

RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS DE LAS FORMACIONES QUEBRADA DE LOS COLORADOS Y ANGASTACO (PALEÓGENO-NEÓGENO), VALLES CALCHAQUÍES, SALTA (ARGENTINA): SIGNIFICADO EN EL ANÁLISIS DE LA CUENCA DEL GRUPO PAYOGASTILLA

*Cecilia DEL PAPA*¹, *Fernando HONGN*², *Patricio PAYROLA BOSIO*², *Jaime POWELL*³,
*Virginia DERACO*³ y *Claudia HERRERA*³

¹ CICTERRA, CONICET-Universidad Nacional de Córdoba. Av. Vélez Sarsfield 1611, X5016GCA Córdoba, Argentina. delpapacecilia@yahoo.com

² IBIGEO, CONICET-Universidad Nacional de Salta. Mendoza 2, 4400 Salta, Argentina. fhongn@aol.com; ppayrola@hotmail.com

³ CONICET-Universidad Nacional de Tucumán. Miguel Lillo 205, 4000 San Miguel de Tucumán, Argentina. jpowell@csnat.unt.edu.ar; virginia_deraco@yahoo.com.ar, claucordoba@hotmail.com

Resumen: El Grupo Payogastilla representa el registro sedimentario de la cuenca de antepaís andina en los Valles Calchaquíes. La Formación Quebrada de los Colorados, unidad basal, es de singular importancia debido a que preserva evidencias de los primeros episodios de contracción con deformación intracuenal, cambios en las áreas de aporte y asociaciones de fósiles que la datan paleógena pre-oligocena, hecho que llevó a replantear el modelo de cuenca de antepaís propuesto para el Noroeste argentino. Asimismo, la suprayacente Formación Angastaco, además de contener similar registro tectono-sedimentario, documenta el inicio del magmatismo en el borde oriental de la Puna. Los recientes trabajos de investigación llevados a cabo en estas unidades han permitido identificar y mapear superficies de discontinuidad sedimentaria, incluso de discordancias que obligan a modificar el cuadro estratigráfico existente. En la presente contribución se describen las relaciones estratigráficas de la Formación Quebrada de los Colorados con el objetivo de actualizar el conocimiento sobre la misma y discutir el esquema estratigráfico actualmente vigente. Esta formación se asienta en relación de discordancia y de disconformidad sobre las Formaciones Lumbrera, Maíz Gordo y Mealla (Subgrupo Santa Bárbara) y sobre el Subgrupo Pírgua, del Grupo Salta. Asimismo, se describe y discute el alcance de la identificación de una discontinuidad sedimentaria intra-Quebrada de los Colorados, señalada por el cambio abrupto de facies sedimentarias y la presencia de una superficie de meteorización con desarrollo de una calcreta. Esta superficie separa una sucesión netamente fluvial de otra fluvio-eólica con características sedimentarias distintivas. Por último, se describen las relaciones de transición y de concordancia entre la sucesión fluvio-eólica con la suprayacente Formación Angastaco. En base a estas relaciones se propone redefinir la Formación Angastaco con la incorporación de la sucesión fluvio-eólica con el rango de Miembro Tin Tin y retomar la definición original del Miembro Las Flechas. Finalmente y en base la nueva información disponible se propone a la quebrada Grande (área de cerro Tin Tin) como hipoestratotipo para la Formación Quebrada de los Colorados, localidad que servirá como complemento de las descripciones originales.

Palabras clave: Discordancias, Hipoestratotipo, Eoceno, Cuenca de antepaís, Noroeste argentino.

EXTENDED ABSTRACT

Stratigraphic relationship between the Quebrada de los Colorados and Angastaco Formations (Paleogene-Neogene), Calchaquies Valleys, Salta (Argentina): its significance in the analysis of the Pallogastilla Group basin

The sedimentary record of the Andean orogenic basins in the Calchaquies Valleys (Fig. 1), consists of nearly 6000 m of an overall coarsening and thickening upward clastic succession (Díaz and Malizzia, 1983) known as the Payogastilla Group. The Payogastilla Group is composed of the Quebrada de los Colorados, Angastaco, Palo Pintado and San Felipe Formations (Díaz and Malizzia, 1983; Díaz *et al.*, 1987 - see Fig. 2). Our investigation and previous research in the Quebrada de los Colorados Formation (e.g. Galli and Hernández, 1999; Coutand *et al.*, 2006; Carrapa *et al.*, 2011a,b; Galli *et al.*, 2011) allowed the identification of several unconformity surfaces, including an angular relationship between the Quebrada de los Colorados Formation and the underlying Salta Group. Moreover, the identification of an intra-formational unconformity led us to the reconsideration of the stratigraphic scheme of the Payogastilla Group. Here, we address the regional stratigraphic relations of the Quebrada de los Colorados Formation, the lower unit of the Payogastilla Group, in order to update the knowledge and to discuss the validity of the present stratigraphic framework.

Along the Calchaquies Valleys, the Quebrada de los Colorados Formation rests on different units of the Salta Group. The more frequent relation is with the uppermost unit, the Lumbrera Formation (Fig. 3), but in some areas, for example at Saladillo, the Quebrada de los Colorados Formation rests in angular relationship on the Maíz Gordo Formation (del Papa *et al.*, 2004), as in the Esquina Azul locality (Fig. 4). In the cerro Bayo site, the Quebrada de los Colorados Formation lies also upon the Maíz Gordo Formation but few meters laterally directly overlays the Mealla Formation (Figs. 2 and 4). In other places, like in the Pucará valley (Fig. 1), the Quebrada de los Colorados overlays the Pirgua Subgroup (Villanueva García, 1992; Sabino, 2004). These variable stratigraphic relationships are key features that document the tectonic inversion of the Salta Group contemporaneous with the Quebrada de los Colorados sedimentation.

The Quebrada de los Colorados Formation consists of red fine-grained floodplain facies and sandy to gravelly clastic fluvial channels facies (Fig. 6). The original description of this unit includes an eolian succession in the upper section (Díaz and Malizzia, 1983). In some localities, like at Tin Tin and Tonco (Fig. 1), the eolian and fluvio-eolian successions have thicknesses ranging from 450 to 600 m (Starck and Vergani, 1996; del Papa *et al.*, 2013) representing a very distinctive erg record. The contact with the underlying fluvial deposits is sharp and a calcrete paleosol (Fig. 5) is locally recognized suggesting the presence of an unconformity within the Quebrada de los Colorados Formation. Moreover, this fluvio-eolian succession has a transitional contact with the overlying fluvial conglomeratic facies of the Angastaco Formation. This stratigraphic relation suggests that the former could be formally included within the Angastaco Formation. Thus we propose a redefinition of the Angastaco Formation (Díaz and Malizzia, 1983; *nom. transl.* Díaz *et al.*, 1987); including the fluvio-eolian succession as the basal Tin Tin Member and to return to the previously defined Las Flechas Member. We propose the Tin Tin area (25°13'51.6" Lat. S and 66°00'58.5" Log. W - 25°16'12" Lat. S and 66°2'39.45" Log. W) as stratotype area (Fig. 7). In this locality, pale red silty sandstones to siltstones overlie coarse conglomeratic strata (Figs. 5 and 6) and are overlain by white eolian sandstones that grade to gray conglomeratic strata of the Angastaco Formation *sensu* Díaz and Malizzia (1983). The age of the Tin Tin Member is considered late Oligocene to early Miocene according to the 21 Ma U/Pb zircon datings (Carrapa *et al.*, 2011a; del Papa *et al.*, 2013).

