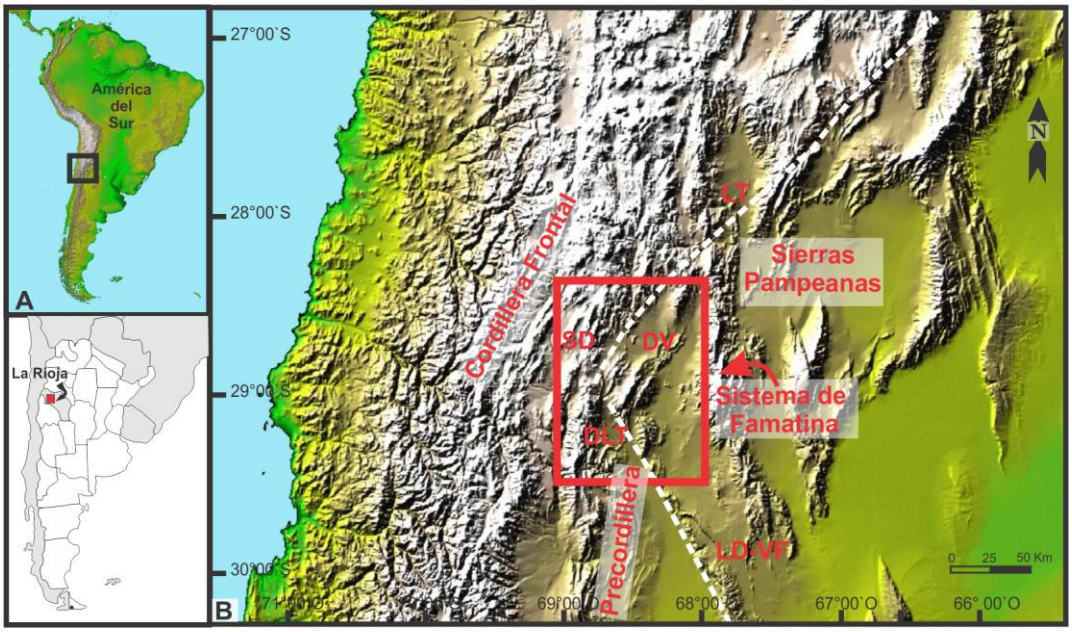


Fig. 1. Mapa de ubicación del área de estudio indicando las principales unidades morfoestructurales. SD: Santo Domingo, DV: depocentro de Vinchina, DLT: depocentro La Troya; LD-VF: lineamiento Desaguadero-Valle Fértil; LT: lineamiento Tucumán.

La edad mio-pliocena de la Formación Toro Negro ha sido determinada por dataciones radiométricas [9,16]. Las primeras edades K^{40}/Ar^{40} roca total (8,6 Ma ± 0,3 y 6,8 ± 0,2 Ma) sobre niveles de tobas vítreas localizadas en la parte alta del miembro inferior ubicaron a la formación en el Mioceno tardío sin descartar que el miembro superior alcance el Plioceno temprano [16]. Recientemente, 8 edades U-Pb en circones volcánicos [9] de distintos niveles tobáceos en la Quebrada de La Troya confirmaron la edad mio-pliocena para la unidad, acotando el miembro inferior entre los 6,8 Ma y 5,0 Ma (Messiniense) y el miembro superior entre los 4,9 y 2,37 Ma (Plioceno hasta Pleistoceno temprano).

