

# PROCEDENCIA DE LOS DEPÓSITOS DEL GRUPO PAYOGASTILLA (CENOZOICO), RÍO CALCHAQUÍ, PROVINCIA DE SALTA

Claudia Inés GALLI<sup>1,2</sup>, Alba RAMÍREZ<sup>1,2</sup>, James REYNOLDS<sup>4</sup>, José G. VIRAMONTE<sup>1,3</sup>, Bruce IDLEMAN<sup>5</sup> y Celia BARRIENTOS<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Salta, Email: claudiagalli@fibertel.com.ar

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Jujuy

<sup>3</sup> CONICET

<sup>4</sup> Brevard College, Brevard, North Carolina, Estados Unidos.

<sup>5</sup> Lehigh University, Bethlehem, Pennsylvania, Estados Unidos.

## RESUMEN

Se realiza el estudio de procedencias de los depósitos cenozoicos expuestos en la zona sur del valle Calchaquí, provincia de Salta que comprenden a sedimentitas fluviales del Grupo Payogastilla (Eoceno medio-Mioceno superior). La sucesión analizada se encuentra muy bien expuesta en ambos márgenes del río Calchaquí y consta de 5.400 metros de depósitos clásticos, integrada, de base a techo, por las formaciones Los Colorados, Angastaco, Palo Pintado y San Felipe. Se describen características mineralógicas, petrográficas, geoquímicas y de difracción de rayos X de las facies constituyentes de las formaciones Los Colorados, Angastaco y Palo Pintado, incorporándose el análisis de proveniencia asociado al estudio de paleocorrientes. El componente mayoritario, en las facies de areniscas, está caracterizado por granos de cuarzo, mientras que otros detritos son de: feldespatos potásicos, plagioclasas alteradas, pertitas y abundante mica. Los depósitos conglomerádicos matriz- soporte, siendo sus clastos mayoritarios de pegmatitas, granitos, cuarzos, esquistos, gneis y migmatitas. La geoquímica de elementos mayores y tierras raras de clastos de la Formación Angastaco muestran composiciones similares a la de rocas de la Faja Eruptiva de la Puna Oriental y cuerpos intrusivos ordovícicos-silúricos de Sierras Pampeanas. Los análisis de difracción de rayos X de muestras de arcillitas de la Formación Palo Pintado presentan illita y montmorillonita, que son interpretadas como de origen detrítico, mientras que la saponita ha sido generada por bisialitización (hidrólisis) en un clima templado-húmedo. Las características composicionales y los datos de paleocorrientes medidos sugieren que durante el Eoceno medio al Mioceno superior el aporte principal de los materiales fue de zonas positivas de diferente composición de los afloramientos de cumbres de Luracatao y sierra de Vázquez, como así también de los cerros Runo, Durazno, sierra de Quilmes y Cumbres Calchaquíes y en menor medida del cerro Colorado. Estas áreas de aporte se encuentran ubicadas tanto al oeste como al suroeste de la zona de estudio.

**Palabras clave:** *Grupo Payogastilla, análisis petrográfico, geoquímica, difracción de rayos X.*

## ABSTRACT

*Provenance of the Payogastilla Group (Cenozoic), Calchaquí river, Salta Province.*

Cenozoic deposits comprising the fluvial sediments of Payogastilla Group (Middle Eocene-Late Miocene) were studied in the southern portion of the Calchaquí Valley, Salta province. The strata are well-exposed on both banks of the Calchaquí river and comprise 5,400 m of clastic deposits, defined, from base to top, by Los Colorados, Angastaco, Palo Pintado and San Felipe formations. Mineralogic, petrographic, geochemical and X-ray diffraction analyses of the constituent facies of Los Colorados, Angastaco and Palo Pintado formations are described, including their provenance, derived from paleocurrent studies. The main sandstone facies component is characterized by quartz grains; other detrital components are potassium feldspar, altered plagioclase, perthite and abundant mica. The compacted and matrix supported conglomerate deposits exhibit clasts mostly of pegmatite, granite, quartz, slate-clay, gneiss and migmatite. These data are associated with the results of major and trace elements with a similar affiliation to the rocks of the eastern edge of the Puna (Eruptivo Oire Complex) and Sierras Pampeanas. X-ray diffraction analysis of clay samples from the Palo Pintado formation reveal illite and montmorillonite, which are interpreted to be of detrital origin, while the saponite has been generated by weathering in a humid-temperate climate. Compositional characteristics and paleocurrent data suggest primary sediment contribution from the cumbres de Luracatao and sierra de Vázquez, as well as from the Runo and Durazno ranges, sierra de Quilmes and Cumbres Calchaquíes and, to a lesser extent, from the *cerro Colorado*, throughout the middle Eocene to late Miocene.

**Keywords:** *Payogastilla Group, petrographic analysis, geochemistry and x-rays diffraction.*

## INTRODUCCIÓN

Los depósitos sedimentarios cenozoicos (Russo 1948) estudiados se encuentran ubicados en la zona sur del valle Calchaquí, entre los 25°42'55" LS - 66°10'44" LO y los 25°40'42" LS - 66°05'30" LO, aproximadamente a 200 km al suroeste de la ciudad de Salta, en el norte de Argentina. Se accede al lugar desde la ciudad de Salta por la ruta nacional N°68 pavimentada hasta la localidad de Cafayate, desde allí continúa por la ruta nacional N°40 cuya traza va en forma casi paralela al río Calchaquí por gran parte de su trayecto hasta la localidad de Angastaco (Fig. 1).

En la zona de estudio, las acumulaciones terciarias tienen muy buena exposición y constan de sedimentitas clásticas continentales que constituyen el Grupo Payogastilla (Díaz y Malizzia 1983) integrado, de base a techo, por las formaciones Los Colorados, Angastaco, Palo Pintado y San Felipe. Estos depósitos se han acumulado en una cuenca de antepaís cuya configuración ha sido el resultado directo de la inversión tectónica de los depósitos de la cuenca de rift del Grupo Salta (Cretácico-Paleoceno, Salfity y Marquillas 1994). El escenario en donde se habrían acumulado los depósitos basales del Grupo Payogastilla habría sido una cuenca de *sag* con tres subcuencas colmatadas (Brealito, Pucará y Alemania) y posteriormente invertidas por efectos de la subducción de la placa de Nazca por debajo de la placa Sudamericana (Hongn y Seggiaro 2001).

Entre los trabajos más estrechamente relacionados con el tema, se encuentra el de Starck y Vergani (1996), los que realizaron un análisis de la evolución tecto-sedimentaria de la cuenca sobre la base del estudio de la distribución de facies y de espesores de los depósitos del Grupo Payogastilla y del Grupo Orán; y reconociendo tres megasecuencias que rellenaron de forma asimétrica la cuenca de antepaís terciaria. Estos autores correlacionaron los eventos sedimentarios o megasecuencias con las fases orogénicas incaica, quechua I y II y propusieron la relación entre la tectónica y la sedimentación

postulando que la estructuración de la cuenca de antepaís fue una respuesta directa a las fases diastróficas.

Otro trabajo relacionado es el de Coutand *et al.* (2006), quienes realizaron un estudio de los depósitos del Grupo Payogastilla, sobre la base del análisis petrográfico de areniscas y conglomerados, combinado con termocronología de trazas de fisión en apatitas detríticas. Estos autores no analizaron a la Formación Los Colorados (base del Grupo Payogastilla) y concluyeron que durante el Mioceno inferior (20-18 Ma) hasta el Plioceno, la cumbre de Luracatao habría sido un área positiva (Fig. 1). A su vez estos autores proponen que a los 15 Ma se habría producido la desconexión de la Puna con la cuenca de antepaís terciaria; entre los 13 y 10 Ma se habría ocurrido la división de las cuencas de Pucará (oeste) y Angastaco (este), con la exhumación de los cerros Runo, Durazno y Negro (Fig. 1). En el Plioceno superior (3,4-2,4 Ma) el acortamiento fue trasladado hasta el flanco este de la cuenca de Angastaco conformando una nueva barrera orográfica que estableció condiciones semiáridas en el Valle Calchaquí (Fig. 1).

Payrola Bosio *et al.* (2009) realizaron un trabajo en la zona del valle de Luracatao, al oeste de la zona de estudio (Fig. 1), revelando que la Formación Los Colorados (base del Grupo Payogastilla) es de edad Eocena media a superior, en base al hallazgo de un registro fósil y que los depósitos basales de esta formación presentan estratos de crecimientos que han sido interpretados como la zona de cuña de tope (*wedge top*) de la cuenca de antepaís terciaria. Además estos autores, según el análisis de los clastos de conglomerados (valle de Luracatao) determinaron la abundancia de granitos y milonitas; y concluyeron que el área de procedencia para la Formación Los Colorados fue la cumbre de Luracatao indicando que esta cumbre se habría exhumado y habría conformado una incipiente barrera orográfica durante el Eoceno medio.

Guzmán (2009) estudió el Complejo Volcánico Pucarilla-Cerro Tipillas, ubicado

al oeste del área de estudio, cuyo centro de emisión se encuentra en el borde oriental de la Puna y los depósitos volcánicos y volcánoclasticos asociados ubicados en los valles de Pucarilla, Pucará y Hualfin, intercalados en la base del Grupo Payogastilla. Esta autora reconoció a la Formación Los Colorados (base del Grupo Payogastilla) en el valle de Pucará (Fig. 1), que se en discordancia angular sobre el Subgrupo Pirgua y en el valle de Pucarilla sobre el Complejo Eruptivo Oire. Describió a la Ignimbrita Pucarilla que suprayace en discordancia angular cubriendo diferentes niveles estratigráficos de la Formación Angastaco.

El presente trabajo trata sobre la procedencia de los depósitos del Grupo Payogastilla en el borde sur del valle Calchaquí, sobre la base de la petrología de areniscas y conglomerados, el análisis geoquímico de clastos de conglomerados y además el análisis de difracción de rayos X de los niveles de arcillas de la Formación Palo Pintado.

El análisis petrológico en areniscas a partir de modas detríticas ha demostrado ser un instrumento importante para detectar cambios temporales o areales en el análisis de relacionado al paleorelieve y paleotectónica. Las sedimentitas cenozoicas del Grupo Payogastilla constan de depósitos de areniscas desde las formaciones Los Colorados, Angastaco, Palo Pintado hasta la Formación San Felipe (de base a techo), por lo tanto brindan una buena posibilidad de caracterización composicional para poder evaluarla. Esta metodología también ha sido empleada por Coutand *et al.* (2006), pero nosotros consideramos en densificar el muestreo petrográfico debido al gran espesor del perfil estudiado; y adicionar nuevos datos, como análisis geoquímicos de clastos y de difracción de rayos X de arcillas. Además, los citados autores no realizan un estudio de la base del Grupo Payogastilla (Formación Los Colorados) cuyo análisis de procedencia es clave para entender el inicio del desarrollo de la cuenca de antepaís. De esta manera este estudio contribuye a la comprensión de la evolución de la

orogenia andina, para el sector sur del valle Calchaquí.

### MARCO GEOLÓGICO

En el área de estudio, la columna estratigráfica está representada por el basamento neoproterozoico terminal, constituido por rocas metamórficas de bajo grado de la Formación Puncoviscana (Turner y Mon 1979) y cuarcitas, filitas, esquistos, gneis moteados y migmatitas de la Formación La Paya (Aceñolaza y Toselli 1976, Toselli et al. 1999) descrito en la sierra de Quilmes y Cumbres Calchaquíes.

El basamento paleozoico presenta cuerpos intrusivos como tonalitas y pegmatitas (Tonalita La Viña, Cámbrico), granitos grises y pegmatitas (Granito La Angostura, Granito Alto del Cajón, Ordovícico) y granitos rosados (Granito Pucará, Granito Alto del Cajón, Ordovícico). En el sector oeste de la zona de estudio en el límite Cordillera Oriental-Puna, se reconoce la sierra de Vázquez (Fig. 1) constituida por esquistos silimaníticos y migmatitas (Complejo Metamórfico Río Blanco, Hongn y Seggiaro 2001). La continuación norte de esta cordillera está representada por cumbre de Luracatao (Fig. 1), compuesta por granitoides paleozoicos del borde oriental de la Puna (Complejo Eruptivo Oire) que se subdivide en dos grupos: a) granitos y granodioritas con pegmatitas y b) granitos y granodioritas milonitizados (Hongn y Seggiaro 2001).