Finally we propose the Quebrada Grande locality (25°12'59.1" Lat. S and 66°01'33.1" Log. W), along state route N° 42, Tin Tin area, Calchaquí Valley (Fig. 7) as hypostratotype of the Quebrada de los Colorados Formation. In this locality, this unit rests unconformably, and locally through an angular unconformity, on the Lumbrera Formation (Salta Group, Figs. 2, 3 and 4). In this area the formation is 792 m thick and is characterized by two coarsening upward successions of red siltstone, lenticular to shallow lenticular coarse sandstones and horizontally stratified conglomerates (Fig. 5). Based on mammalian biostratigraphy recorded at sites in Cerro Bayo, Tin Tin and Luracatao (Fig. 1) the age of the Quebrada de los Colorados Formation is

Casamayoran (sub-age Barrancan), SALMA, suggesting a Middle Eocene age for the basal levels (Powell *et al.*, 2011).

In summary, we propose that the fluvio-eolian section of the Quebrada de los Colorados Formation should be incorporated into the Angastaco Formation, as the Tin Tin Member. This modification will simplify recognition in the field, mapping, and genetic interpretation of these foreland basin deposits.

Key words: Angular unconformity, Hypostratotype, Eocene, Foreland basin, Northwestern Argentina.

INTRODUCCIÓN

El registro de las cuencas orogénicas andinas en los Valles Calchaquies (Fig. 1) está representado por espesas sucesiones (más de 6000 m) de sedimentos clásticos con un arreglo general grano-estrato creciente (Díaz y Malizzia, 1983). Los ambientes sedimentarios, en concordancia con este arreglo, varían desde llanuras fangosas asociadas a ríos meandriformes, a sistemas fluviales entrelazados areno-gravosos, complejos de dunas, lagos someros y abanicos aluviales proximales (Díaz *et al.*, 1987; Galli y Hernández, 1999; Coutand *et al.*, 2006; Carrapa *et al.*, 2011a; Galli *et al.*, 2011).

Las primeras menciones de los depósitos terciarios en los Valles Calchaquies corresponden a Brackebush (1883). Posteriormente Stelzner (1885) propone la primera subdivisión en Estratos de Santa María, Estratos Calchaqueños y Estratos Araucanos. A estos trabajos pioneros siguieron numerosas contribuciones: Russo (1948), Mauri (1948), Vilela (1954) y Vilela y García (1978), Camacho de Alcalde (1977), Russo y Serraiotto (1978) en las que se formulaban distintos esquemas y denominaciones estratigráficas. Finalmente los trabajos de Díaz y Malizzia (1983), Díaz (1987) y Díaz *et al.* (1987) propusieron un esquema estratigráfico formal, basado parcialmente en la nomenclatura previamente utilizada por Mauri (1948) que rige hasta la fecha. En el mismo se identifica al Grupo Payogastilla formado, de base a techo, por las formaciones Quebrada de los Colorados, Angastaco, Palo Pintado y San Felipe (Fig. 2).

Inicialmente, Díaz y Malizzia (1983) reconocieron a la Formación Quebrada de los Colorados con el rango de Miembro basal de la Formación Angastaco. De modo, que esta unidad estaba forma-

da originalmente por los miembros: Quebrada de los Colorados y Las Flechas (Fig. 2). En estudios posteriores, Díaz *et al.* (1987) reconsideraron a la Formación Angastaco y propusieron asignar al Miembro Quebrada de los Colorados el rango de Formación y eliminar al Miembro Las Flechas. De esta forma la nueva Formación Quebrada de los Colorados representa la unidad basal del Grupo Payogastilla (Fig. 2).

La Formación Quebrada de los Colorados preserva evidencias de deformación tectónica contemporánea con la sedimentación; a lo cual se suma el reciente hallazgo de vertebrados que han permitido proponer nuevos modelos sobre la evolución de la cuenca de antepaís paleógena asociada al orógeno andino (Hongn *et al.*, 2007, 2011; Payrola Bosio *et al.*, 2009, 2010; Carrapa *et al.*, 2011a,b; del Papa *et al.*, 2013). Como resultado de los trabajos de investigación desarrollados en las Formaciones Quebrada de los Colorados y Angastaco, así como de los antecedentes presentados por otros grupos de investigación (Coutand *et al.*, 2006; Carrapa *et al.*, 2011a,b; Galli *et al.*, 2011) se reinterpretaron los contactos y relaciones estratigráficas entre estas unidades. La presente contribución tiene por finalidad realizar una actualización del conocimiento de la Formación Quebrada de los Colorados que involucra exponer las diferentes relaciones de contacto estratigráfico y discutir la validez de esta unidad tal cual fuera definida por Díaz y Malizzia (1983) y Díaz *et al.* (1987). La génesis de las formaciones Quebrada de los Colorados y Angastaco asociadas al levantamiento andino las convierten en marcadores geológicos de importancia en el Noroeste argentino, de allí la necesidad de contar con criterios adecuados para su identificación y mapeo.

LA FORMACION QUEBRADA DE LOS COLORADOS

Esta unidad fue originalmente definida por Díaz y Malizzia (1983); *nom. transl.* Díaz *et al.*, (1987) en la quebrada Los Colorados ubicada sobre el flanco oriental del extremo norte de la de la sierra de Cajón e inmediatamente al sud-sudoeste de la localidad de Angastaco (Fig. 1), donde se midió un espesor de 300 metros. En esta localidad, el basamento monta mediante una falla inversa con buzamiento al sudoeste a la Formación Quebrada de los Colorados. El contacto del techo si bien de carácter estratigráfico