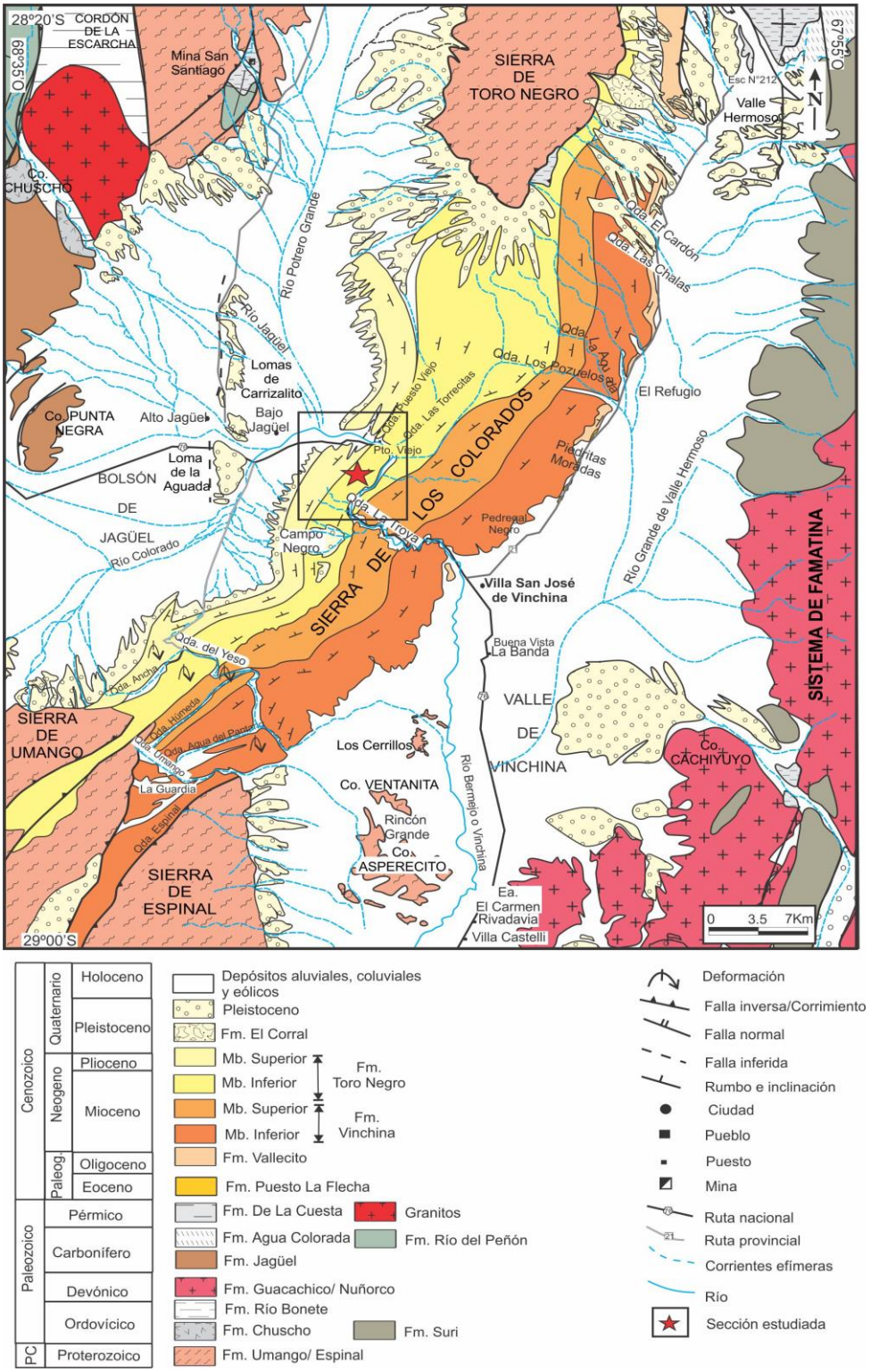


Fig. 2. Mapa geológico de la Sierra de Los Colorados y alrededores indicando el área de estudio. Modificado de [12].

Secuencias depositacionales de la Formación Toro Negro

Dado el predominio de depósitos fluviales, la Formación Toro Negro ha sido dividida en 3 secuencias depositacionales (SD) de acuerdo a dos parámetros: el espacio de acomodación y el grado de incisión de los sistemas fluviales [17]. La SDI y SDII corresponden al miembro inferior y la SDIII al miembro superior. La SDI incluye depósitos de distintos sistemas fluviales multicanalizados desde entrelazados a anastomosados gravo-arenosos a arenosos que rellenan el paleovalle labrado sobre la infrayacente Formación Vinchina [12,14,18]. Dentro de esta secuencia se reconocen distintos estadios que van desde condiciones de bajo espacio de acomodación confinado hasta alto espacio de acomodación no confinado [17]. Mientras que la SD2 corresponde a depósitos de sistemas entrelazados a anastomosados gravo-arenosos y arenosos efímeros de clima semiárido con paleocorrientes dominantes N-S [12,14,17]. En la Quebrada del Yeso, esta secuencia está dominada por rocas de grano fino (pelitas y areniscas finas con intercalaciones de evaporitas) depositadas principalmente en un sistema lacustre efímero con sedimentación mixta [12,15]. De esta manera, la variación de facies de norte a sur de la cuenca conjuntamente con las paleocorrientes han permitido interpretar a la SDII como abanicos fluviales o sistemas fluviales distributivos que desembocaban en un cuerpo de agua ubicado en el sur de la cuenca (Quebrada del Yeso) [12,14,15].

Las sedimentitas que integran a la SDIII (miembro superior) fueron depositadas principalmente por sistemas fluviales entrelazados de alta energía y bajadas dominadas por flujos canalizados con delgadas intercalaciones de depósitos lacustres o “playa lake” [12,14,15]. Las paleocorrientes indican una dirección dominante O-E para este intervalo en la Quebrada de La Troya [12,14].

Potenciales áreas de aporte de la Formación Toro Negro

La información regional, distribución de facies y paleocorrientes sugieren, al menos, cuatro áreas principales de proveniencia para la Formación Toro Negro (Fig. 3A): 1) la Sierra de Toro Negro, ubicada al norte del área aquí estudiada; 2) las sierras de Umango - Espinal que flanquean al sur-suroeste el área de estudio; 3) la Cordillera Frontal, ubicada en una posición distal al oeste de la cuenca, y 4) la Precordillera, localizada justo al oeste e integrada por las sierras del Peñón y de la Punta Negra. El Sistema de Famatina no es considerado un área de aporte para la Formación Toro Negro, no sólo porque esta unidad morfoestructural parece no haber tenido una expresión topográfica significativa, al menos durante la depositación del miembro inferior de la unidad, sino también porque las mediciones de paleocorrientes no indican paleoflujos desde el este.