La cubierta sedimentaria está compuesta por depósitos del Cretácico-Paleógeno del Grupo Salta (Brackebusch 1883, *nom. subst.* Turner 1959) y Paleógenos-Neógenos representados por el Grupo Payogastilla. En la zona de estudio los depósitos del Grupo Salta están representados por facies de bordes de cuenca y se acumularon conformando dos subcuencas denominadas Pucará (sur) y Brealito (norte). Ambas subcuencas recibieron espesas acumulaciones del Grupo Salta y estuvieron separadas del depocentro Alemania ubicado al este de la zona de trabajo, por la faja de basamento que constituye la sierra

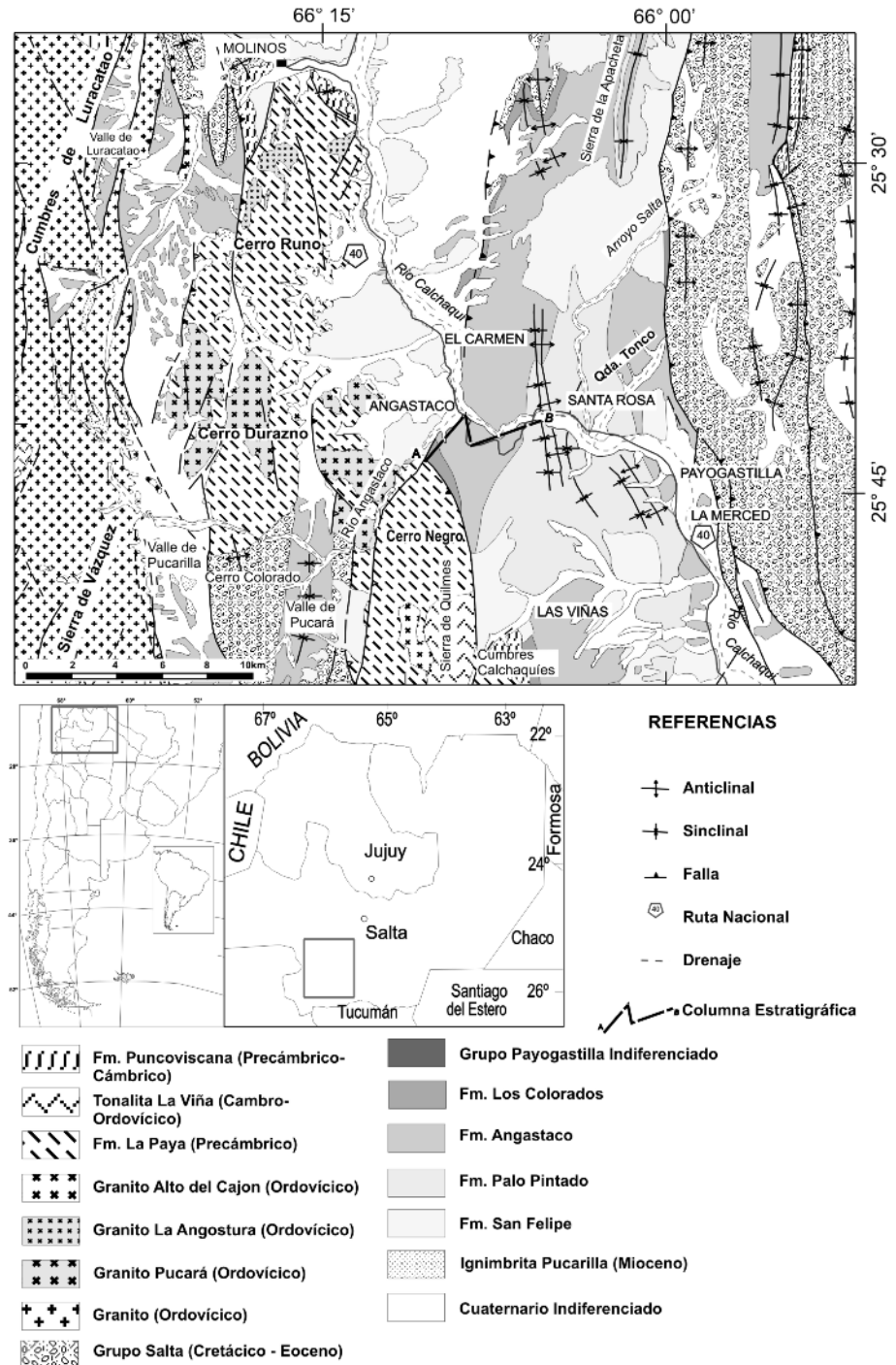


Figura 1: Mapa geológico de la región sur del río Calchaquí, provincia de Salta. Tomado de Hongn y Seggiaro (2001) y Salfity y Monaldi (2006).

de Quilmes (Hongn y Seggiaro 2001). En la zona sur del Valle Calchaquí, las sedimentitas del Cenozoico superior forman en conjunto, un paquete homoclinal continuo, con buzamiento regional hacia el este (30° a 80°), presentando por fallas

y pliegues anticlinales y sinclinales (Fig. 1, Hongn y Seggiaro 2001). El Grupo Payogastilla (Díaz y Malizzia 1983) está compuesto por las formaciones Los Colorados, Angastaco, Palo Pintado y San Felipe (Díaz y Malizzia 1983).



Se prefiere denominar a la Formación Quebrada Los Colorados como Formación Los Colorados a fin de adaptarla al Código Argentino de Estratigrafía (art. 20.1, 1992).

La edad de inicio de los depósitos de la Formación Los Colorados es eocena media a superior (del Papa *et al.* 2004, Payrola Bosio *et al.* 2009) y consta de 150 metros de espesor parcial medido. Esta unidad está caracterizada, en su base, por el desarrollo de ciclos grano y estratodecrescentes de facies de areniscas y pelitas, en estratos tabulares, que han sido interpretados como depósitos pertenecientes a un sistema fluvial de tipo mixto (con canales fijos y móviles de lecho de crecida de baja sinuosidad; Díaz *et al.* 1987, 1989). Hacia el techo, esta unidad está compuesta de facies de areniscas medianas con laminación paralela y entrecruzamientos de alto ángulo de origen eólico (Díaz *et al.* 1987).

El pasaje entre la Formación Los Colorados y la suprayacente Formación Angastaco es concordante y definido (Díaz *et al.* 1987). La Formación Angastaco consta de 4.450 metros de espesor, de conglomerados y areniscas conglomerádicas en ciclos granos y estratodecrescentes, con escasos bancos pelíticos en el techo de la unidad. Estos depósitos han sido interpretados como acumulados en un sistema fluvial dominado por canales extensos lateralmente y pandos, dominados por mantos de crecidas, que se extendían en una planicie arenosa, bajo un clima muy seco y cálido cercano al pie de monte (Díaz *et al.* 1987). Se registran tres niveles importantes de tobas, dos de ellos han sido datados. El nivel piroclástico basal arrojó una edad de  $15,26 \pm 0,23$  Ma U/Pb (Pereyra *et al.* 2008) mientras que otro en la sección media dió una edad  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  de  $13,4 \pm 0,4$  Ma (Corte "El Cañón", Grier 1990; Grier y Dallmeyer 1990).

El pasaje entre la Formación Angastaco y la suprayacente Formación Palo Pintado es concordante y transicional, con un espesor parcial de 800 metros. En la base de la Formación Palo Pintado se encuentra un nivel de toba de  $10,29 \pm 0,11$  Ma

(K/Ar) (Galli *et al.* 2008) y hacia el techo otro nivel piroclástico fue datado en  $5,27 \pm 0,28$  Ma ( $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ , Coutand *et al.* 2006). La Formación Palo Pintado está constituida por ciclos grano y estratodecrescentes de conglomerados matriz-soprote, areniscas cuarzosas y sublíticas limpias, medianas a finas, que culminan con niveles de pelitas verdes, que han sido interpretados como sistemas fluviales de llanura, formado por bañados con lagunas semipermanentes (Díaz *et al.* 1987).

Coutand *et al.* (2006), realizaron análisis de procedencia de los depósitos de las formaciones Angastaco y Palo Pintado en el río Calchaquí. Este estudio fue obtenido en base a ocho muestras de areniscas y dieciocho de conglomerados de la Formación Angastaco, cinco de areniscas y seis de conglomerados de la Formación Palo Pintado, mediante la utilización de diagramas ternarios QFR (método de Folk 1968) y Lm-Lv-Ls+C (método de Di Giulio y Valloni 1992). Estos autores concluyeron que existe un incremento de los componentes líticos metamórficos hacia el techo de la sucesión vs un decrecimiento de clastos graníticos y volcánicos. Además identificaron en la base de la Formación Angastaco, areniscas con un contenido de 51% de clastos volcánicos, valor que disminuye hasta 2% en el techo de la Formación Palo Pintado.

En el presente trabajo no se analizaron los depósitos de la Formación San Felipe (techo del Grupo Payogastilla) por encontrarse, en el perfil estudiado, afectado por numerosas fallas que afectan su espesor.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se procedió al relevamiento del perfil sedimentológico del Grupo Payogastilla a escala 1:500, desde la quebrada Los Colorados (Angastaco) hasta la quebrada Piedras Blancas, ubicado en la margen derecha del río calchaquí (Fig. 2). Se tomaron datos de paleocorrientes en clastos imbricados, entrecruzamientos y ondulitas asimétricas.

El estudio de procedencia se basó en el

análisis petrográfico de 27 muestras de areniscas, 28 niveles de conglomerados y 7 niveles de arcillitas, éstas últimas de la Formación Palo Pintado.

Las areniscas del Grupo Payogastilla fueron analizadas en cortes delgados confeccionados perpendicular a la estratificación. Los mismos corresponden a: 7 muestras de la Formación Los Colorados, 14 de la Formación Angastaco y 6 de la Formación Palo Pintado.

Las areniscas presentan escaso grado de alteración, lo que facilitó el reconocimiento óptico de distintos componentes y por lo tanto, son buenos indicadores de áreas de procedencias.

El análisis cuantitativo de las areniscas ha sido realizado contando como mínimo 300 granos entre 0,062 y 2 mm por corte delgado, habiendo sido clasificadas según Pettijohn *et al.* (1973). El conteo se realizó aplicando el método de Gazzi-Dickinson (Dickinson 1970, Gazzi *et al.* 1973, Dickinson y Suczek 1979, Dickinson *et al.* 1983, Ingersoll 1978, Ingersoll y Suczek 1979, Ingersoll *et al.* 1984).

En el conteo modal de las areniscas se procedió a clasificar los tipos de granos y posteriormente las modas detríticas fueron recalculadas al 100 % como la suma de Qm F Lt y Qt F L (Dickinson 1985, Fig. 3) y cuyos resultados se presentan en el cuadro 1. Los granos intracuencales son muy escasos y no han sido considerados.

Los granos de cuarzos con extinción ondulosa fueron reconocidos según su extinción aparente (aproximadamente menor al ángulo de extinción verdadera): ondulatorio si es mayor a 5° y no ondulatorio si es menor o igual a 5° (Fig. 4). En el conteo se consideró el cuarzo ondulatorio como producto de rocas metamórficas de bajo grado y no ondulatorio como producto de rocas metamórficas de alto grado que se comportan como cuarzo plutónico (Basu *et al.* 1975).