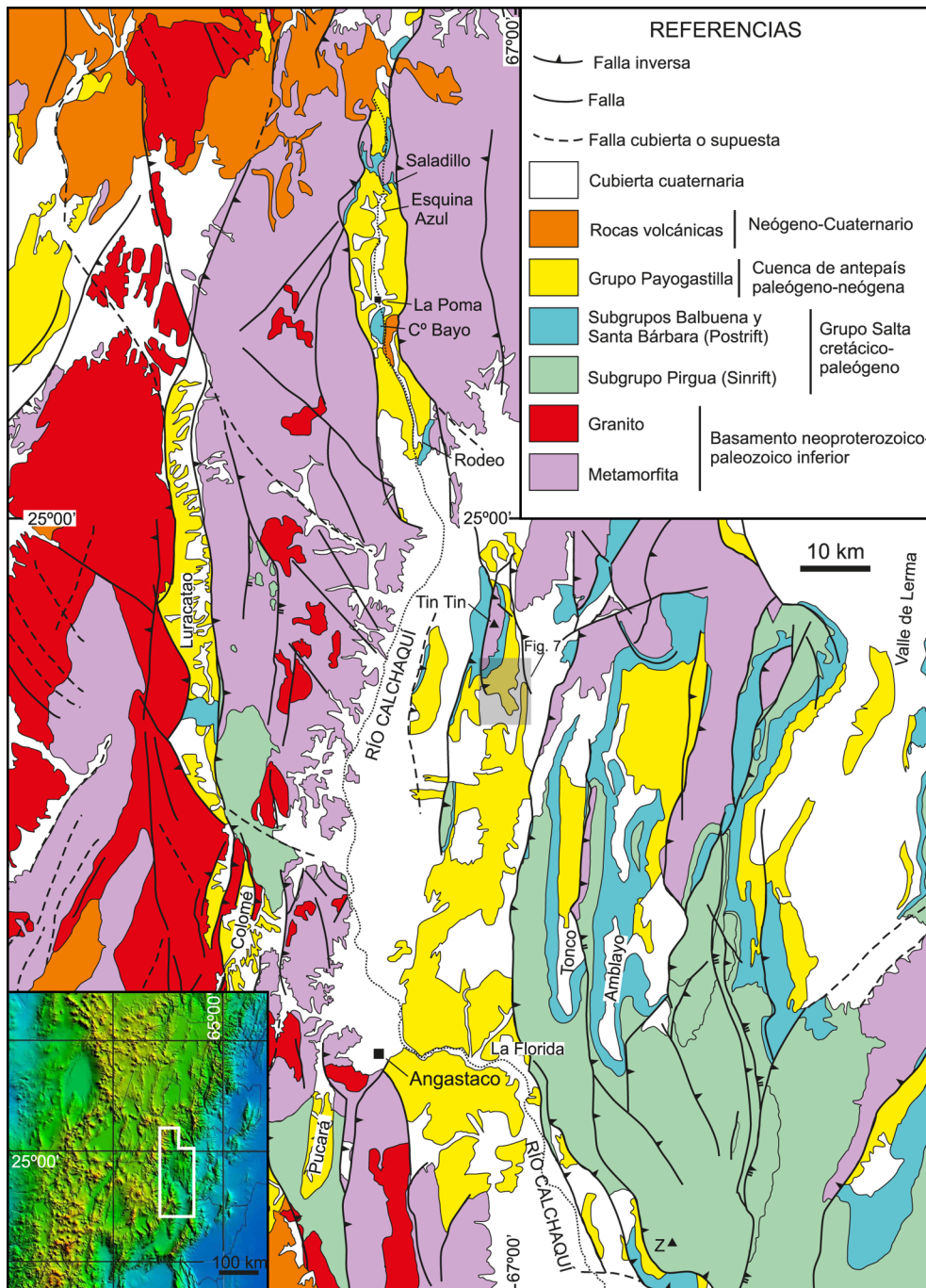


Figura 1. Mapa geológico del Valle Calchaquí y áreas vecinas mostrando la distribución del Grupo Payogastilla. Compilado y simplificado de mapas 1:250.000 (Blasco *et al.*, 1996; Hongn y Seggiaro, 2001; Salfity y Monaldi, 2006).

Figure 1. Geological map of the Calchaquí Valley and neighboring areas. Simplified from 1:250,000 scale maps from Blasco *et al.* (1996); Hongn and Seggiaro (2001); Salfity and Monaldi (2006).

normal, también se encuentra afectado por fallas. Por lo tanto, el espesor original mencionado representa sólo un valor parcial, y el mismo razonamiento se aplica para las relaciones de facies sedimentarias y ambientes.

El ambiente sedimentario fue interpretado como continental fluvial, con probable desarrollo de albarrones y planicies de inundación con formación de suelos y desarrollo de dunas de origen eólico (Díaz y Malizzia, 1983; Díaz *et al.*, 1987). Ante la

falta de registro fósil y de dataciones radiométricas, Díaz y Malizzia (1983) le asignaron tentativamente una edad premiocena media a partir de la relación estratigráfica con la Formación Angastaco.

Los trabajos realizados en la Formación Quebrada de los Colorados en el Valle Calchaquí y en los valles Tonco y Luracatao (Fig. 1) han permitido definir las relaciones estratigráficas de la base y del techo, completar las características litológicas y ambientes sedimentarios y la edad.

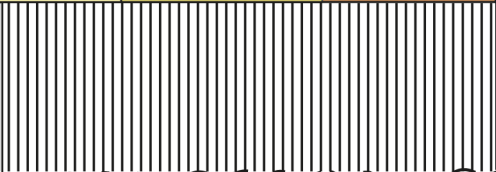



				Díaz y Malizzia (1983)	Díaz, Malizzia y Bossi (1987)	este trabajo	
Cuaternario	Pleistoceno		PAYOGASTILLA	Depósitos aluviales/volcánicos			
	Neógeno	Plioceno		San Felipe		San Felipe	San Felipe
Mioceno		Palo Pintado		Palo Pintado	Palo Pintado		
	Angastaco	Mb.Las Flechas		Angastaco	Angastaco	Mb.Las Flechas	Mb. Tin Tin
Mb. Quebrada de los Colorados		Quebrada de los Colorados		Quebrada de los Colorados			
Paleógeno	Oligoceno						
	Eoceno						
	Paleoceno						
							
Sist.	Epoca	Gr.		Sbgr	Formación		

Figura 2. Cuadro estratigráfico del Cenozoico en el Valle Calchaquí y evolución histórica de la nomenclatura del Grupo Payogastilla.

Figure 2. Stratigraphic chart of the Cenozoic of the Calchaquí Valley and the historical evolution of the nomenclature of the Payogastilla Group.

Relaciones Estratigráficas de la Base

La Formación Quebrada de los Colorados se asienta en relación de discontinuidad estratigráfica, e incluso localmente de discordancia, sobre distintas unidades del Grupo Salta. La relación más frecuente es con la Formación Lumbrera (Fig. 3) pero en determinadas localidades del Valle Calchaquí, como por ejemplo, en la localidad de Saladillo (Fig. 4) se superpone directamente a la Formación Maíz Gordo con diferencias de 15°-20° en el buzamiento de las unidades. A su vez, las capas de la Formación Quebrada de los Colorados se disponen en relación de *onlap* sobre la superficie de discordancia (del Papa *et al.*, 2004). Relaciones similares se distinguen en Esquina Azul (12 km al sur de Saladillo, Fig. 4) y en el valle de Luracatao (Payrola Bosio *et al.*, 2010). Incluso en localidades como cerro Bayo esta unidad se asienta sobre la Formación Maíz Gordo y lateralmente a pocos metros sobre la Formación Mealla (Hongn *et al.*, 2011). Asimismo, en el Valle de Pucará, la Formación Quebrada de los Colorados se dispone en discordancia directamente sobre el Subgrupo Pigua (Villanueva García, 1992; Sabino, 2004).