Las sierras de Toro Negro y Umango-Espinal (Sierras Pampeanas Noroccidentales) están formadas principalmente por rocas metamórficas de mediano y alto grado (esquistos, anfibolitas, gneises, migmatitas y cuarzitas con escasa margas) del Proterozoico (principalmente basamento Grenviliano y en menor medida Neoproterozoico) [7,19,20]. Estas rocas muy probablemente aportaron altos contenidos de cuarzo monocristalino como también gran parte del cuarzo policristalino milonítico. Asimismo, gran parte del feldespato potásico, tanto ortosa como microclino, con abundantes inclusiones aciculares y/o formando pertitas o simplectitas provengan de esta área de aporte. Finalmente, es interesante destacar que casi la totalidad de los líticos metamórficos de mediano y alto grado incluyendo líticos volcánicos metamorfizados son originados en estas áreas.

La Cordillera Frontal arrojó sin dudas importantes cantidades de líticos volcánicos, mayormente ácidos y mesosílicios, correspondientes a los segmentos magmáticos representados por el Grupo Choiyoi (aporte paleo-volcánico del Permo-Triásico) y el arco volcánico neógeno (aporte neo-volcánico) [21]. Este unidad también habría arrojado un mayor porcentaje de plagioclasa en relación con el feldespato potásico (P>>FK).

Dada las distintas rocas que constituyen la Precordillera en esta latitud, resulta un área de aporte muy compleja. Por un lado, rocas graníticas (p.e. Granito del Peñón) de edad pérmica potencialmente pudieron aportar cuarzo y feldespato potásico; por otro lado, rocas sedimentarias y volcánicas del Paleozoico Superior y Mesozoico y metamorfitas de bajo grado del Paleozoico inferior (Formaciones Punilla/Jagüé) [21,22]. Por lo tanto, el aporte de Precordillera resulta complejo y variable de acuerdo a la edad de los corrimientos y sólo puede inferirse un área de Mezcla.

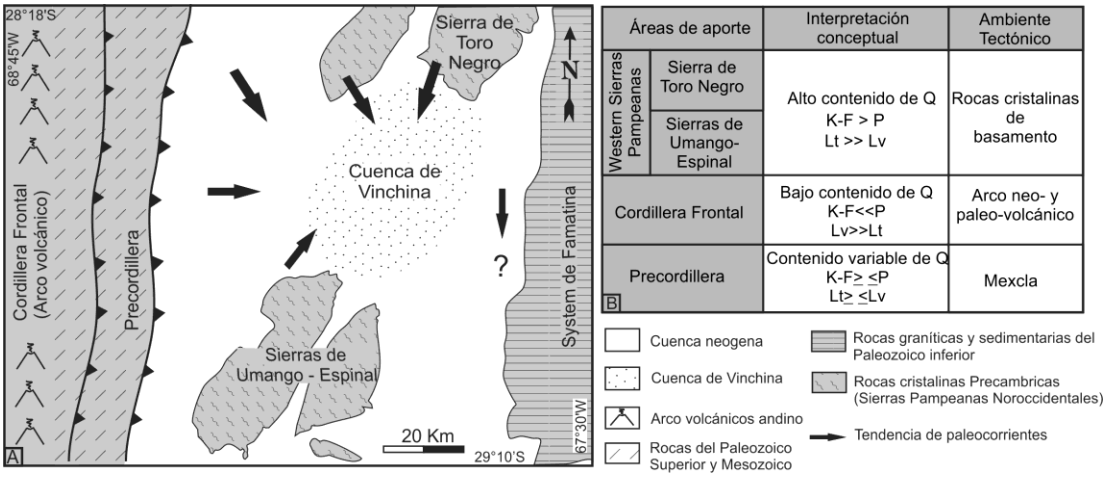


Fig. 3. A) Potenciales áreas de aporte para la Formación Toro Negro; y B) Principales rasgos de estas potenciales áreas. K-F: feldespato potásico, P: plagioclasa, Q: cuarzo, Lt: líticos totales y Lv: líticos volcánicos. Modificado de Ciccioli et al. (2014)

En la Fig. 3B se sintetiza la composición modal derivada de las mencionadas áreas de aporte, y su interpretación desde un punto de vista tectónico.