El número promedio de individuos de granos de cuarzo policristalino tamaño arena depende de la roca madre del área fuente. En este trabajo, se han considerado a los granos constituidos por 2 a 5 cristales y con contactos rectos como de ori-

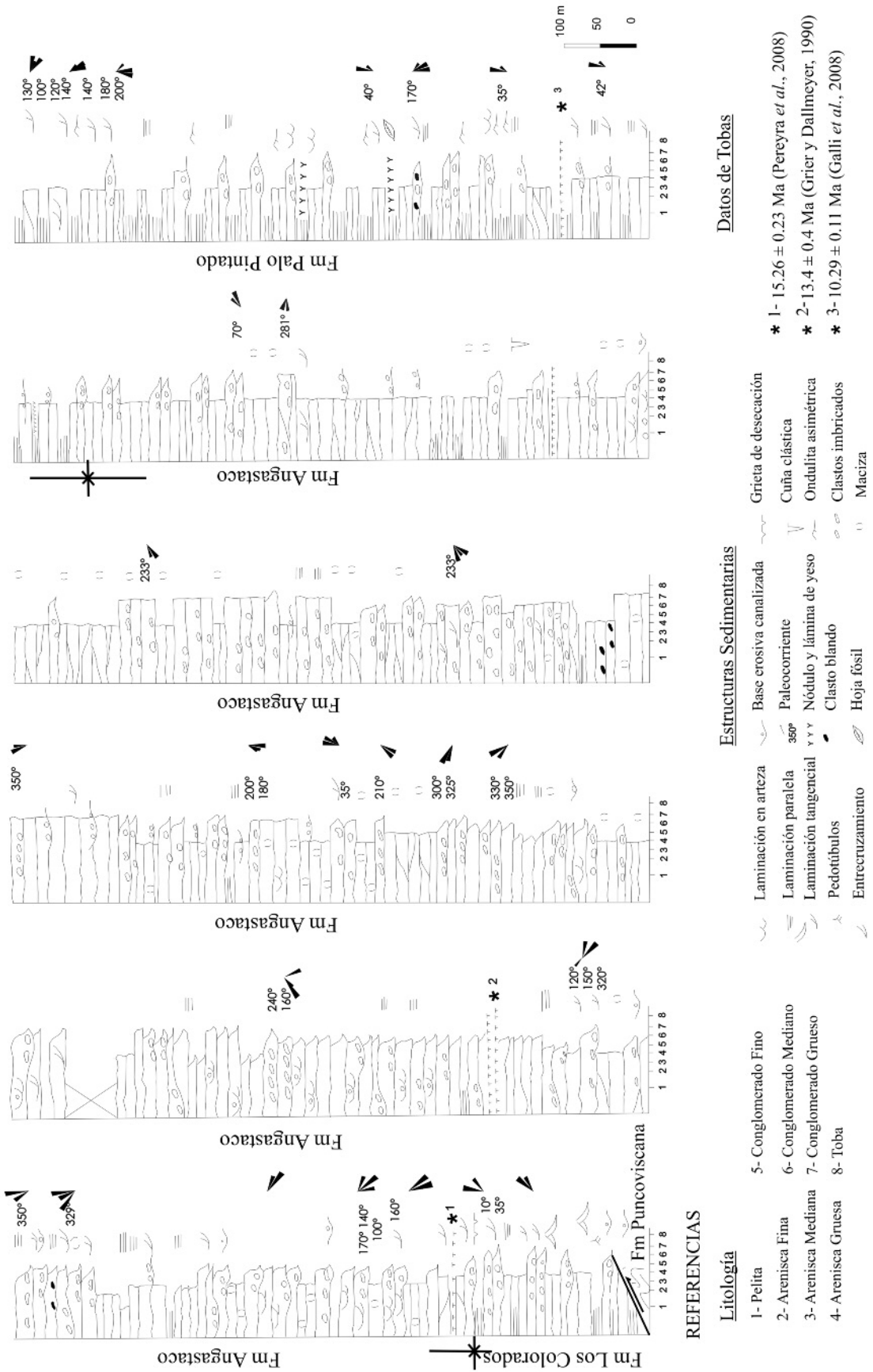
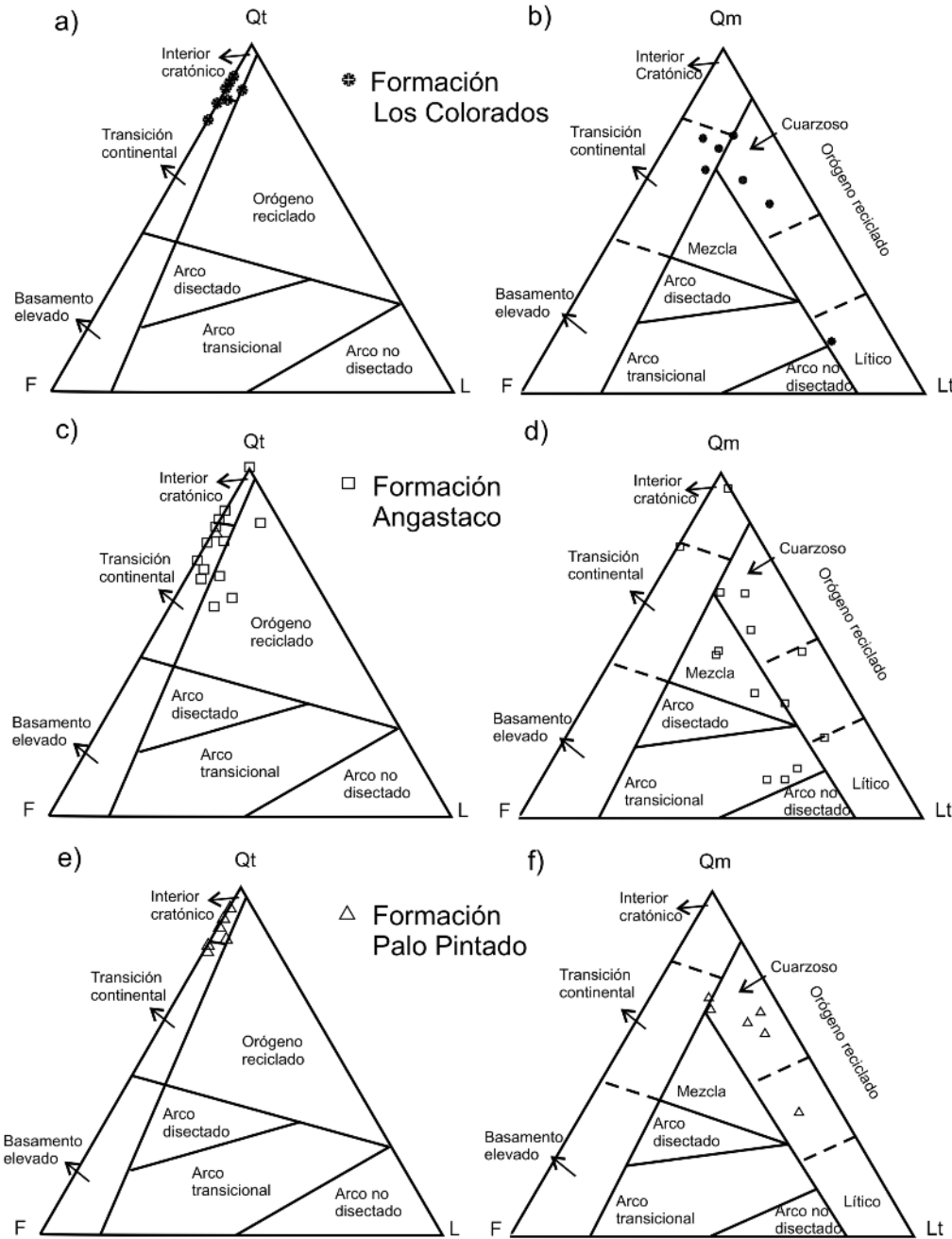


Figura 2: Perfil sedimentológico de las formaciones Los Colorados, Angastaco y Palo Pintado (Grupo Payogastilla) en el río Calchaquí.

**CUADRO 1:** Composición de los granos de areniscas recalculados al 100%.

Formación Nº de Muestra	Los Colorados										Angastaco										Palo Pinto									
	LC-1	LC-3a	LC-3b	LC-3c	LC-3d	LC-3e	LC-3f	A-1a	A-1b	A-1c	A-1c'	A-2a	A-6	A-9	A-10	A-11	A-14	A-14a	A-15	A-16	PP-17	PP-18	PP-20	PP-21	PP-22	PP-27				
Cuarzo monocristalino (Qm)	53	10,4	52	56	45	43	63	83	41	35	19	7	10	28	10	43,5	41	22	57,5	55	53	45	52,5	22	50	53				
Cuarzo monocristalino c/extinción ondulosa	16	0	4	0	6	0	0	5	0	9	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	5	6	2	1,5	4	3,5	6,5			
Cuarzo en roca plutónica	16	44,6	20	12	19	5	12	3	21	7	45,5	36	33	10,5	15	20	20,5	25	0	10,5	11	15	15	30,5	10	15				
Cuarzo en roca metamórfica	5	24	0	0	0	23	0	0	21	12	6	0	0	10	35	11	3	15,5	0	5	5,5	21	10	10	1,5	5				
Chert	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	4				
Feldespatio potásico (FK)	5	5	8	5	9	3	2,5	1	10	12	2,5	6	4	14,5	10	5,5	10	7,5	11	8	8,5	8	5	4	4,5	4,5				
Feldespatio potásico en roca plutónica	1,6	0,5	0	0	0	1	0	0	0	2	0	2	4	1,5	2	0	0	1,5	0	0	0	0	0	4	0	0				
Feldespatio potásico en roca volcánica	0	0,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Plagioclasa	5	0	5	9	6	4	6,5	0	7	6	8	4	4	3,5	0	0	1,5	5,5	8	7,5	0	0	0	0	9	6,5				
Plagioclasa en roca plutónica	0,3	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Plagioclasa en Roca volcánica	0	1	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Pertitas	1,6	0	0	5	0	0	0	0	0	3	0	10	5	3,5	14	0	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0				
Líticos volcánicos	0	3,9	0	0	0	0	0	0	3,5	0	0	8	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Líticos metamórficos	2,6	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3				
Líticos sedimentarios	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,5	10	0	5	0	0	0	0	0	4,5	0				
Intraclastos pelíticos	1,6	0	5	6	0	4	0	0	1,5	2	6	15	18	1,5	1	1	15	0	0	0	0	0	0	22	0	0				
Opacos detriticos	0,2	0	0	0	0	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0,2	0,5	0,5	0	2,5	2	0	0	0	0	0	0				
Minerales ferromagnesianos	0	0	0,5	0	1	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0,3	0	0,5	0	0	0	0	0	1,5	0	0	0				
Micas	0,1	9,2	0,5	6	3	2	1,5	6	0,5	3	0	8	7	7	6,5	3	5	3	11	5	5,5	4	4	3	1	2				
Matriz sericitica y/o de arcilla	0	0	6	1	11	15	12,5	1	3,5	3	13	4	5	10	2,5	5,5	3	14	15	1	1	1	10,5	0,5	16	0,5				
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100			
Qt	83,5	87	87	78	82,5	89	90	99	77,5	70	87	59	61,5	72	67	83	84	67,5	78	82	82	91,5	94	89	83	86				
F	14	9	13	22	17,5	11	10	1	18,5	27	13	30	24,5	28	29	6	16	24	22	18	18	8,5	6	11	17	11				
L	2,5	4	0	0	0	0	0	0	4	3	0	11	14	0	4	11	0	8,5	0	0	0	0	0	0	0	3				
Qm	62	16	64	65	74	55	75	95	33	48	23	10	14,5	47	11	48	54	36	78	65	64,5	57	64	35	68	61				
F	14	22	18	11	10	1	18	27	13	30	24,5	28	29	6	16	24	22	18	18	8,5	6	11	17	11						
Lt	12	13	8	34	15	4	49	25	64	50	61	25	60	46	30	40	0	17	17,5	34,5	30	54	15	28						
Lm	100	6	0	0	0	0	100	46	60	11,5	0	0	42	55	30	12	35	0	32	33	40	25	13	35						
Lv	0	0	0	0	0	0	8	0	0	15	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Lp	0	62	100	100	100	100	0	46	40	88,5	85	79	58	45	70	88	65	0	68	67	60	75	87	65						

Qt: cuarzo total, F: feldespatos, L: líticos, Qm: cuarzo monocristalino, Lt: líticos + cuarzo policristalino, Lm: líticos metamórficos, Lv: líticos volcánicos y Lp: líticos plutónicos.