Estas relaciones estratigráficas variables son de

suma importancia para la interpretación genética de la cuenca de la Formación Quebrada de los Colorados ya que documentan la inversión tectónica del Grupo Salta contemporánea a su depositación (Hongn, *et al.*, 2007) (Fig. 4). Investigaciones previas sugerían que la deformación andina alcanzó la Cordillera Oriental en el Mioceno (ej. Jordan y Alonso, 1987; Carrapa *et al.*, 2011b), por consiguiente, tanto las edades como la posición geográfica de las discontinuidades descriptas en este trabajo son elementos que conducen a reinterpretar la evolución de cuenca de antepaís en el Noroeste Argentino.

Relaciones Estratigráficas del Techo

Las características de este contacto deben ser analizadas considerando la sucesión sedimentaria de origen eólico que en la definición original se dispone hacia la parte superior de la Formación Quebrada de los Colorados. Esta sección superior eólica y/o fluvio-eólica guarda relaciones de discontinuidad de tipo paraconformidad con la sección fluvial inferior y a su vez, presenta alternativamente relaciones de transición y de contacto concordante con la superpuesta Formación Angastaco.

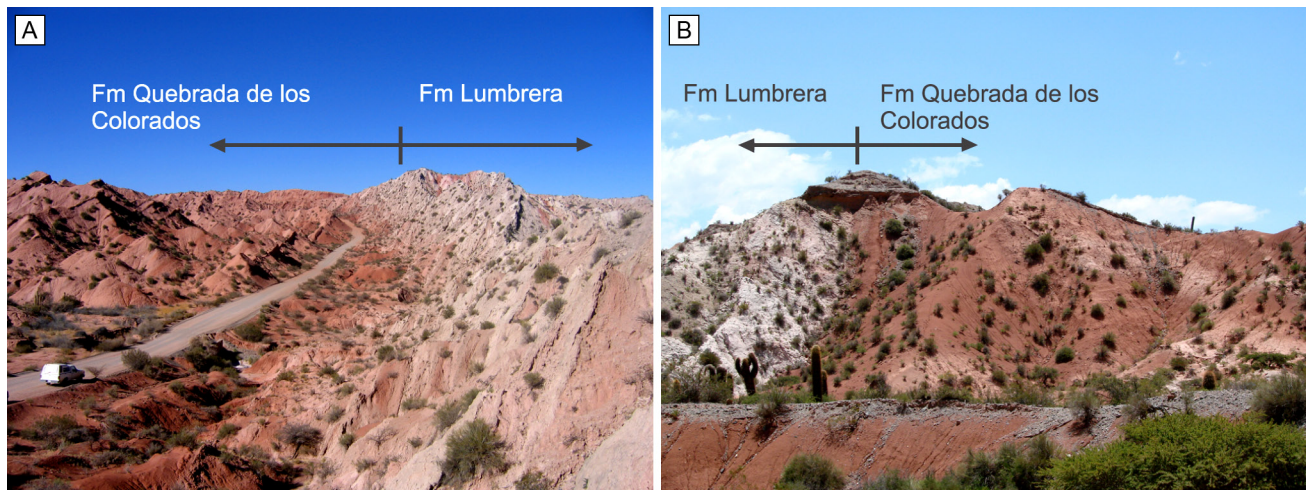


Figura 3. Aspecto del contacto entre la Formación Lumbreira (Grupo Salta) y la Formación Quebrada de los Colorados (Grupo Payogastilla) en el área de Tin Tin. a) El cambio en el perfil de erosión marca el contacto paraconcordante entre las unidades, ruta provincial N° 42 vista hacia el sur. b) En determinadas posiciones el contacto es discordante, nótese el cambio de inclinación de las capas, km10, ruta provincial N° 42.

Figure 3. View of the contact between Lumbreira Formation (Salta Group) and Quebrada de los Colorados Formation (Payogastilla Group) in the Tin Tin area. a) The abrupt change in the profile of erosion delineates the paraconformity, N° 42 route. b) Locally the contact is an angular unconformity, note the change in dip, km 10, N° 42 route.

El primer caso -de paraconformidad- se observa en distintas localidades de los Valles Calchaquíes, donde el contacto queda marcado por el salto de facies sedimentarias desde netamente fluviales conglomerádicas a facies eólicas o fluvio-eólicas de grano fino como ocurre en la quebrada Grande, área del cerro Tin Tin (Fig. 5a). En otras posiciones del área del cerro Tin Tin (ej. 25°16'0,3" Lat. S - 66°00'1,4" Long. O) la superficie de contacto está representada

por una calcreta de hasta 1 m de espesor desarrollado sobre facies fluviales (Fig. 5b) y por encima el desarrollo de facies fluvio-eólicas de grano fino.

El contacto del techo de la sucesión fluvio-eólica varía lateralmente y en posiciones pasa en transición a las areniscas conglomerádicas y conglomerados gris-blancuecinos de la Formación Angastaco como se observa en el área del cerro Tin Tin (Fig. 6a,g) y quebrada Los Colorados (área de Angastaco, Fig. 1).

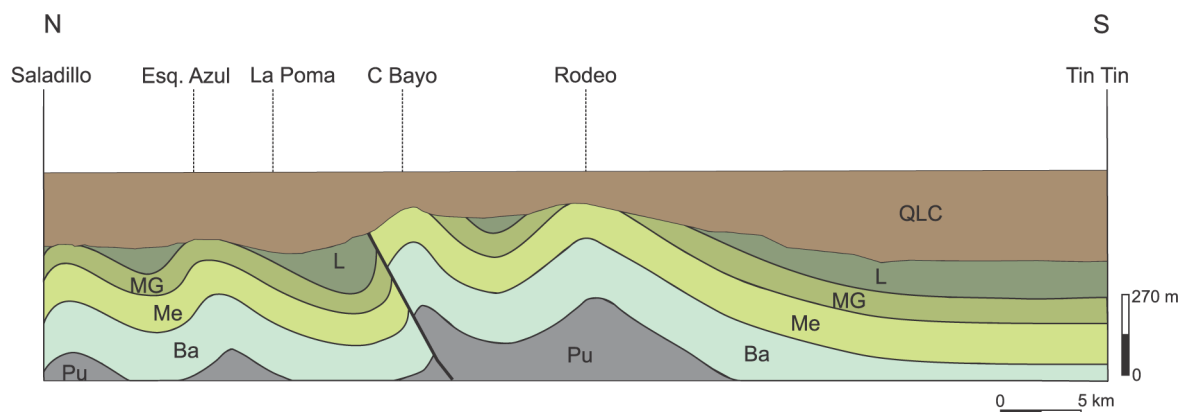


Figura 4. Corte esquemático N-S que muestra las relaciones estratigráficas de la Formación Quebrada de los Colorados sobre distintas unidades del Subgrupo Santa Bárbara (Grupo Salta). Pu: Fm. Puncoviscana, Ba: Subgrupo Balbuena, Me: Fm. Mealla, MG: Fm. Maíz Gordo, Lu: Fm. Lumbreira, QLC: Fm. Quebrada de los Colorados. Véase ubicación de las localidades en figura 1.