Procedencia de la Formación Toro Negro

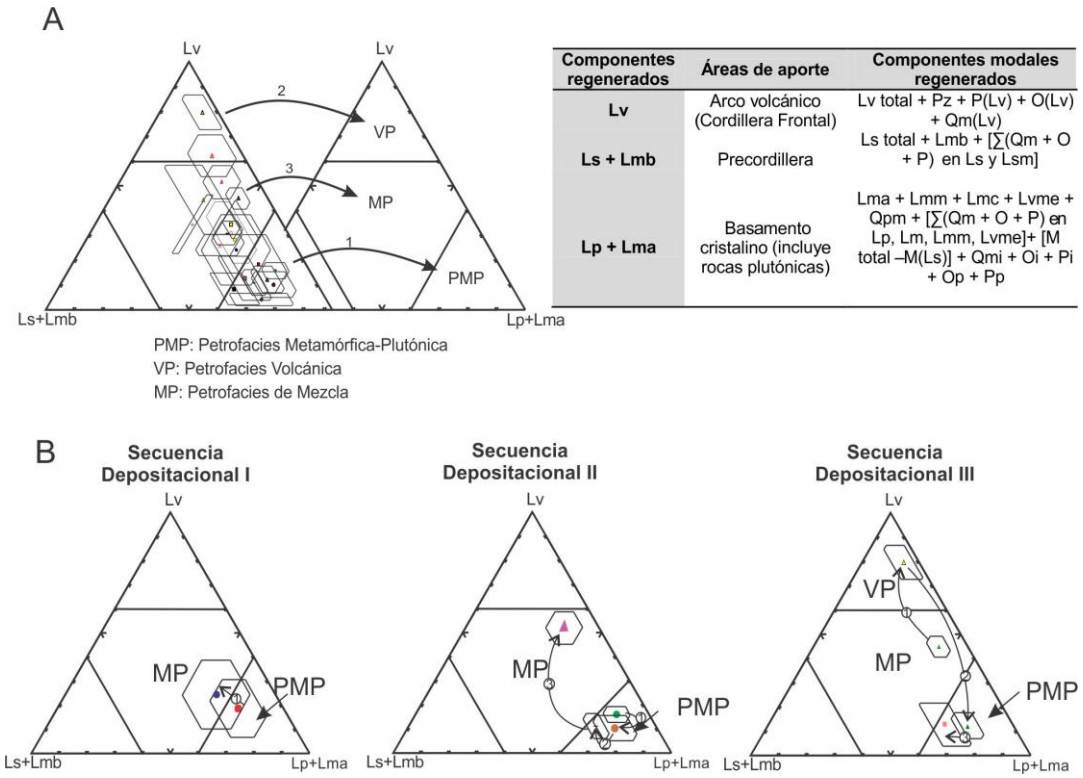
Moda detrítica de areniscas

Las modas detríticas de la Formación Toro Negro a lo largo de la Quebrada de La Troya fueron analizadas a partir del estudio de 64 muestras de areniscas mediante el conteo de 350 clastos por sección delgada siguiendo el método de Gazzi-Dickinson [23,24] para minimizar variabilidades composicionales debido al tamaño de grano. Dado que los resultados alcanzados utilizando los diagramas clásicos de procedencia [1,2], que sólo emplean los componentes modales básicos, no permitieron separar diferentes áreas de aporte para la Formación Toro Negro [8], se realizaron diagramas de regeneración específicos para una caracterización más detallada de las áreas de proveniencia y su evolución en el tiempo (Fig. 4). Para ello se han definido tres componentes modales que han sido regenerados y que caracterizan el aporte de las potenciales áreas fuentes mencionadas previamente. El componente **Lv** corresponde al aporte regenerado proveniente de rocas volcánicas que incluyen además de las pastas volcánicas a fragmentos de cuarzo, feldespato y plagioclasa identificados en líticos volcánicos; el componente **Lp+Lma** que reúne clastos derivados de rocas cristalinas, incluyendo aplitas, diferentes tipos de esquistos, micacitas, anfibolitas, gneises de grano fino y los componentes cristalinos de los mismos y el componente **Ls+Lmb** incluye a fragmentos líticos de sedimentitas de grano fino y líticos metamórficos de bajo grado (pizarras y filitas).

De esta manera, se pudieron reconocer 3 petrofacies consideradas como intervalos estratigráficos caracterizados por una determinada composición modal [25] (Fig. 4A): petrofacies metamórfica plutónica (PMP); petrofacies volcánica (PV) y petrofacies de mezcla (PM). La petrofacies PMP es definida por la relación (feldespato potásico/ plagioclasa) >1, (Líticos metamórficos de alto y mediano grado/líticos volcanicos) >1 y >60% de clastos derivados de rocas cristalinas. La petrofacies volcánica (PV) es definida por >60% de componentes volcánicos y relación (feldespato potásico/plagioclasa) <1. Finalmente, la petrofacies de mezcla (PM) muestra variable relación de (feldespato potásico/plagioclasa) y una relativa disminución de pastas volcánicas, cuarzo y rocas cristalinas en relación a la PMP.

Al analizar la evolución de las petrofacies en la Formación Toro Negro en la sección de la Quebrada de La Troya (Fig. 4B) podemos observar que la composición de las SDI y SDII corresponde a la petrofacies metamórfica plutónica (PMP) con abundantes clastos de anfibolitas, gneises, esquistos y fragmentos líticos metamorfizados y, en menor medida, a la petrofacies de mezcla (PM) hacia el tope de las mismas dado el aumento en componentes

volcánicos (Fig. 4B). El predominio de la petrofacies PMP indica un basamento cristalino (Sierras Pampeanas Noroccidentales) como principal área de aporte para estas secuencias, mientras que el aumento en la participación de volcanitas evidenciaría un aporte secundario desde la Cordillera Frontal y/o Precordillera. De esta manera, la composición de las areniscas asociada a los valores de paleocorrientes y a la distribución de facies sedimentarias [12,14,18] claramente indica que la Sierra de Toro Negro ubicada al norte del área fue la fuente principal de sedimento durante los ~6,8 y 5 Ma (Mioceno superior).