**Figura 3:** Diagrama QtFL y QmFLt de discriminación de procedencia de areniscas de la Formación Los Colorados en donde se observa: a) Gran concentración en los campos de interior cratónico y transición continental; b) algunas desplazadas hacia orógeno reciclado; c) areniscas de la Formación Angastaco algunas concentradas en el campo de orógeno reciclado; d) ídem anterior con dispersión en varios campos; e y f) areniscas de Formación Palo Pintado con una proyección similar a la unidad basal (según Dickinson 1985).

gen plutónico y a los de más de cinco cristales con contactos crenulados por grano de origen gnésico (Figs. 4 y 5) (Basu et al. 1975).

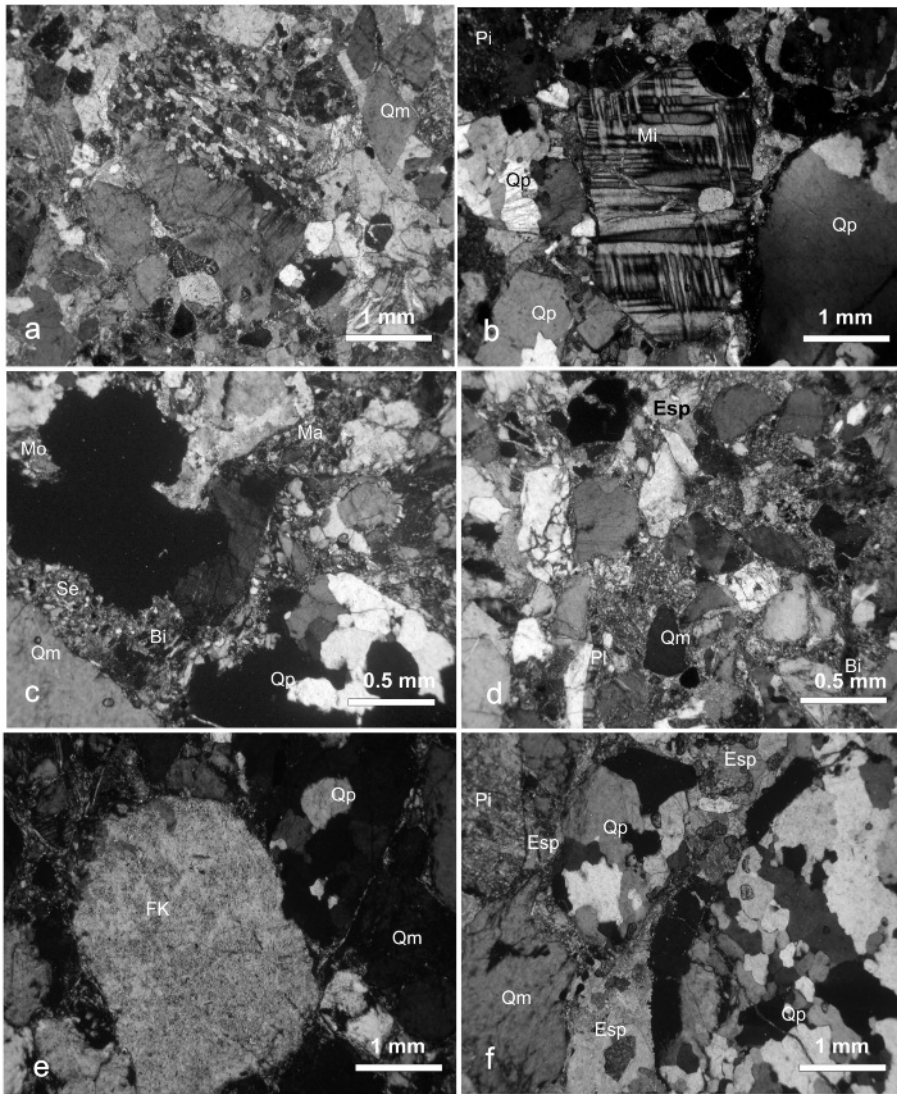
En cuanto a los depósitos conglomerádicos se ha efectuado un conteo en el campo en secciones de 1 m<sup>2</sup>. El conteo se realizó en 60 estaciones de todo el depósito considerado y se muestran los resultados en donde se observan cambios de procedencia. De esta forma, se presentan

cinco estaciones en la Formación Los Colorados, 19 en la Formación Angastaco y 4 en la Formación Palo Pintado. En este conteo se han diferenciado los siguientes clastos de conglomerados: ígneos, metamórficos de bajo grado, intermedio y alto grado y escasos clastos sedimentarios (Cuadro 2). Posteriormente, los resultados han sido graficados en diagramas binarios, en donde en la ordenada se colocó el muestreo de base a techo, para

obtener una mejor visión de las variaciones de aporte sedimentario en porcentaje a lo largo del tiempo (Fig. 6).

Los análisis de elementos mayores y trazas fueron realizados en el Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X del Instituto de Geología y Minería de la Universidad de Jujuy. Se utilizó un espectrómetro secuencial Rigaku FX2000, provisto de un tubo de anticátodo de Rh de 3 kW de potencia, trabajando a 50 kv y 40mA. Los





**Figura 4:** Microfotografías a, b) Formación Los Colorados y c, d, e, f) Formación Angastaco: a) Arenita sublítica, con abundantes granos de cuarzo monocristalino (Qm), fragmentos de esquistos micáceos (Es), con cemento esparítico (Esp), nicoles cruzados, 5x; b) arenita lítica, con granos de cuarzo policristalino de origen plutónico (Qp), microclino (Mi) y pizarra (Pi), cemento esparítico (Esp), nicoles cruzados, 5x; c) arenita de grano fino con cuarzo mono (Qm) y policristalino (Qp), moscovita (Mo) y biotita, con matriz sericitica <10 %, nicoles cruzados, 10x; d) arenita con abundantes granos de cuarzo monocristalino (Qm) y con cemento calcáreo, nicoles cruzados, 5x; e) arenita gruesa en donde se observa feldespato potásico-ortoclasa muy alterado (FK); f) arenita con granos de cuarzo policristalino (Qp) y pizarra (Pi), con cemento esparítico (Esp) nicoles cruzados, 5x.

elementos mayores se analizaron sobre perlas vítreas preparadas mediante fusión de la roca a 1000 °C, utilizando como fundente tetraborato de litio y logrando una completa homogeneización del fundido. Los elementos traza se analizaron sobre *pellets* de polvo de roca, aglutinados con metacrilato de metilo y prensados bajo una carga puntual de 20 Tn. Las concentraciones de óxidos y elementos

se determinaron a partir del método empírico usual, comparando la muestra problema con curvas de calibrado preparadas con patrones estándares anhidros o totales homologados por los servicios geológicos de Estados Unidos y/o de Japón. Se han analizado, en forma preliminar, siete muestras de diferentes niveles pelíticos verdes y marrones de la Formación Palo Pintado (mediante difracción de

rayos X), con el fin de ser utilizados como un dato más de (según criterio de Chamley 1989). Para el análisis de difracción de rayos X de arcillas se realizó la molienda de la roca hasta ser retenido el polvo en la malla 200. A ésta fracción se la colocó en un portaobjetos y se la analizó con valores de  $2\phi$  entre 3° y 60°. Se prepararon además muestras orientadas saturadas en Mg, etilenglicol, difractándose con valores entre  $2\phi$  y 3° - 30°. Posteriormente fueron calcinadas hasta 500° C, para comprobar la presencia de caolinita, ya que a esta temperatura se destruye la estructura cristalina de esta arcilla (Fernández Marcos *et al.* 1979).

Además se preparó un *pellets* para IR (espectro infrarrojo) y se utilizó un equipo Perkin Elmer Spectrum GX con transformada de Fourier. Los espectros se obtienen en el modo de transmisión por la técnica del KBr, se trabaja en el rango de 4.000 a 400  $\text{cm}^{-1}$  con una resolución de 4  $\text{cm}^{-1}$ . La interpretación se realizó en forma manual (Farmer 1974) y se tomó una fotografía con el microscopio electrónico de barrido (SEM) que apoya la interpretación del análisis del espectro infrarrojo (IR).

## ANÁLISIS PETROGRÁFICO

### Componentes petrográficos de las areniscas

Las facies psamíticas del Grupo Payogastilla analizadas constan de arenitas cuarzosas, arenitas líticas y en menor proporción arenitas feldespáticas (según la propuesta de Pettijohn *et al.* 1973), de grano grueso a muy grueso.

La nomenclatura utilizada para los granos identificados en las areniscas son los siguientes:

a) Granos de cuarzo ( $Qt = Qm + Qme + Qp + Ch$ )

$Qt$  = Granos totales de cuarzos

$Qm$  = Cuarzo monocristalino

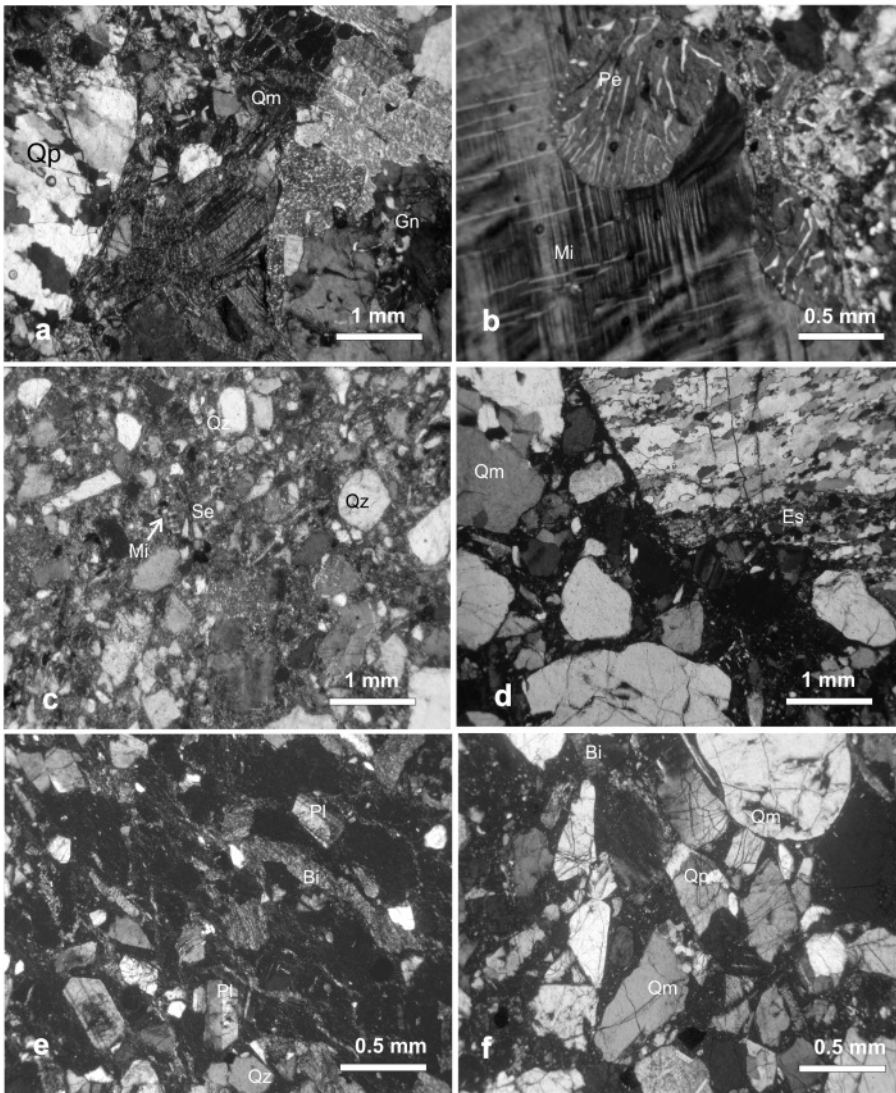
$Qme$  = Cuarzo monocristalino con extinción ondulosa

$Qp$  = Cuarzo policristalino

$Ch$  = Chert

b) Granos de feldespatos ( $F = P + K + Pe$ )





**Figura 5:** Microfotografías (todas con nicules cruzados) de a, b, c, y d) Areniscas de la Formación Angastaco, e) toba y f) arenisca de la Formación Palo Pintado: a) arenita con granos de cuarzo mono y policristalino (Qp), biotita (Bi) y moscovita (Mo), 5x; b) arenita con fragmento lítico pegmatítico (pertita y microclino, Pe-Mi) 5x; c) wacke con granos de cuarzo monocristalino (Qm), microclino (Mi) y matriz sericítica, 5x; d) arenita con granos de cuarzo monocristalino (Qm) y líticos de esquisto (Es), 5x; e) toba con cristales de plagioclasas (Pl) y biotitas (Bi) 5x.; f) arenisca con abundante cuarzo redondeado y angularo, 5x.