Figure 4. Schematic N-S section showing the stratigraphic relationship between the Quebrada de los Colorados Formation and different units of the Santa Bárbara Subgroup (Salta Group). Pu: Puncoviscana Fm., Ba: Balbuena Subgroup, Me: Mealla Fm, MG: Maíz Gordo Fm., Lu: Lumbreira Fm., QLC: Quebrada de los Colorados Fm. See figure 1 for locations.



Figura 5. a) Contacto entre la Formación Quebrada de los Colorados –capas conglomerádicas resistentes– y la Formación Angastaco –capas de areniscas rosa claro. b) Detalle del nivel de calcreta que se identifica localmente, quebrada Grande, Tin Tin, Parque Nacional Los Cardones.

Figure 5. a) Contact between Quebrada de los Colorados Formation –resistant conglomeratic strata– and the Angastaco Formation –pale red sandstones. b) Detail of the calcrete paleosols locally identified.

En otras localidades, como ocurre en el sinclinal del Tonco, la relación es de contacto neto y concordante. Estas relaciones estratigráficas obligan a plantear la validez de la inclusión de los depósitos eólicos en la Formación Quebrada de los Colorados.

La Sucesión Eólica: Discusión

En las descripciones originales de la Formación Quebrada de los Colorados se menciona la presencia de areniscas con estratificaciones cruzadas asintóticas hacia la base y ángulos de inclinación de las capas frontales de 30° a 50° (Díaz y Malizzia, 1983) interpretadas como depósitos vinculados al desarrollo de dunas eólicas en Díaz *et al.*, (1987). De este modo, en la definición de la Formación Quebrada de los Colorados se incorporaba una sucesión sedimentaria de origen principalmente eólico (Fig. 6e, f).

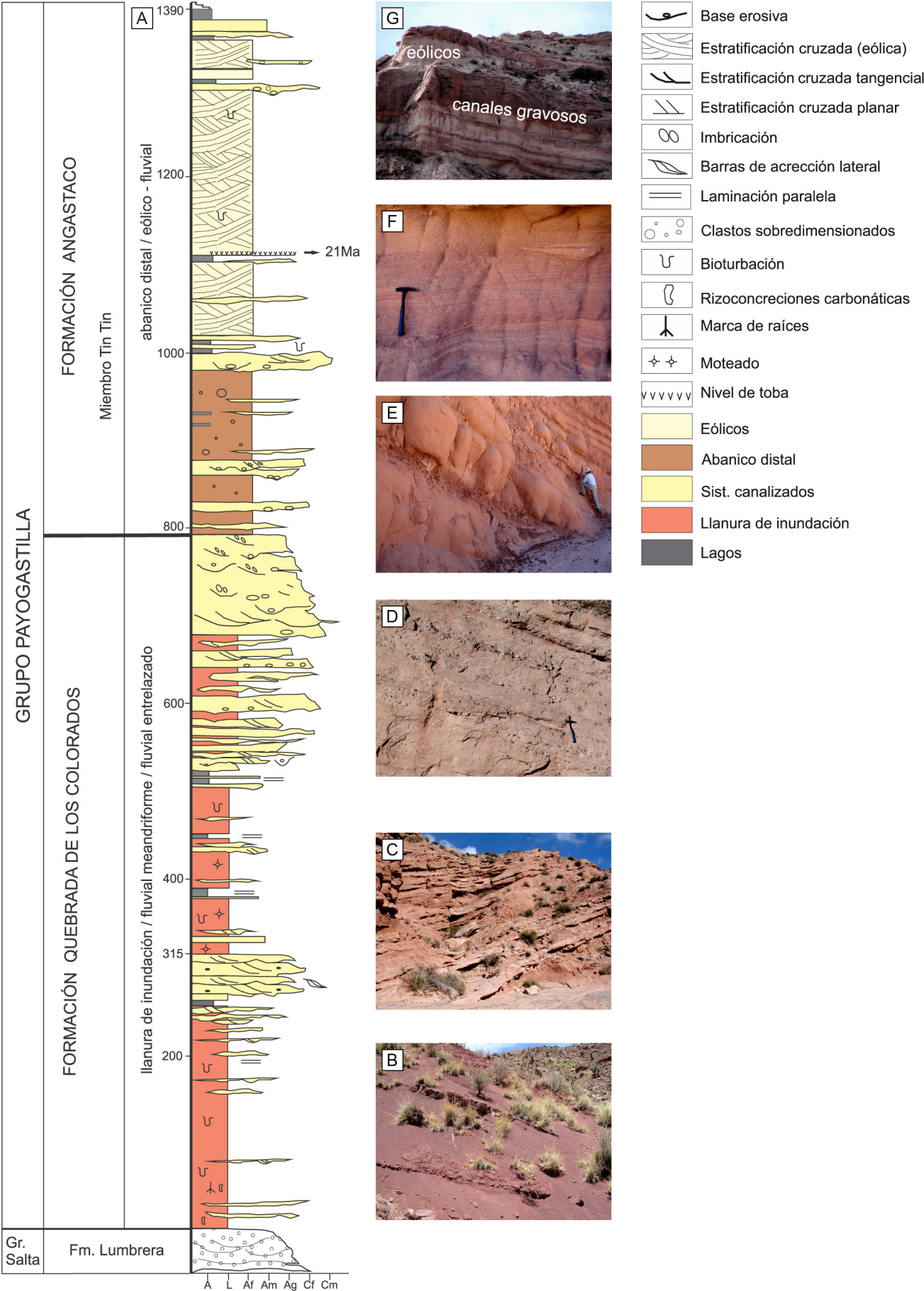
En trabajos posteriores, se observó que la sucesión eólica escasamente representada en la sección tipo alcanza varios centenares de metros de espesor en localidades próximas - 600 m en Tin Tin; 500 m en Monte Nieva, 260 m en Tonco - en el ámbito del Valles Calchaquíes (Starck y Vergani, 1996; del Papa *et al.*, 2013) lo que constituye el registro de un erg que le

imprime características distintivas con respecto a los depósitos infra y suprayacentes.

Esta sucesión se encuentra en contacto basal neto sobre niveles de conglomerados grises y areniscas rojizas de la Formación Quebrada de los Colorados (Fig. 5a). Por su parte, el contacto superior varía lateralmente y en ciertas posiciones pasa en transición a las areniscas conglomerádicas y conglomerados gris-blancuecinos de la Formación Angastaco, como se observa en las áreas del cerro Tin-Tin (Fig. 6g) y quebrada Los Colorados. En otras localidades, como ocurre en el sinclinal del Tonco, la relación es de contacto definido y concordante.