Componentes regenerados	Áreas de aporte	Componentes modales regenerados
Lv	Arco volcánico (Cordillera Frontal)	Lv total + Pz + P(Lv) + O(Lv) + Qm(Lv)
Ls + Lmb	Precordillera	Ls total + Lmb + [∑(Qm + O + P) en Ls y Lsm]
Lp + Lma	Basamento cristalino (incluye rocas plutónicas)	Lma + Lmm + Lmc + Lvme + Qpm + [∑(Qm + O + P) en Lp, Lm, Lmm, Lvme]+ [M total –M(Ls)] + Qmi + Oi + Pi + Op + Pp

Fig. 4. A) Diagramas de regeneración para las areniscas de la Formación Toro Negro y detalle de los componentes regenerados (Lv: lítico volcánico, Pz: plagioclasa zonada, P(Lv), O(Lv) y Qm(Lv): plagioclasa, feldespato potásico y cuarzo monocristalino en lítico volcánico; Ls lítico sedimentario; Lmb: lítico metamórfico de bajo grado; Lma: lítico metamórfico de alto grado; Lmm: lítico metamórfico de micacita, Lmc: lítico metamórfico de caliza; Lvme: lítico volcánico metamorfizado; Qpm: cuarzo policristalino milonítico; Lp: lítico plutónico; M: microclino; _i con intercrecimiento de minerales; _p con pertitas) y B) Detalle de las petrofacies en la Quebrada de La Troya por secuencia depositacional. Los datos graficados corresponden a los promedios de las muestras analizadas por asociación de facies y las desviaciones Standard de las mismas. Las flechas con números indican el pasaje de las diferentes asociaciones de facies a medida que se asciende estratigráficamente. Modificado de [8].

La composición de las areniscas de la SDIII (miembro superior) se inician con una petrofacies de mezcla (PM) que pasa a una petrofacies volcánica (PV) con abundantes componentes neo-volcánicos y finalmente a una petrofacies PMP con un ligero aumento en líticos sedimentarios y metamórficos de bajo grado hacia el tope de la unidad. Estas petrofacies permiten interpretar un mayor aporte desde el oeste (Precordillera) con menor contribución del basamento cristalino desde el norte y sur del área (Sierra de Toro Negro y Umango-Espinal respectivamente) durante los ~4.9-2.37 Ma (Plioceno-Pleistoceno temprano).

Edades U-Pb en circones detríticos

En base al análisis de 8 muestras de edades U-Pb en circones detríticos de la Formación Toro Negro [9] en la Quebrada de La Troya se pudieron reconocer siete poblaciones principales de edades U-Pb: 1) Mesoproterozoico, (2) Neoproterozoico-Cámbrico, 3) Ordovícico-Silúrico, 4) Devónico-Carbonífero, 5) Permo-Triásico, 6) Jurásico-Cretácico y 7) Cenozoico (Fig. 5).

Al analizar su evolución en el tiempo podemos observar cambios pocos significativos en los espectros de edades a lo largo de toda la sección (Fig. 5). Las edades mesoproterozoicas (~1400-900 Ma) son las más importantes (~25-50% en cada muestra) constantes en toda la formación junto con las neoproterozoicas-cámbricas (~900-400 Ma) que representan entre el 10-22% de granos en cada muestra. Estas poblaciones pueden ser atribuidas al basamento cristalino de las Sierras Pampeanas Noroccidentales como también a unidades sedimentarias de la Precordillera y Cordillera Frontal (Complejo El Tránsito) [26,27]. Cabe destacar que el espectro de edades mesoproterozoicas se encuentra pobremente representado en las unidades cambro-ordovícicas del Sistema de Famatina a diferencia del espectro de edades neoproterozoica-cámbricas que se encuentra mejor representado [26,28].

Las edades ordovícica-silúricas (~490-415 Ma; entre un 14-34%) pueden ser atribuible al Sistema de Famatina como a la Cordillera Frontal y, en menor medida, a la Precordillera [27,28,29].

Las otras poblaciones son menos representativas pero pueden atribuirse a unidades aflorantes al oeste y norte del área. Por ejemplo, las edades devónica-carboníferas inferior pueden ser relacionadas a la Precordillera (formaciones Punilla/Jagüé); la población permo-triásica puede ser atribuible al Grupo Choiyoi aflorante en la Cordillera Frontal como a las unidades presentes en el área del Peñón-Santo Domingo en la Precordillera [21,30]. Similares asignaciones pueden ser realizadas para la población de circones jurásico-cretácicos los cuales se encuentran muy poco representados [21,30]. Finalmente,

las edades cenozoicas serían aportadas por el volcanismo desarrollado en el noroeste del área [31].

De esta manera, las edades de los circones detríticos permitieron corroborar que las Sierras Pampeanas Noroccidentales (Mesoproterozoico) fueron una de las principales áreas de aporte durante la depositación de la Formación Toro Negro con contribuciones menores de la Cordillera Frontal y Precordillera, las cuales se hacen progresivamente más notorias en las SD II y SDIII [9].