F = Granos totales de feldespatos  
 K = Granos de feldespatos potásicos  
 P = Granos de plagioclasas  
 Pe = Pertitas  
 c) Fragmentos líticos (Lt = Qp + Lv + Lm + Ls)  
 Qp = Cuarzo policristalino  
 Lv = Líticos volcánicos  
 Lm = Líticos metamórficos  
 Ls = Líticos sedimentarios  
 El componente mayoritario es el cuarzo que se presenta como granos mono y po-

licristalinos. El cuarzo monocristalino límpido y no ondulatorio es muy abundante (Cuadro 1; Qm= 50-83 %), denotando su origen plutónico (Figs. 4a, c, d, f y 5c, d, f). Se observa en menor proporción, cuarzoes con extinción ondulosa (Qme= 0-16%) de origen metamórfico de bajo grado (Cuadro 1). El cuarzo policristalino (Qp= 45-3 %) más abundante está constituido por más de tres individuos por granos y presentan contactos crenulados (de origen metamórfico, Figs. 4c, f

y 5a, d) y contactos rectos (origen plutónico, Figs. 4b y c).

El porcentaje de feldespato total es bajo (entre 0 y 10 %, Cuadro 1) y se pueden diferenciar feldespatos potásicos (K) y plagioclasas (P). Los feldespatos potásicos reconocidos son: ortoclasa, con avanzado grado de caolinitización (Fig. 4e); microclino fresco, en granos redondeados a subredondeados, con el maclado característico en enrejado y deformación sobreimpuesta (Fig. 4b). La plagioclasa por lo general está alterada, con textura peritítica y gráfica (origen plutónico; Fig. 5a).

Los fragmentos líticos identificados son (Cuadro 1): metamórficos (esquistos, filitas y pizarras) que registran porcentajes variables a través de la sucesión estudiada, escasos fragmentos volcánicos (Fig. 5d) en la base de la Formación Los Colorados y base de la Formación Angastaco; y sedimentarios muy escasos que sólo se destacan en muestras de la sección superior de la columna estratigráfica analizada (Formación Palo Pintado).

Los datos obtenidos del análisis modal en las areniscas (Cuadro 1) fueron proyectados en los diagramas ternarios de discriminación de ambientes tectónicos de las zonas de s detríticas (Dickinson y Suczek 1979, Dickinson *et al.* 1983, Dickinson 1979, Dickinson *et al.* 1985). Considerando el diagrama Qt-F-L (Fig. 3a, b y c), se puede observar una mayor concentración de las muestras en la región de cratón interior y transición continental. El diagrama Qm-F-Lt (Fig. 3b, d y f), donde las muestras tienen mayor dispersión, evidencian procedencias variadas a lo largo de la columna. Las areniscas analizadas para la Formación Los Colorados presentan procedencia de transición continental, orógeno reciclado cuarzoso y orógeno reciclado lítico; la Formación Angastaco de orógeno reciclado, mezcla y arco transicional y la Formación Palo Pintado es de orógeno reciclado.

Esta variedad de procedencia se encuentra asociada a diferentes patrones de direcciones de paleocorrientes (Fig. 2). A fin de analizar la injerencia de las áreas fuentes que aportaron material a la cuenca del Grupo Payogastilla, se tomaron en

**CUADRO 2:** Composición de los clastos de conglomerados recalculados al 100 %.

Formación Líticos% vs MNº	Código	Los Colorados									Angastaco									Palo Pintado									
		1	2	3	3*	3"	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
<b>Igneos:</b>																													
a- Granito rosa	GR	13	22	12	20	17	13	15	20	10	15	16	17	10	15	18	15	15	8	10	30	15	10	0	7	35	10	15	27
b- Granito gris	GB	6	10	10	18	14	7	5	15	10	15	8	5	10	10	15	5	20	2	4	19	10	6	0	14	20	3	4	5
c- Pegmatita	Peg	12	16	38	28	19	25	5	10	5	29	3	5	5	2	5	0	0	5	7	5	5	0	0	10	10	13	7	10
d- Volcanita	Vol	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
<b>Metamórficos:</b>																													
a- Pizarras + filitas	P+F	25	0	0	0	0	0	0	20	15	0	40	40	27	17	0	33	50	63	65	1	50	80	90	50	10	19	15	10
b- Esquistos	E	19	0	7	14	15	10	15	0	15	5	8	10	5	13	17	0	1	5	8	0	0	0	0	0	0	17	27	20
c- Gneiss	G	0	0	0	5	5	0	0	15	20	0	0	0	20	0	10	0	0	0	0	15	8	2	5	0	0	0	0	0
d- Migmatitas	Mg	0	32	0	0	0	10	10	0	0	15	1	3	0	12	0	20	4	0	3	5	0	0	0	0	0	0	0	0
e- Cuarzo/metacuarcita	Qz	25	16	31	10	30	32	50	20	22	21	20	20	20	31	35	27	10	17	3	25	10	2	5	19	14	19	17	13
<b>Sedimentarios:</b>																													
a- Areniscas	Ar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	18	13	10
b- Intraclastos pelíticos	Intr	0	0	2	5	0	1	0	0	3	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	5

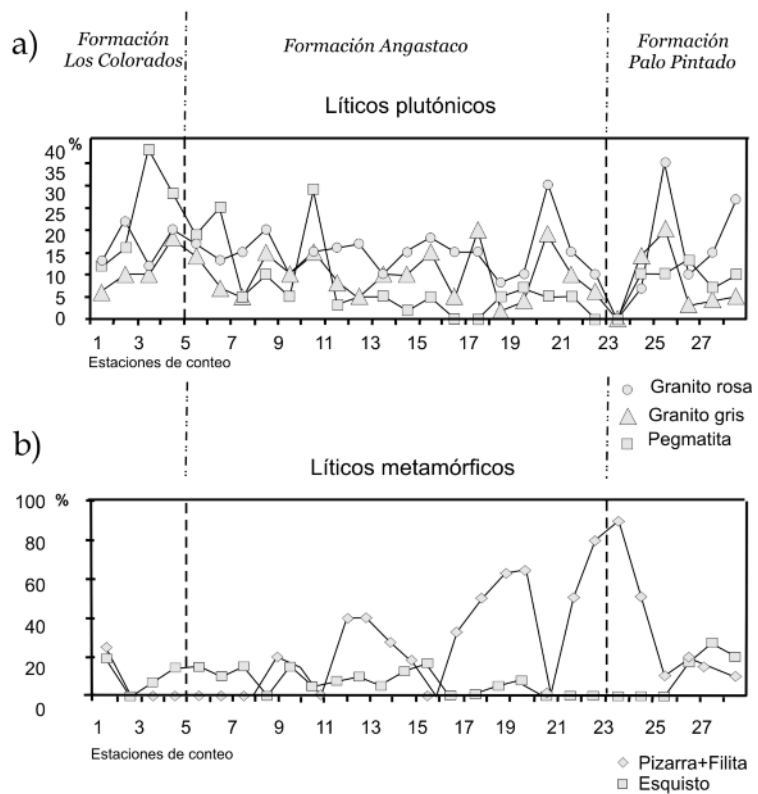
cuenta las principales direcciones de paleocorrientes obtenidas, que varían desde el sur-oeste y sur para la Formación Los Colorados; oeste, sureste y noroeste para la Formación Angastaco y suroeste y noroeste para la Formación Palo Pintado (Fig. 2). Según los diagramas QtFL y Qm FLt (Fig. 3) la procedencia varía de base a techo de la sucesión, presentando una dispersión amplia en los depósitos de la Formación Angastaco y siendo reducida en la Formación Los Colorados y Formación Palo Pintado.

**Componentes petrológicos de los conglomerados**

Las facies conglomerádicas de los depósitos del Grupo Payogastilla son más abundantes en la Formación Angastaco y han sido clasificados como ortoconglomerados petromícticos y, en menor proporción, como paraconglomerados (Pettijohn 1957).

Los porcentajes del conteo se muestran en la cuadro 2 y los valores se han graficado en diagramas binarios (Fig. 6). En ellos se puede observar en líneas generales, que los clastos más abundantes son de pizarras y filitas provenientes de la Formación Puncoviscana y granitoides, pegmatitas y migmatitas de la sierra de Quilmes.

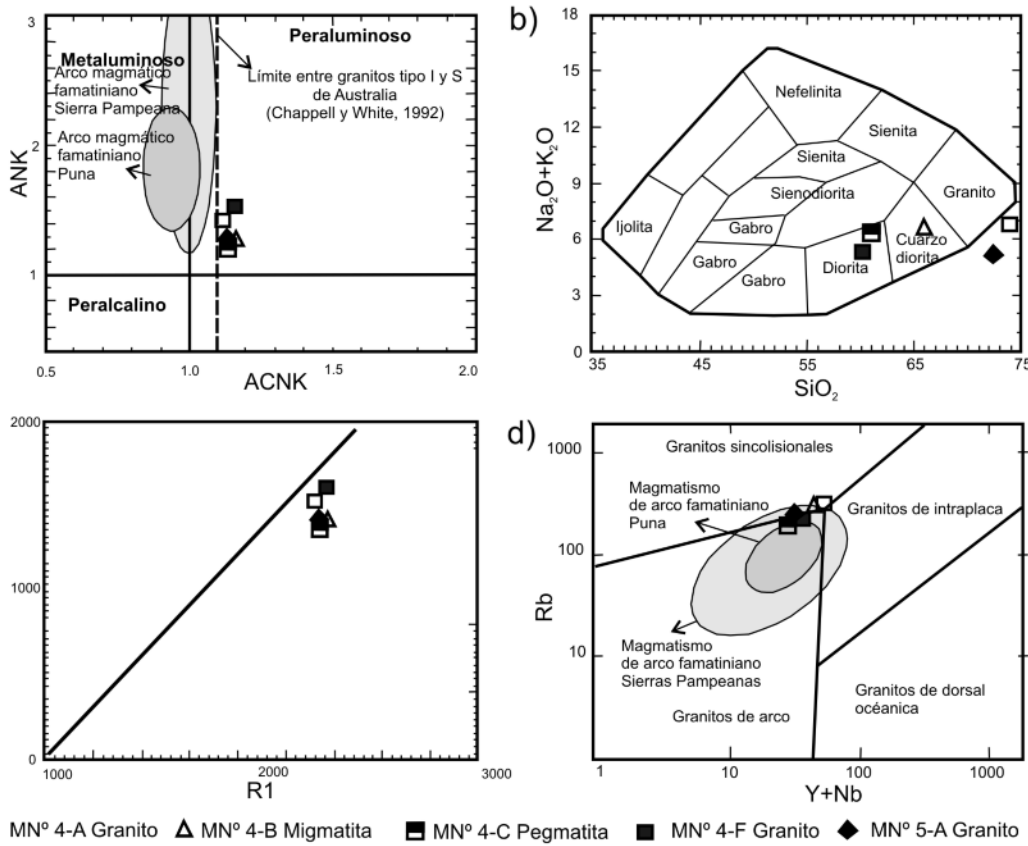
Los fragmentos líticos más abundantes son de origen: metamórficos, ígneos plu-



**Figura 6:** Diagrama de discriminación de procedencias sobre la base del análisis de los clastos de los conglomerados: a) % de clastos de granito rosa, granito gris y pegmatita vs. estaciones de conteo; b) % de clastos de pizarra, filita y esquistos vs. estaciones de conteo.

tónicos y escasos fragmentos volcánicos y sedimentarios (Fig. 6). Los líticos de metamorfismo de bajo grado son de pizarras y filitas, y se presentan muy angulosos y aplanados. Los fragmentos metamórficos de mediano a alto grado son es-

quistos, gneis y migmatitas, y presentan buen redondeamiento. Los líticos plutónicos son de granitoides (granitos, granodioritas y tonalitas, rosadas y blanquecinas) y pegmatitas con turmalina (Fig. 6a), y aparecen bien redondeados.