A partir de estas relaciones Starck y Vergani (1996) interpretaron que la sucesión eólica formaba parte del ciclo sedimentario de la Formación Angastaco, que en su trabajo identificaron como Megasecuencia Calchaquense. Asimismo Do Campo *et al.* (2010) y del Papa *et al.* (2013) denominaron a esta sucesión como Supersecuencia Angastaco, basándose en la relación de discontinuidad que limita la sucesión eólica de las pelitas y conglomerados inferiores de la Formación Quebrada de los Colorados.

Por lo expuesto, se considera de mayor beneficio para el ordenamiento estratigráfico del Grupo Payogastilla la incorporación de los depósitos eólicos a



la Formación Angastaco. Esta modificación litoestratigráfica facilitará el mapeo de las unidades y contribuirá al mejor entendimiento de la cuenca para su interpretación genética.

PROPUESTA DE UN HIPOESTRATOTIPO PARA LA FORMACIÓN QUEBRADA DE LOS COLORADOS

Se propone la quebrada Grande como hipoestratotipo a los efectos de completar las descripciones originales (Comité Argentino de Estratigrafía, 1992). La selección de esta localidad se basó en la excelente calidad y continuidad de afloramientos que permite observar los contactos estratigráficos de base y de techo y las características litológicas. Además es una de las localidades fosilíferas recientemente reconocida para esta unidad.

Hipoestratotipo: Quebrada Grande (Coordenadas: 25°12'59,1" Lat. S y 66° 01'33,1" Long. O), que es cortada por la ruta provincial N° 42 que une la recta de Tin Tin con la localidad de Seclantás en el Valle Calchaquí (Fig. 7). Esta sección se encuentra en el ámbito del Parque Nacional Los Cardones, en el área austral del cerro Tin Tin.

Estratotipo del Límite: La Formación Quebrada de los Colorados se apoya en relación de discontinuidad e incluso localmente de discordancia sobre la Formación Lumbrera (Subgrupo Santa Bárbara, Grupo Salta). El contacto se observa claramente en la quebrada Grande y a lo largo de la ruta provincial N° 42 (Fig. 7). El mismo queda definido por el pasaje abrupto de capas compuestas por areniscas conglomerádicas blancas, cuarzosas muy cementadas de la Formación Lumbrera a capas de limolitas y limolitas arenosas rojas con calcretes de la Formación Quebrada de los Colorados. Este salto granulométrico produce un quiebre en el perfil

de erosión, de modo que las rocas más resistentes (Formación Lumbrera) forman crestas, continuas y escarpadas (Fig. 3).

Descripción: En esta localidad se midió un espesor de 792 m integrado por dos ciclos granoestratocrecientes de 315 m el primero y 477 m el segundo (Fig. 6a). El primero se inicia con limolitas y limolitas arenosas de color rojo intenso en bancos tabulares (Fig. 6b). Las estructuras sedimentarias más frecuentes son rizoconcreciones, nódulos calcáreos, bioturbaciones, brechado sinsedimentario y halos de decoloración del sedimento. En los 200 m basales se intercalan niveles lenticulares de areniscas medianas a gruesas con estratificación cruzada tangencial y tabular y óndulas ascendentes y cuerpos lenticulares de menor envergadura rellenos de peloides carbonáticos. Hacia el tope del primer ciclo se intercalan niveles de areniscas medianas a gruesas que forman un apilamiento vertical de canales multiepisódicos con frecuentes estructuras de acreción lateral asociadas a depósitos de limolitas arenosas, gris rojizas (Fig. 6c).

El segundo ciclo se inicia con depósitos limoarcilíticos rojizos a marrón rojizo. Algunos niveles se presentan bien laminados y otros son de aspecto macizo y/o bioturbado. Hacia el tope, paulatinamente se intercalan niveles de areniscas conglomerádicas y conglomerados débilmente lenticulares a tabulares, con estratificación horizontal, cruzada tabular y tangencial (Fig. 6d). Un rasgo particular de este segundo ciclo, y que sirve para su identificación, es la presencia de venas de yeso fibroso que cortan y cruzan tanto los niveles pelíticos basales como los niveles de areniscas.

Se interpreta para esta unidad un ambiente sedimentario fluvial distal a abanicos aluviales en posiciones medias a distales. En la base predomina el ambiente de sistemas fluviales con cursos

Figura 6. a) Columna estratigráfica y ambientes sedimentarios de las Formaciones Quebrada de los Colorados y Angastaco, quebrada Grande, Parque Nacional Los Cardones. b) Facies de llanura de inundación integrada por limolitas arenosas rojizas. c) Facies de canales areno-gravosos y de llanura de inundación asociados. d) Facies de canales gravosos. e) Facies de areniscas limosas rojizas que identifican la sección inferior de la Formación Angastaco. f) Facies de areniscas eólicas. g) Intercalaciones de canales gravosos y areniscas eólicas, Formación Angastaco. La ubicación de las fotos se correlaciona con la posición en la columna estratigráfica.

Figure 6. a) Stratigraphic log and environmental interpretation of the Quebrada de los Colorados and Angastaco Formations, Grande creek, Los Cardones National Park. b) Fine-grained floodplain facies. c) Pebbly to sandy channel-fill facies and interbedded floodplain facies. d) Pebbly channel-fill facies. e) Red silty sandstones of the lower part of the Angastaco Formation. f) Eolian sandstones. g) Conglomeratic channel-fill facies interbedded with eolian sandstones, Angastaco Formation. The location of the photos correlates with its position in the stratigraphic column.