Discusión

Los resultados obtenidos a partir de las modas detríticas de areniscas conjuntamente con toda la información de paleoambientes sedimentarios y paleocorrientes [8,12,14,15] permiten interpretar que la Sierra de Toro Negro al norte de la cuenca fue la principal área de aporte para la SDI y SDII (miembro inferior) de la Formación Toro Negro en la Quebrada de La Troya con menor aporte del oeste de la Cordillera Frontal y Precordillera durante el Mioceno tardío (~6,8-5Ma) (Fig. 6). Mientras que para la parte superior de la SDII (miembro inferior) y SDIII (miembro superior) durante el Mioceno más tardío al Plioceno-Pleistoceno temprano (~6,1-2,3 Ma) la Cordillera Frontal y la Precordillera aumentaron su participación como fuente de sedimento participando además los bloques de basamento de las sierras de Toro Negro y Umango-Espinal al norte y al sur del área respectivamente (Fig. 6). Información detallada de la petrología sedimentaria en el sur de la cuenca permiten realizar tal interpretación sobre la Sierra de Umango [8].

Por su parte, los circones detríticos permiten corroborar tales interpretaciones dado que la población de edades proterozoicas (principalmente grenviliana) atribuibles al basamento de las Sierras Pampeanas Noroccidentales son constantes a lo largo de la unidad, observándose un incremento progresivo en las poblaciones de edades devónica-carboníferas inferior y permo-triásicas hacia el tope de la SDII y SDIII indicando el mayor aporte de la Precordillera y Cordillera Frontal.

Cabe destacar que este tipo de estudio sobre circones detríticos no permite determinar el número de ciclos sedimentarios de los circones, por lo tanto resulta difícil establecer si los circones corresponden al aporte de una fuente directa o presentan varios ciclos de sedimentación. En este sentido, la población de edades ordovícica-silúricas presente en la Formación Toro Negro podría corresponder tanto a unidades pertenecientes al Sistema de Famatina (si fueran circones del primer ciclo) como a unidades del Paleozoico Superior que afloran en el oeste y norte del área de estudio (p.e. circones de varios ciclos