**Figura 7:** a) Diagrama ANK/ACNK, los datos caen en los granitoides peraluminosos; b) diagrama álcalis/sílice (en % en peso), en donde se muestra el carácter subalcalino; c) diagrama R1-R2 de La Roche *et al.* (1980), relacionado a un origen anatéctico; d) diagrama de Pearce *et al.* (1984), correspondiente al límite entre los campos de granito de arco e intraplaca.

### GEOQUÍMICA DE LOS CLASTOS DE CONGLOMERADOS

Las características geoquímicas de los clastos de granitos, granitoides, pegmatitas, esquistos y migmatitas de la Formación Angastaco, se destacan por su carácter peraluminoso ( $ANK/ACNK = 1,06$  a  $1,35$ ) (Fig. 7a, Cuadro 3). Los aquí considerados, en general exceden el límite de 1,1 de los granitos tipo I. En general, presentan contenidos altos en  $K_2O$  (4,2%), en relación con las rocas del arco magmático famatiniano y son comparables con cuerpos intrusivos que en las Sierras Pampeanas, presentan además características mineralógicas comunes y son clasificados como granitos de tipo S.

De acuerdo con los datos de elementos mayoritarios, las rocas contienen entre 62 y 77 % de  $SiO_2$  y entre 13 y 15 % de  $Al_2O_3$  (Cuadro 3). El diagrama álcalis/sílice indica que las muestras se encuadran en el campo subalcalino, correspondiendo a rocas granodioríticas y graníticas (Fig. 7b).

**CUADRO 3:** Análisis geoquímico de clastos de granitoides de la Formación Angastaco.

Elementos Mayores												
MN°	Litología	$SiO_2$	$TiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	MnO	MgO	CaO	$Na_2O$	$K_2O$	$P_2O_5$	
		wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	
4A	Granito	76,04	0,208	11,854	1,629	0,027	0,625	1,274	3,511	3,144	0,117	1,8
4B	Migmatita	66,22	0,788	14,718	5,183	0,086	1,616	2,728	2,661	4,134	0,214	1,69
4C	Pegmatita	66,08	0,479	14,825	4,988	0,091	0,805	5,368	3,329	2,994	0,135	1,23
4F	Granito	60,58	0,135	9,025	1,005	0,037	0,474	14,42	1,852	3,208	0,094	10,2
5A	Granito	72,81	0,622	13,055	4,391	0,092	1,9	0,871	2,369	2,775	0,155	1,26

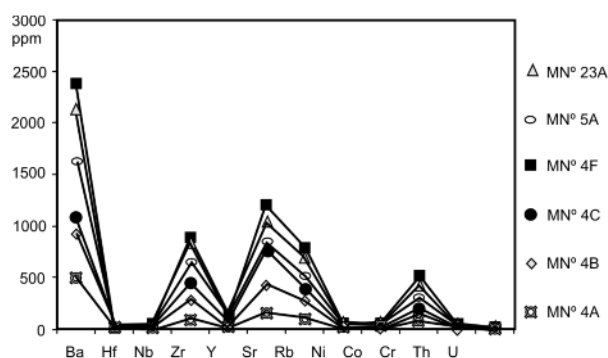
Elementos Trazas													
MN°	Litología	Ba	Hf	Nb	Zr	Y	Sr	Rb	Ni	Co	Cr	Th	U
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
4A	Granito	507	3	5	92	19	154	116	7	<5	90	7,3	0,6
4B	Migmatita	417	6	15	201	25	278	160	9	18	68	20,1	3,9
4C	Pegmatita	138	5	8	161	19	329	113	8	12	57	5,2	2,3
4F	Granito	261	<2	6	80	24	163	103	6	<5	86	3,1	1,6
5A	Granito	571	6	13	199	26	94	129	25	21	104	11	2,1

El diagrama R1-R2 de La Roche *et al.* (1980) indica que los cuerpos son de origen anatéctico relacionados a ambientes sincolisionales (Fig. 7c). Mientras que en el de ambientes tectónicos de Pearce *et al.* (1984), las muestras se localizan en el límite entre los campos de los granitos de arco y granitos de intraplaca sincolisiona-

les (Fig. 7d).

El bajo contenido en Sr, altos en Cr, Th y U (Fig. 8, Cuadro 3) son consistentes con la presencia de una importante componente cortical sedimentaria en la fuente de sus magmas (Coira *et al.* 1999). La relación Y/Th varía entre 1,17 y 2,51, siendo también indicativa de una fuente





**Figura 8:** Diagrama de multielementos normalizados al valor promedio de silicate *bulk earth* (McDonough 2004). Valores compatibles con granitos de retroarco.

sedimentaria para el magma (Fig. 8). Como no se cuenta con análisis de Eu no se pudo establecer su semejanza con granitoides del área que presentan dicha anomalía.

## DIFRACCIÓN DE RAYOS X EN ARCILLAS

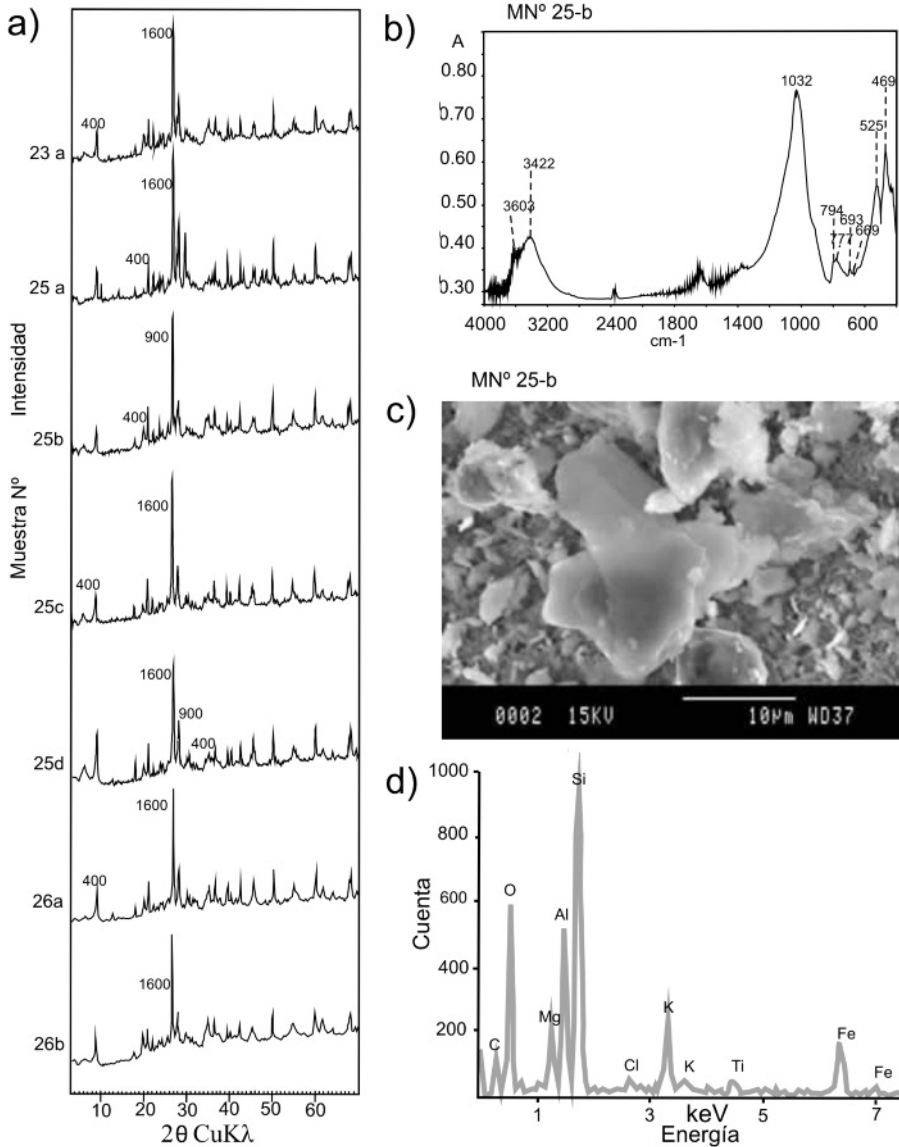
La asociación de minerales de arcilla, en depósitos que no han sufrido una importante diagénesis, es controlada por la litología del área de aporte, el ambiente deposicional, el paleoclima y por lo tanto condiciones edafológicas, entre otros factores (Inglés y Ramos Guerrero 1995). El proceso de meteorización fundamental para la formación de arcillas es la hidrólisis, la cual se ve favorecida por condiciones tales como la abundancia de minerales solubles, tamaño pequeño de los granos, la presencia de ácidos orgánicos, el buen drenaje y la alta temperatura y humedad que aceleran las reacciones (Scasso y Limarino 1997). La composición mineralógica de la fracción arcilla (< 2 mm) de la Formación Palo Pintado incluye: minerales no arcillosos como: cuarzo, moscovita, clinocloro, flogopita, calcita y albita y minerales del grupo de la arcilla como: illita, interstratificados de arcilla y montmorillonita (Fig. 9a). En los niveles basales estudiados predomina la illita, asociada a cuarzo y albita. En los niveles intermedios se encuentran interstratificados e illita, cuarzo y moscovita, mientras que hacia el techo se identifican illita-montmorillonita, cuarzo, albita y clinocloro (Fig. 9a). En base al resultado y análisis del espec-

tro de infrarrojo (IR) de una muestra (MN° 25 b) se refuerza la interpretación de que las arcillas interstratificadas sean del tipo esmectitas (Fig. 9b). Además sus propiedades morfológicas se observan en la microfotografía SEM con forma de tablas (Fig. 9c) apoyado por un diagrama EDS cuya composición predominante es de Si-Mg del mineral lo que indicaría que sería, al menos esta muestra analizada, una esmectita rica en magnesio.

## RESULTADOS

Las características petrográficas de las areniscas de la Formación Los Colorados (base del Grupo Payogastilla) revelan, en su gran mayoría, áreas fuentes de transición continental, las cuales están constituidas por rocas metamórficas de mediano a alto grado, que dan como resultado areniscas cuarzosas, con una alta relación  $Q_m/Q_p$  y menor proporción de  $FK$  vs.  $P$  (según conceptos de Dickinson 1985). Esta área fuente relacionada con direcciones de paleocorrientes desde el sur y suroeste estaría vinculada con esquistos, gneis y migmatitas. En el área fuente de los depósitos de la Formación Los Colorados participa también, en menor medida, la zona de orógeno reciclado, con paleocorrientes desde el sur y suroeste; y sobre la base del porcentaje de  $Q_m$  vs  $Lt$  (Cuadro 1) es interpretada como un orógeno cuarzoso ( $Q_m > Lt$ ) en donde granitoides dan este origen. Del análisis de la fracción conglomerádica, correspondiente a los depósitos de la sección superior de la Formación Los Colorados, se observa que predominan los clastos de peg-

matitas y granitos, siendo muy escasa la participación de migmatitas y esquistos (0-20 %) y casi nula de gneis, pizarras y filitas (Fig. 6a y b). Esta moda detrítica está asociada a direcciones de paleocorrientes provenientes del oeste y sur, que refleja un área fuente plutónica que podría derivar de los granitoides como del Complejo Eruptivo Oire (cumbres de Luracatao), granitoides ordovícicos como Granito La Angostura (cerro Durazno) y granitoides ordovícicos de la sierra de Quilmes, mientras que las metamórficas de alto grado procederían de la Formación La Paya (Precámbrico, cerro Durazno, sierra de Quilmes y sierra de Vázquez) (Fig. 10a). Durante el Mioceno medio, se habría acumulado la Formación Angastaco (~15-10 Ma) y en base al análisis petrográfico de sus depósitos, con direcciones de paleocorrientes desde el oeste, sureste y noroeste revelan procedencia de orógeno reciclado cuarzoso ( $Q_m > Lt$ ) en la base, lítico ( $Lt > Q_m$ ) en el tramo medio y cuarzoso en el techo. Los conglomerados de la Formación Angastaco presentan un mayor porcentaje de clastos de pizarras y filitas, expresados en cuatro picos máximos, de base a techo, desde 20 %, 40 %, 60 % hasta 80 % (Fig. 6b) y están asociados a direcciones de paleocorrientes desde el oeste y sur (Fig. 2), por lo que se estima una procedencia desde el sector septentrional de la sierra de Quilmes, en donde aflora la Formación Puncoviscana. Además presentan clastos de granito gris, granito rosa y pegmatita con una distribución constante, con direcciones de paleocorrientes desde el oeste, sur y sureste. El área de aporte se estima proveniente del granito La Angostura (cerro Runo), granito Pucará (cerro Durazno), Tonalita La Viña, el Plutón Cafayate (sierra de Quilmes) y granitoides de las cumbres de Luracatao (Fig. 6a y 10b). Los resultados geoquímicos de estos clastos de granitos, granitoides, pegmatitas, esquistos y migmatitas de la Formación Angastaco presentan filiación con los datos disponibles en la literatura de granitoides del arco magmático que constituyen la



**Figura 9:** a) Diagramas de difracción de rayos X de arcillas de la Formación Palo Pintado; b) IR Espectro de la fracción arcilla de la MN° 25-b; c) aspecto en tablas de las esmectitas de la Formación Palo Pintado; d) diagrama EDS del área de la imagen anterior mostrando predominantemente composición de Si-Mg del mineral.