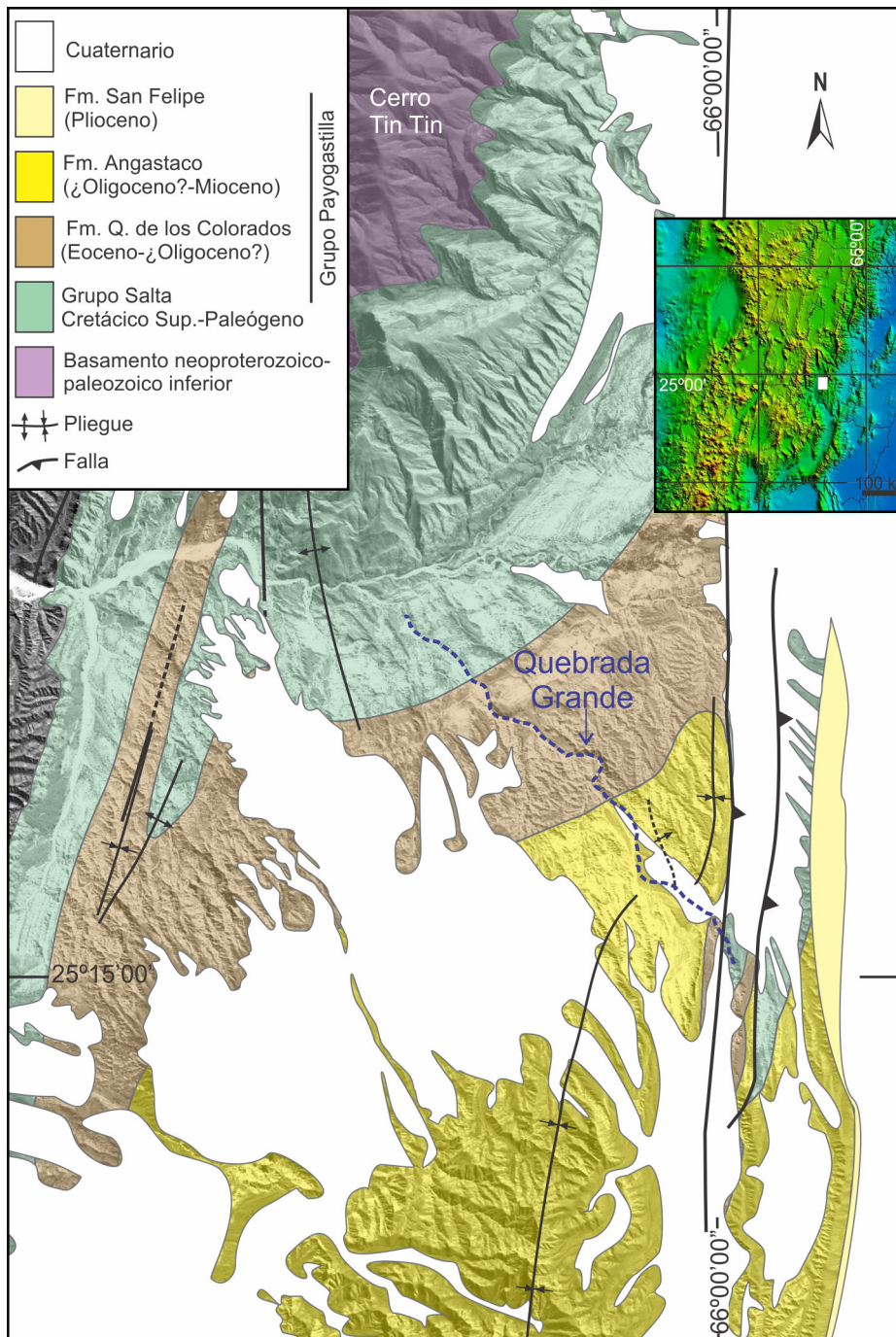


Figura 7. Mapa geológico del extremo sudoriental del cerro Tin Tin. Se indica en trazo azul la quebrada Grande.

Figure 7. Geological map of the Cerro Tin Tin, SE border. Note the Grande creek in blue line.

meandriformes asociados a extensas llanuras de inundación vegetadas (Díaz *et al.*, 1987; Do Campo *et al.*, 2010). El segundo ciclo está definido por la presencia de sistemas lacustres someros y efímeros sobre los que prograda un sistema fluvial entrelazado gravoso dominado por canales anchos y someros con dominio de barras longitudinales y con menor frecuencia transversales (Hongn *et al.*, 2011; del Papa *et al.*, 2013).

La sedimentación de la Formación Quebrada de

los Colorados tuvo un fuerte control tectónico que se observa tanto a nivel regional como local. El primero se manifiesta en la geometría de la cuenca, evolución de los ambientes sedimentarios y características de las áreas de aporte (ver síntesis en Do Campo *et al.*, 2010; Carrapa *et al.*, 2011a,b; del Papa *et al.*, 2013). Los controles tectónicos locales están asociados a fallamiento y plegamiento intracuenal que provocó la formación de estructuras de crecimiento, áreas de aporte local y canibalizaciones de la propia

secuencia (Hongn *et al.*, 2006, 2007; Payrola Bosio *et al.*, 2009; del Papa *et al.*, 2013).

Edad: La identificación de niveles portadores de restos de vertebrados en la sección basal de varias localidades (cerro Bayo, Tin Tin y en el valle de Luracatao, Fig. 1) permitió una mejor asignación temporal. Los fósiles de vertebrados reconocidos incluyen marsupiales, notoungulados (Isotemnidae, Leontiniidae, Notohipiidae, Campanorciidae), Astrapotheria y Xenarthra (Dasypodidae) (véase síntesis en Powell *et al.*, 2011). La asociación de mamíferos está integrada por algunos taxones endémicos del Eoceno del Noroeste argentino con un grado evolutivo semejante al reconocido para los de la Edad Mamífero Casamayorense de Patagonia. Según Herrera (2013) los géneros comunes al registro del Casamayorense (subedad Barranquense) de Patagonia se restringen al dasipódido *Utaetus* (*Euphractini*) y *Prostegotherium* (*Astegotheriini*). La Formación Quebrada de los Colorados se ha correlacionado con las Formaciones Casa Grande, Geste y Lumbreira superior a partir del hallazgo del dasipódido *Pucatherium* y leontínidos basales (Powell *et al.*, 2011; Herrera *et al.*, 2012). La interpretación de la edad eocena media (Casamayorense - Subedad Barranquense) se refuerza con la datación de $39,9 \pm 0,4$ Ma proveniente del tope de la Formación Lumbreira superior en la zona de El Simbolar (del Papa *et al.*, 2010) coincidente con el rango cronológico de edad estimado para la subedad Barranquense de Patagonia (Eoceno medio).

Correlaciones: Sobre la base de las características sedimentológicas y estratigráficas y del contenido paleontológico, la Formación Quebrada de los Colorados se correlaciona con la Formación Geste en la Puna austral (Marret *et al.*, 1994, Hongn *et al.*, 2007; Carrapa y DeCelles, 2008), con la Formación Casa Grande en la Puna septentrional (Hongn *et al.*, 2007; Herrera *et al.*, 2012) y con la Formación Lumbreira superior en el valle de Lerma (del Papa *et al.*, 2010).

Denominación: La designación original de Formación "Quebrada de los Colorados" no fue apropiada debido a que incluye un rasgo geográfico en su definición, lo cual no es recomendado por el Código Argentino de Estratigrafía (Comité Argentino de Estratigrafía, 1992, Art. 20.1). Esta situación ha llevado a la publicación de trabajos que la refieren indistintamente como Formación Quebrada de los

Colorados o directamente "Formación Los Colorados" (ej. Galli *et al.*, 2011) hecho que genera indudablemente confusión. En esta contribución sugerimos que, no obstante haber incluido un rasgo geográfico, teniendo en cuenta lo recomendado por Código Argentino de Estratigrafía (Comité Argentino de Estratigrafía, 1992) y la International Stratigraphic Guide (Amos, 1994) en la sección 3.B.3, pág.18, mantener el nombre original sin modificación para evitar problemas de duplicación de nombres (homonomia) con la previamente definida Formación Los Colorados (Stipanovic y Mariscano, 2002) de la cuenca de Ischigualasto-Villa Unión.

REDEFINICION DE LA FORMACION ANGASTACO

El Código Argentino de Estratigrafía (Comité Argentino de Estratigrafía, 1992) y la International Stratigraphic Guide (Amos, 1994) contemplan la redefinición de una unidad cuando se modifican los límites; siempre que esta modificación esté sustentada en factores que faciliten su identificación, utilidad y mapeabilidad.