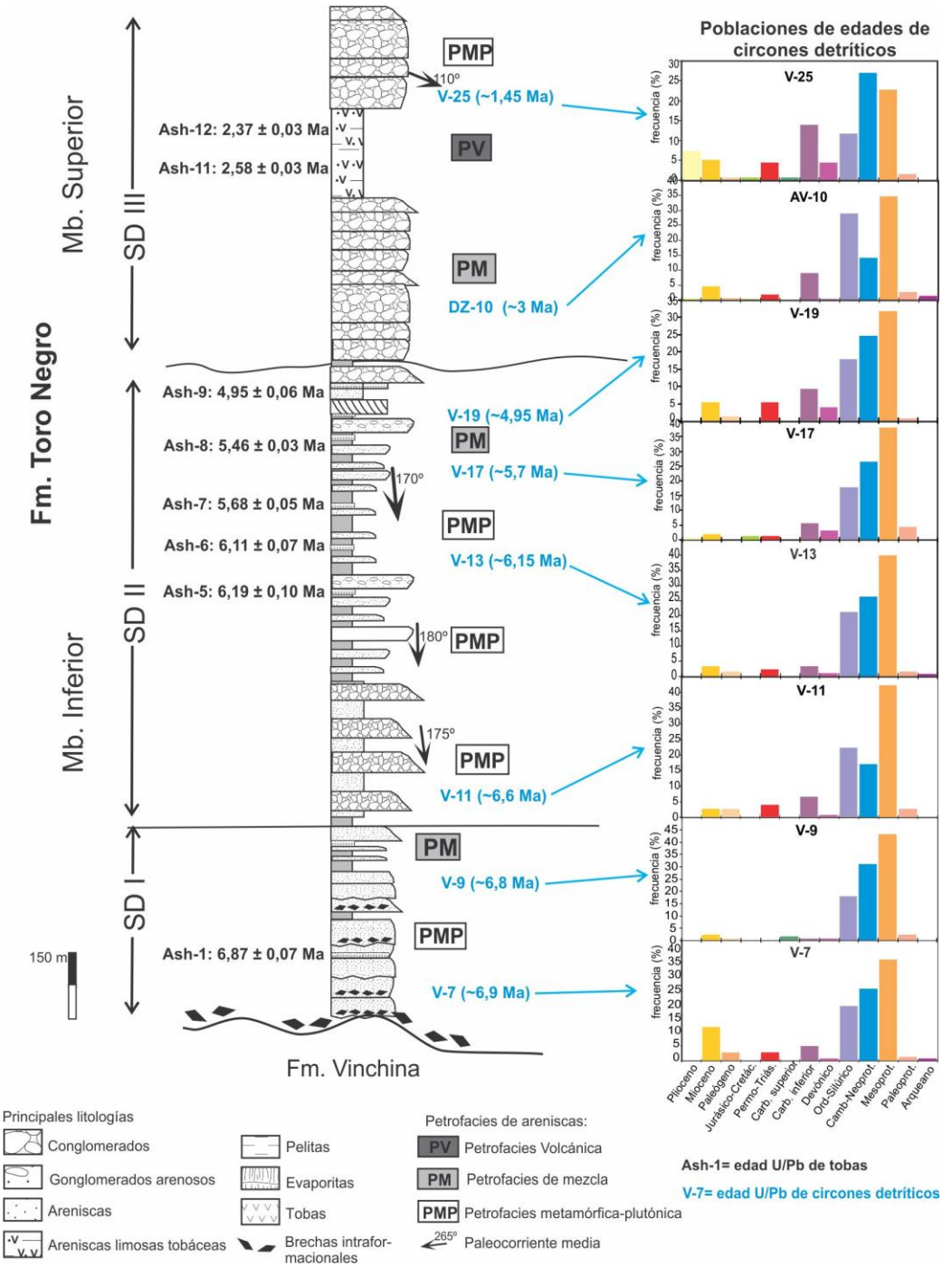


Fig. 5. Columna estratigráfica esquemática de la Formación Toro negro en la quebrada de La Troya mostrando las petrofacies y las muestras de circones detríticos con sus respectivos espectros de edades representadas en los histogramas. Modificado de [9].

sedimentarios). Es por ello que resulta sumamente importante complementar la información obtenida de las edades U-Pb de los circones detríticos con la petrología sedimentaria además del contexto paleoambiental (distribución de

facies y paleocorrientes) para una interpretación más certera de la procedencia de una unidad estratigráfica.

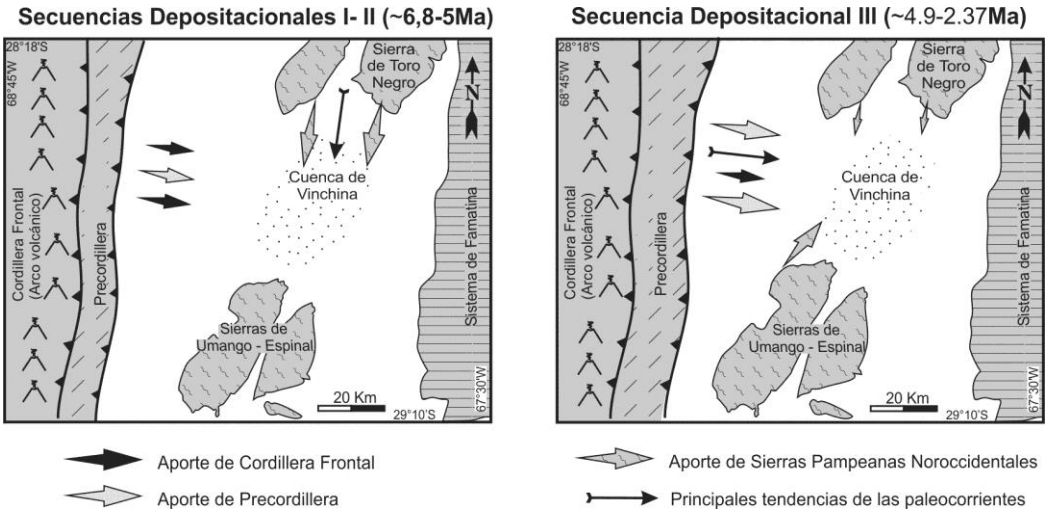


Fig. 6. Modelo de evolución de las principales áreas de aporte para la Formación Toro Negro en la Quebrada de La Troya. El mayor tamaño de las flechas indica mayor aporte.

Conclusiones

Los estudios de procedencia realizados en la Formación Toro Negro en la Quebrada de La Troya mediante modas detríticas y edades U-Pb en circones detríticos son complementarios y permiten interpretar que la Sierra de Toro Negro al norte del área fue una de las principales fuente de sedimento para la unidad durante el Mioceno Superior (~6,8-5 Ma) con menor participación de la Cordillera Frontal y Precordillera. Mientras que a partir del Mioceno más tardío al Plioceno-Pleistoceno temprano (~6,1-2,3Ma) la Precordillera adquirió progresivamente mayor importancia como área de aporte, probablemente indicando el levantamiento del corrimiento más oriental de la misma (p.e. Punta del Agua). Finalmente, se destaca la importancia de integrar distintos métodos de estudio para una mejor interpretación de la evolución de una cuenca de antepaís fracturado como la Cuenca de Vinchina donde la presencia de múltiples áreas de aporte establece una mayor complejidad en los estudios de procedencia.

Agradecimientos

La autora quiere agradecer a la Universidad de Buenos Aires, al CONICET y a la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica por el apoyo y financiamiento otorgados durante el 2003-2018. Un especial agradecimiento a la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales por el otorgamiento del Premio Estímulo 2017 en Ciencias de la Tierra y la

invitación a publicar este artículo. A los Dres. Carlos O. Limarino y Sergio Marenssi por haber sido mis directores y al Dr. William H. Amidon.