Faja Eruptiva de la Puna Oriental y su continuación al sur con Pampeanas Occidentales. La Faja Eruptiva de la Puna Oriental (Complejo Eruptivo Oire) muestra características orogénicas tardías, con granitoides porfíroides y equigranulares, de carácter peraluminoso calcoalcalino (ASI = 1,1-1.7;  $K_2O > Na_2O$ , Toselli *et al.* 2002). En la sierra de Quilmes, el Granito Cafayate varía de tonalita gris verdosa a granodiorita y monzogranito rosa (Rapelá 1976) y los análisis químicos evidencia un carácter peraluminoso calcoalcalino

ASI = 1.0-1.3, Toselli *et al.* 2002). La Tonalita La Viña (noroeste de Cafayate) es de tipo calcoalcalina y se asocia con diques de pegmatitas, en donde se desarrollan fenómenos notables de metamorfismo de contacto (Oyarzabal 1988). En Cumbres Calchaquíes, los plutones famatinianos fueron intruidos siguiendo el lineamiento NO-SE conocido como megafactura Tafi y cuya composición varía de tonalita a granodiorita (Toselli *et al.* 1999). Los resultados de los elementos mayores muestran contenidos similares al

de rocas del borde oriental de la Puna (Faja Eruptiva de la Puna Oriental) y otros cuerpos intrusivos como Granito La Angostura y Pumayaco (Molinos, Becchio *et al.* 1999, Sola 2007) y Sierras Pampeanas (Poma *et al.* 2004) (Cuadro 3). En tanto que los valores totales de tierras raras muestran una filiación similar al de otras rocas félsicas del borde oriental de la Puna y Cumbres Calchaquíes (Becchio 2000) (Cuadro 3).

En el contacto entre las formaciones Angastaco y Palo Pintado se observa el máximo porcentaje de clastos de pizarra y filita y un decrecimiento notable de clastos de granito y pegmatita en los conglomerados (desde 55% hasta 0%, Fig. 6). Este intervalo está asociado a valores de paleocorrientes desde el sur y suroeste, que representan el máximo aporte de la Formación Puncoviscana producido probablemente en una etapa de reactivación tectónica de Cumbres Calchaquíes a los 10 Ma (Fig. 10 B).

En las acumulaciones correspondientes a la Formación Palo Pintado, en base a las características petrológicas de las areniscas, que indican un área de orógeno reciclado (tanto cuarzoso como lítico, Fig. 3b) mientras que, en los conglomerados se aprecia un nuevo aumento en el porcentaje de clastos de granito y pegmatita (desde 0 % hasta 60 %), derivados de granitoides y asociados a paleocorrientes predominantes del oeste y noroeste. Los clastos de areniscas rojizas se estiman pertenecientes a afloramientos del Grupo Salta (Cerro Colorado) que dan origen a la procedencia lítica sedimentaria.

La generación de minerales de arcilla alterados en forma incompleta, en los depósitos de la Formación Palo Pintado, como illita y esmectita se producen por bisialitización (hidrólisis) en climas templados-húmedos. Las arcillas formadas bajo estas condiciones, se producen en suelos principalmente por la degradación de minerales preexistentes. La mineralogía heredada inicial estaría constituida por los filosilicatos (illita, mica), cuarzo, feldespatos y la interacción de estos depósitos con aguas alcalinas sería responsable

de la formación autigénica de esmectitas (Pozo *et al.* 1995 a y b, Pozo y Casas Sainz 1995). La esmectita se encuentra en facies de lutitas verdes laminadas muy finas y con ondulitas asimétricas escalonadas que representan depósitos de llanura de fango en un medio reductor con encharcamiento somero prolongado (Pozo y Casas Sainz 1995).

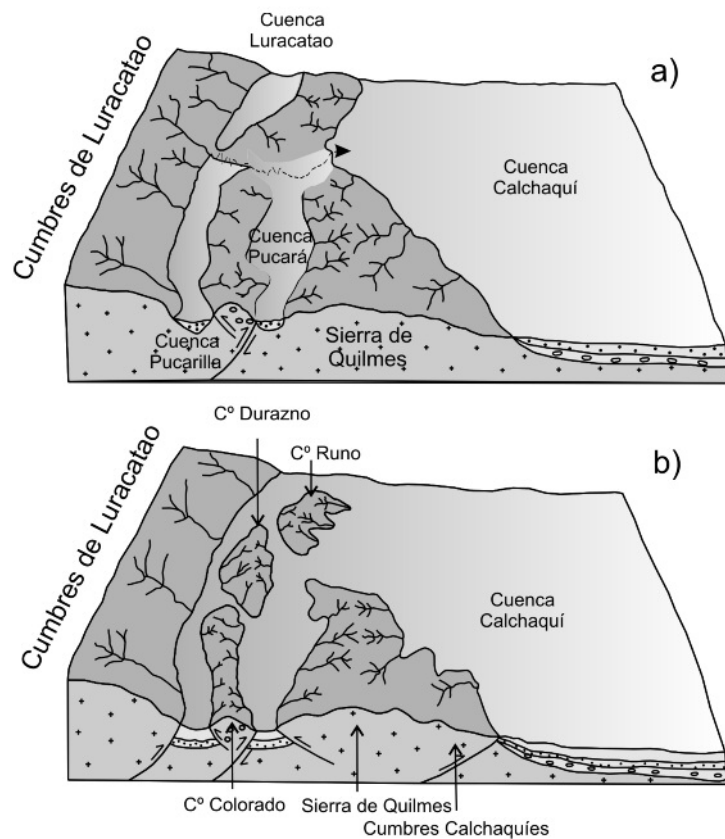
La illita y montmorillonita están presentes en casi todas las muestras analizadas y son interpretadas como de origen detrítico, pudiendo derivar de la meteorización física de pizarras y filitas (probablemente desde la Formación Puncoviscana, Fig. 9). El cuarzo, albita, moscovita y la flogopita son de origen detrítico de rocas del basamento tanto metamórfico como plutónico, mientras que el clinocloro habría derivado de rocas metamórficas de contacto (Formación La Paya -Neoproterozoico-, Tonalita Las Viñas-Cámbrico-Ordovícico; Granitos Alto del Cajón-Ordovícico Superior-Silúrico; Granito Pucará -Ordovícico-, Figs. 9 y 10).

## CONCLUSIONES

Los datos que surgen del estudio petrográfico de las modas detríticas del conteo de clastos de las facies psamíticas y conglomerádicas y del análisis por difracción de rayos X en facies de arcillitas de los depósitos del Grupo Payogastilla, permiten inferir una variada área de aporte de los materiales.

Los depósitos del Grupo Payogastilla se han desarrollado en una cuenca de antepaís cuya configuración ha sido el resultado directo de la inversión tectónica de la cuenca de rift del Grupo Salta (Cretácico-Paleógeno).

En el Eoceno medio a superior, la composición detrítica de los depósitos de la Formación Los Colorados, refleja la vinculación de los materiales con los granitoides provenientes de cumbres de Luracatao, sierra de Quilmes y cerro Durazno, que se estima habrían conformado un área positiva incipiente heredada de la inversión tectónica de la antigua subcuenca (Pucará) de rift del Grupo Salta,



**Figura 10:** Blocks diagrams esquemáticos de la evolución topográfica de las áreas de aporte de la cuenca de Angastaco desde el inicio de la cuenca del Grupo Payogastilla: a) Esquema evolutivo desde el Eoceno medio hasta los 10 Ma; b) esquema evolutivo entre los 10 Ma y 5 Ma.

que dividía, al menos parcialmente, la cuenca del Valle de Pucará (al este) y Valle de Pucará (al oeste). Consideramos que la cumbre de Luracatao era un área positiva ya para el tiempo de depósito del Grupo Salta (Cretácico Superior-Paleoceno) y también tectónicamente activa para el tiempo de sedimentación de la base del Grupo Payogastilla (Eoceno medio a superior), como lo determina Payrola Bosio *et al.* (2009) para el valle de Luracatao.

Durante el Mioceno medio, tiempo de depósito de la Formación Angastaco (~15-10 Ma) los datos petrográficos indican una amplia distribución de procedencia (orógeno reciclado cuarzoso a lítico, arco transicional y transición continental) desde granitoides ordovícicos y abundante producción de clastos metamórficos de bajo grado (Formación Puncoviscana) y mediano a alto grado (Formación La Paya), siendo muy abundantes en el contacto con la Formación Palo Pintado. Estos datos asociados a los resultados de elementos mayores y trazas con filiación si-

milar a rocas del borde oriental de la Puna (Complejo Eruptivo Oire) y Sierras Pampeanas han sido interpretados como provenientes desde el cerro Runo, cerro Durazno, sierra de Quilmes que habrían tenido conexión hidrológica con las cumbres de Luracatao.

Entre los 13 y 10 Ma no existía una división total de las cuencas de Pucará (oeste) y Angastaco (este), parte del intervalo de tiempo de depósito de la Formación Angastaco, sino que el cerro Runo y cerro Durazno conformaron incipientes barreras orográficas que aportaban depósitos a la cuenca con conexión parcial entre ambos depocentros.

A partir de los 10 Ma y hasta los 5 Ma, coincidente con un cambio climático que favoreció la formación de arcillas como esmectitas, el área fuente de detritos habría sido de un orógeno reciclado cuarzoso a transicional, con clastos de conglomerados de granitos grises, rosados y pegmatitas de edad ordovícicas, provenientes de cerro Runo, cerro Negro y cerro Durazno, con menor participación de



rocas de la Formación Puncoviscana. Los minerales de arcilla, como illita y esmectita, han sido generados por hidrólisis en un clima templado-húmedo. Algunas esmectitas identificadas ricas en magnesio son interpretadas como producto de la alteración de depósitos piroclásticos asociados. La formación de illita y esmectita, para el tiempo de depósito de la Formación Palo Pintado, nos indica un cambio climático importante entre los 10 y 5 Ma. En el área de estudio, los líticos volcánicos son muy escasos, presentes como granos en las areniscas y clastos en los conglomerados de las formaciones Los Colorados y Angastaco y se estima que pueden provenir de la zona del Complejo Volcánico Cerro Tipillas-Pucarilla o de centros volcánicos más antiguos erosionados. En cuanto a los clastos de areniscas rojizas, también escasos, son de origen del Grupo Salta provenientes de la zona del Cerro Colorado.

#### AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue financiado con los subsidios de los Proyectos de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Jujuy (SECTER-UNJu) y al Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta (CI-UNSa 1858). Deseamos agradecer al Dr. Marcelo Manassero y al árbitro anónimo por las sugerencias realizadas en este artículo.

#### TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Aceñolaza, F.G. y Toselli, A. 1976. Consideraciones estratigráficas y tectónicas sobre el Paleozoico inferior del Noroeste Argentino. 2° Congreso Latinoamericano de Geología, Actas 2: 755-763, Caracas
- Basu, S.W., Young, L.J., Suttner, J. C. y Mack, G.H. 1975. Re-evaluation of the use of oscillatory extinction and polycrystallinity in detrital quartz for provenance interpretation. *Journal of Sedimentary Petrology* 45(4): 873-882.
- Becchio, R., Luchasen, F., Franz, G., Viramonte, J.G. y Wemmer, K. 1999. El basamento Paleozoico Inferior del Noroeste de Argentina (23° - 27° S). *Metamorfismo y Geocronología*. En Bonorino, G., Omarini, R., Viramonte, J. (eds.) *Geología del Noroeste Argentino, Relatorio, 14° Congreso Geológico Argentino (Salta)*, Actas 1: 58-72.
- Becchio, R. 2000. *Petrología y geoquímica del basamento del borde oriental de la Puna Austral*. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Salta (inédito), 235 p. Salta.
- Brackebusch, L. 1883. *Estudio sobre la Formación Petrolífera de Jujuy*. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba Boletín 2: 137-184, Córdoba.
- Chamley, H. 1989. *Clay sedimentology*, Springer-Verlag: 623 p., New York.
- Comité Argentino de Estratigrafía 1992. *Código Argentino de Estratigrafía*. Asociación Geológica Argentina, Serie B, Didáctica y Complementaria 20: 1-64 p.
- Coira, B., Toselli, A.J., Koukharsky, M., Rossi de Toselli, J.N. y Kay, S. 1999. Magmatismo fiamatiniano. En Bonorino, G., Omarini, R. y Viramonte J. (eds.) *Geología del Noroeste Argentino. Relatorio, 14° Congreso Geológico Argentino, Actas 1*, 189-211, Salta.
- Coutand, I., Carrapa, B., Deeken, A., Schmitt, A., Sobel, E. y Strecker, M. 2006. Propagation of orographic barriers along an active range front: Insights from sandstone petrography and detrital apatite fission-track thermochronology in the intramontane Angastaco basin, NW Argentina. *Basin Research* 18: 1-26.
- del Papa, C.E., Hongn, F.D., Petrinovic, I.A. y Domínguez, R. 2004. Evidencias de deformación pre-miocena media asociada al antepaís andino en la Cordillera Oriental (24° 35' S - 66° 12' O). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 59(3): 506-509.
- Díaz, J. y Malizzia, D. 1983. *Estudio Geológico y sedimentológico del Terciario Superior del Valle Calchaquí (departamento de San Carlos, Salta)*. *Boletín Sedimentológico* 2(1): 8-28, Tucumán.
- Díaz, J., Malizzia, D. y Bossi, G. 1987. Análisis estratigráfico del Grupo Payogastilla, 10° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 113-116, Tucumán.
- Díaz, J., Miserendino, A. y Esteban, G. 1989. *Edad y Fósiles del Grupo Payogastilla, Valle Calchaquí, Salta, Republica Argentina*. 8° Congreso Geológico de Bolivia, Actas 1: 309-326, La Paz.
- Dickinson, W.R. 1970. Interpreting detrital modes of graywacke and arkose: *Journal of Sedimentary Petrology* 40(2): 695-707,
- Dickinson, W.R. 1985. Interpreting provenance relations from detrital models of sandstone. En Zuffa, G. (ed.) *Provenances of arenitas*, Reidel Publishing Company, Serie 148: 333-361.
- Dickinson, W.R. y Suczek, C.A. 1979. Plate tectonics and sandstone compositions, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 63: 2164-2182.
- Dickinson, W.R., Beard, L. S., Brakwring, G.R., Erjavec, J.L., Ferguson, R.C., Inman, K.F., Knepp, R.A., Lindberg, F.A. y Ryberg, P.T. 1983. Provenances of North American Phanerozoic sandstones in relations to tectonic setting. *Geological Society of America Bulletin* 94: 222-235.
- Di Giulio, A. y Valloni, R. 1992. Sabbie e areniti, analisi ottica e classificazione: *Analisi microscópica delle areniti terrigene: Parametri metrologici e composizionali*. *Acta Naturalia Ate-neo Parmense* 28: 55-101.
- Fernández Marcos, M., Macías Vázquez, F. y Gitan Ojea, F. 1979. A contribution to the study of the stability of clay minerals from the soil solution composition at different pH values. *Clay Minerals* 14: 29-73.
- Farmer, V.C. 1974. *The Infrared Spectra of Minerals*. Mineralogical Society, 427 p., London.
- Folk, R.L., 1968. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill Book Store, 182 p., Austin.
- Galli, C.I., Ramírez, A., Barrientos, C., Reynolds, J., Viramonte, J.G. y Idleman, B. 2008. *Estudio de proveniencia de los depósitos del Grupo Payogastilla (Mioceno Medio-Superior) aflorantes en el río Calchaquí, provincia de Salta, Argentina*. 17° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 353-354, Jujuy.
- Gazzi, P., Zuffa, G.G., Gandolfi, G. y Paganelli, L. 1973. Provenienza e dispersione litoranea delle sabbie delle spiagge adriatiche fra le foci dell'Isonzo e del Foglia: *inquadramento regionale: Societa Geologica Italiana, Memorie* 12: 1-37.
- Grier, M.E. 1990. The influence of the Cretaceous Salta rift basin on the development of Andean structural geometries, NW Argentine Andes. Tesis doctoral, University of Cornell, (inédito), 178 p., Ithaca.
- Grier, M.E. y Dallmeyer, R.D. 1990. Age of the

- Payogastilla Group. Implications for foreland basin development, NW Argentina, *Journal of South American Earth Sciences* 4(4): 351- 372.
- Guzman, S. 2009. Petrología y relaciones tectono-magmáticas del Complejo volcánico Pucarrilla-Cerro Tipillas, provincia de Salta. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Salta, (inédito), 220 p., Salta.
- Hongn, F. y Seggiaro, R. 2001. Hoja Geológica 2566-III, Cachi. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina, Boletín 248: 87 p., Buenos Aires.
- 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. y Suczek, C.A. 1979. Plate tectonics and sandstone compositions. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 63: 2164- 2182.
- Ingersoll, R.I., Bullard, T.F., Ford, R.L., Grimm, J.P., Picle, 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(1): 103-116.
- Inglés, M. y Ramos Guerrero, E. 1995. Sedimentological control on the clay mineral distribution in the marine and non marine Paleogene deposits of Mallorca (Western Mediterranean). *Sedimentary Geology* 94: 229-243.
- La Roche, H., Leterrier, J., Grandclaude, P y Marchal, M. 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1 R2 diagram and major - element analyses- its relationships with current nomenclature. *Chemistry Geology* 29:183-210.
- McDonough, W. F. 2004. Compositional model for the Earth's core. En Carlson R.W. (ed.) *Treatise on Geochemistry, Geochemistry of the Mantle and Core*, 2: 547-568, Elsevier, New York.
- Oyarzabal, F. 1988. Geología del Basamento Cristalino del Extremo Noreste de la Sierra de Quilmes, Salta. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Tucumán, (inédito), 180 p., Salta.
- Payrola Bosio, P., Powell, J., del Papa, C. y Hongn, F. 2009. Middle Eocene deformation-sedimentation in the Luracatao Valley: tracking the beginning of the foreland basins of northwestern Argentina. *Journal of South America Earth Sciences* 28:142-154.
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W. y Tindle, A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of the granite rocks. *Journal of Petrology* 25(4): 956-983
- Pereyra, R., Bechio, R., Viramonte, J.G. y Pimentel, M. 2008. Minerales pesados en depósitos piroclásticos de caída distales, su uso en la correlación crono-estratigráfica entre la Formación Angastaco (Grupo Payogastilla) y Formación Anta (Grupo Orán). 17° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 227-228, Jujuy.
- Pettijohn, F.J. 1957. *Sedimentary Rocks*. Harper, 2ª edición, 718 p., Nueva York.
- Pettijohn, F., Potter, P.E. y Siever, R. 1973. *Sand and Sandstones*: Springer Verlag, 618 p., New York.
- Poma, S., Quenardelle, S., Litvak, V., Maisonnave, E. B. y Koukharsky, M. 2004. The Sierra de Macon, Plutonic expression of the Ordovician magmatic arc, Salta Province, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 16(7): 587-597.
- Pozo, M. y Casas Sainz, J. 1995. Distribución y caracterización de litofacies en el yacimiento de arcillas magnéticas de Esquivias (Neógeno de la cuenca de Madrid). *Boletín Geológico y Minero* 106(3): 265-282.
- Pozo, M., Casas Sainz, J., Medina, J.A., Moreno, A., Martín Rubi, J.A. 1995a. Mineralogénesis de zeolitas en facies lacustres-palustres con arcillas magnéticas de la cuenca de Madrid. *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía* 18(2): 7-8.
- Pozo, M., Casas Sainz, J., Moreno, A. y Martín Rubi, J.A. 1995b. Sedimentología y geoquímica de litofacies lacustres en el sector de Pinto (Cuenca de Madrid). Simposio sobre el PICG 324. 13° Congreso Español de Sedimentología, Comunicaciones: 159-160, Teruel.
- Rapela, C. 1976. Las rocas granitoides de la región de Cafayate. Provincia de Salta. Aspectos petrográficos y geoquímicos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 31(4): 260-278.
- Russo, A. 1948. Levantamiento geológico de la cuenca del río Calchaquí, Departamento Molinos, provincia de Salta: Yacimientos Petrolíferos Fiscales, Buenos Aires, Informe Interno (inédito), PAGINAS?, Buenos Aires.
- Salfity, J.A. y Marquillas, R.A. 1994. Tectonic and sedimentary evolution of Cretaceous-Eocene Salta Group basin, Argentina. En Salfity J.A. (ed.). *Cretaceous Tectonics of the Andes, Earth Evolution Sciences*, Friedr, Vieweg and Sohn: 266-315, CIUDAD?
- Salfity, J.A. y Monaldi, C.R. 2006. Hoja Geológica 2566-IV, Metán. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina. Boletín 319, 74 p., Buenos Aires.
- Scasso, R.A. y Limarino, C.O. 1997. Petrología y Diagénesis de Rocas Clásticas. Asociación Argentina de Sedimentología. Publicación Especial 1, 258 p., Buenos Aires.
- Sola, A.M. 2007. Magmatismo granítico en el extremo norte de la sierra de Molinos. Paleozoico inferior. Leucogranito Pumayaco. Salta. Tesis profesional, Universidad Nacional de Salta, (inédito), 81 p., Salta.
- Starck, D. y Vergani, G. 1996. Desarrollo Tectosedimentario del Cenozoico en el sur de la provincia de Salta, Argentina. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Acta 1: 433-452, Buenos Aires.
- Toselli, A.J., López, J.P. y Sardi, F.G. 1999. El basamento metamórfico en cumbres Calchaquíes Noroccidentales, Aconquija, Ambato y Ancasti: Sierras Pampeanas. En González Bonorino, G., Omarini R. y Viramonte J. (eds.) *Geología del Noroeste Argentino*, 14° Congreso Geológico Argentino, Relatorio 1: 73-79, Salta.
- Toselli, A.J., Sial, A.J. y Rossi, J.N. 2002. Ordovician Magmatism of the Sierras Pampeanas, Sistema de Famatina and Cordillera Oriental, NW of Argentina. En Aceñolaza, F.G. (ed.) *Aspects of the Ordovician System in Argentina*, INSUGEO, Serie Correlación Geológica 16: 313-326.
- Turner, J.C. 1959. Estratigrafía del cordón de Escaya y de la sierra de Rinconada (Jujuy). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 14(10): 15-39.
- Turner, J.C. y Mon, R. 1979. Cordillera Oriental. 2° Simposio Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias de Córdoba 41(2): 163-169.
- Vilela, C. y García, J. 1978. Descripción geológica de la hoja 9e Amblayo, provincia de Salta. Carta Geológica-Económica de la República Argentina. Escala 1: 200.000. Servicio Geológico Nacional, Buenos Aires, Boletín 150, 66 p., Buenos Aires.

Recibido: 6 de septiembre, 2010.

Aceptado: 4 de febrero, 2011.