Referencias

[1] W.R. Dickinson & C.A. Suczek, *Amer. Assoc. Petroleum Geol. Bull.* **63**, 2164 (1979).
[2] W.R. Dickinson, L.S. Beard, G.R. Brakenridge, J.L. Erjavec, R.C. Ferguson, K.F. Inman, R.A. Knepp, F.A. Lindberg & P.T. Ryberg, *Geol. Soc. of America Bull.* **94**, 222 (1983).
[3] E. Garzanti, *Sed. Geology* **336,** 3 (2016).
[4] W.R. Dickinson & G.E. Gehrels, *Sed. Geology* **163**, 29 (2003).
[5] P.G. DeCelles, B. Carrapa & G.E Gehrels, *Geology* **35**, 323 (2007).
[6] W.H. Amidon, D.W. Burbank & G.E. Gehrels, *Earth Planet. Sci. Lett.* **235**, 244 (2005).
[7] JCM Turner. *Boletín de la Dirección Nacional de Geología y Minería* **100**, Buenos Aires (1964).
[8] P.L. Ciccioli, S.A. Marenssi & C.O. Limarino, *J. South. Am. Earth. Sci.* **49**, 15 (2014).
[9] W. Amidon, P.L. Ciccioli, S.A. Marenssi, C.O. Limarino, G. Burch Fisher, D. Burbank, & A. Kylander-Clark, *J. South. Am. Earth. Sci.* **70,** 237 (2016).
[10] V.A. Ramos, *Rev. Asoc. Geol. Argent.* **25**, 359 (1970).
[11] V.A. Ramos, E.C. Cristallini & D.J. Pérez, *J. South. Am. Earth. Sci.* **15**, 59 (2002).
[12] P.L. Ciccioli, *Tesis Doctoral*, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina (2008).
[13] P.L. Ciccioli, C.O. Limarino, S.A. Marenssi, A.M. Tedesco & A. Tripaldi, *Rev. Asoc. Geol. Argent.* **66**, 146 (2010).
[14] P.L. Ciccioli & S.A. Marenssi, *Andean Geol.* **39**, 406 (2012).
[15] P.L. Ciccioli, S.A. Marenssi, W.H. Amidon, C.O. Limarino & A. Kylander-Clark. *J. South. Am. Earth. Sci.* **84,** 69 (2018).
[16] P.L. Ciccioli, C.O. Limarino & S.A. Marenssi. *Rev. Asoc. Geol. Argent.* **60**, 251 (2005).
[17] P.L. Ciccioli, C.O. Limarino & S.A. Marenssi. *18th International Sedimentology Congress*, Mendoza, Argentina, 248 p. (2010).
[18] C.O. Limarino, P.L. Ciccioli & S.A. Marenssi. *Latin Am. J. Sedimentol. Basin Anal.* **17**, 113 (2010).
[19] C. Casquet, R.J. Pankhurst, C. Galindo, C. Rapela, C.M. Fanning, E. Baldo, J. Dahlquist, J.M. Gonzales-Casado & F. Colombo. *Precambrian Res.* **165**, 205 (2008).
[20] C.W. Rapela, R.J. Pankhurst, C. Casquet, E. Baldo, C. Galindo, C.M. Fanning & J.M. Dahlquist, *J. South. Am. Earth. Sci.* **29**, 105 (2010).
[21] R. Caminos. *Rev. Asoc. Geol. Ar*gent. **27**, 71 (1972).
[22] R. Caminos & L. Fauqué. *Instituto de Geología y Recursos Minerales, Boletín*, **276**. Servicio Geológico Minero Argentino, Buenos Aires (2001).

[23] P. Gazzi, *Mineralogiez e Petrografica Acta* **12**, 69 (1966).
[24] W.R. Dickinson. *J. Sediment. Petrol.* **40**, 695 (1970).
[25] W.R. Dickinson & E.I. Rich, *Geol. Soc. Am. Bull.* **83**, 3007 (1972).
[26] C.W. Rapela, R.J. Pankhurst, C. Casquet, C.M. Fanning, E.G. Baldo, J.M. Gonzalez-Casado, C.Galindo & J. Dahlquist. *Earth-Science Rev.* **83**, 49 (2007).
[27] R. Varela, M.A.S. Basei, P.D. Gonzalez, A.M. Sato, M. Naipauer, M. Campos Neto, C.A. Cingolani, V.T. Meira, *Int. J. Earth Sci.* **100**, 243 (2011).
[28] G. Collo, R.A. Astini, P.A. Cawood, C. Buchan & M. Pimentel. *J. Geol. Soc. Lond.* **166**, 303 (2009).
[29] J. Alvarez, C. Mpodozis, C. Arriagada, R. Astini, D. Morata, E. Salazar, V. Valencia & J. Vervoort. *J. South. Am. Earth. Sci.* **32**, 460, (2011).
[30] T.J. Coughlin. *Ph.D. thesis,* University of Queensland (2000).
[31] A.R. Goss, S.M. Kay & C. Mpodozis, *J. Petrol.* **54**, 2193 (2013).

Manuscrito recibido el 11 de abril de 2018.
Aceptado el 25 de abril de 2018.