Formación Angastaco (Díaz y Malizzia, 1983; *nom. transl.* Díaz *et al.*, 1987)

Área y sección tipo: La zona tipo se estableció en una franja que se extiende desde los 25°30'00" Lat. S hasta el río San Lucas al sur. La sección tipo corresponde a los afloramientos expuestos sobre la ruta nacional N° 40 entre la localidad de Angastaco y La Florida (Fig. 1), con un espesor de 3.780 metros.

En la descripción original se identificaban tres secciones. La inferior dominada por sedimentación de grano fino, pelitas y areniscas finas y de manera subordinada conglomerados. La sección media caracterizada por depósitos conglomerádicos y de areniscas gruesas y la sección superior compuesta por areniscas finas y pelitas en mayor proporción que en la sección media. El ambiente de acumulación fue interpretado como fluvial dominado por corrientes canalizadas someras, tipo entrelazado, asociado a posiciones distales de abanicos aluviales y desarrollo dunas eólicas (Díaz y Malizzia, 1983).

A partir de las consideraciones expresadas se propone incorporar la sucesión fluvio-eólica a la Formación Angastaco con el rango de Miembro Tin Tin (Fig. 2). De este modo, la Formación Angastaco

quedaría formada por un miembro basal y un miembro superior, Miembro Las Flechas, tal cual fuera definido originalmente por Díaz y Malizzia (1983).

Miembro Tin Tin (*nom. nov.*) - Estratotipo del Límite Basal

Area tipo: Zona del cerro Tin Tin, comprendida entre las coordenadas: 25°13'51,6" Lat. S y 66°00'58,5" Long. O y 25°16'12" Lat. S y 66°2'39,45" Long. O (Fig. 7).

Descripción: En esta localidad se observa el contacto neto y definido entre capas de conglomerados grises, medianos de la Formación Quebrada de los Colorados y capas de limolitas arenosas y areniscas finas marrón rosado claro del Miembro Tin Tin de la Formación Angastaco (Fig. 6a,e). Es posible seguir el contacto a lo largo de varias decenas de kilómetros, y localmente, se identifica el desarrollo de calcretas (Fig. 5).

La sucesión de limolitas arenosas de la base del Miembro Tin Tin pasa hacia arriba en transición, a areniscas blancas y grises con estratificación cruzada de gran porte y alto ángulo, interpretadas como depósitos de dunas eólicas (Fig. 6f). Las areniscas eólicas se encuentran asociadas con depósitos conglomerádicos y niveles de arcilitas laminadas, interpretados como canales fluviales gravosos y sistemas lacustres de interduna (del Papa *et al.*, 2013).

Hacia el tope, paulatinamente se incrementa la frecuencia de intercalaciones de bancos conglomerádicos hasta dominar completamente la sucesión, este pasaje es muy claro hacia el sur del área. Estos depósitos corresponden al Miembro Las Flechas de la Formación Angastaco *sensu* Díaz y Malizzia (1983). El espesor del Miembro Tin Tin en el área oscila entre 450 y 600 metros.

El Miembro Tin Tin representa sedimentación en un contexto continental complejo formado por acumulaciones eólicas compatible con el registro de un erg, asociado lateralmente y hacia posiciones marginales del erg, a sistemas de abanicos distales.

Edad: El Miembro Tin Tin cuenta con dos dataciones radiométricas. La primera realizada sobre circones detríticos colectados en areniscas eólicas ubicadas en el valle Pucará (Fig. 1) que arrojó una edad de $21,4 \pm 0,7$ Ma (U/Pb, Carrapa *et al.*, 2011b), y la segunda a partir de circones provenientes de un nivel de toba

intercalado en los depósitos eólicos que brindó una edad de $21,0 \pm 0,8$ Ma (U/Pb, del Papa *et al.*, 2013). Se estima que la sucesión completa puede abarcar el rango Oligoceno tardío a Mioceno temprano.

CONCLUSIONES

Las relaciones estratigráficas de la base del Grupo Payogastilla ponen de manifiesto la inversión tectónica regional del Grupo Salta en el área occidental de la Cordillera Oriental. Este dato impacta cuando se tiene en cuenta la edad eocena de la Formación Quebrada de los Colorados. Asimismo las relaciones estratigráficas definidas entre la sucesión fluvial basal y la sucesión fluvio-eólica superior de la Formación Quebrada de los Colorados y, entre ésta y la Formación Angastaco llevan a la redefinición de la Formación Angastaco. Por consiguiente, se propone incorporar a la sucesión fluvio-eólica (oligocena-miocena temprana) con el rango de Miembro Tin Tin en la Formación Angastaco. Se sugiere retomar el Miembro Las Flechas definido originalmente por Díaz y Malizzia (1983). Esta modificación en el arreglo estratigráfico facilitará la cartografía de las unidades y su interpretación genética.

Finalmente, y como consecuencia de la deformación tectónica que afecta a la Formación Quebrada de los Colorados en el perfil tipo, se propone a la quebrada Grande (área del cerro Tin Tin) como hipoestratotipo a los efectos de completar la información sobre esta unidad.

Agradecimientos

Se agradece a los árbitros de LAJSBA, J. Salfity y L. Spalletti y al Editor G. Veiga los comentarios y sugerencias los cuales contribuyeron a mejorar el manuscrito. Las investigaciones fueron realizadas con el aporte de los siguientes subsidios para la investigación: FONCYT (PICT 407), CONICET (PIP 489) y CIUNSa (P-2027). Se agradece a Parques Nacionales Salta, y en especial a los guardaparques del Parque Nacional Los Cardones por su permanente apoyo durante los trabajos de campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Amos, S., 1994. *International Stratigraphic Guide. A Guide to Stratigraphic Classification, Terminology and Procedure*. 2nd edition, International Union of Geological Sciences and Geological Society of America, 214 pp.

- Blasco, G., E. Zappettini y F. Hongn, 1996. *Hoja Geológica 2566-I, San Antonio de los Cobres, Mapa escala 1:250.000*. Secretaría de Minería de la Nación, Dirección Nacional del Servicio Geológico, Boletín N° 217, 126 pp. Buenos Aires.
- Brackebush, L., 1883. Estudio sobre la Formación Petrolífera de Jujuy. *Anales de la Sociedad Científica Argentina* T15:19-47.
- Camacho de Alcalde, M., 1977. Estudio geológico del borde oriental de los Valles Calchaquíes entre Amblayo y San Carlos (provincia de Salta). *Revista del Instituto de Geología y Minería de Jujuy* 2:71-103.
- Carrapa, B. y P. DeCelles, 2008. Eocene exhumation and basin development in the Puna of northwestern Argentina. *Tectonics* 27, TC1015, doi: 10.1029/2007TC002127.
- Carrapa, B., J. Trimble y D. Stockli, 2011a. Patterns and timing of exhumation and deformation in the Eastern Cordillera of NW Argentina revealed by (U-Th)/He thermochronology. *Tectonics* 30, TC3003, doi:10.1029/2010TC002707.
- Carrapa, B., S. Bywater-Reyes, P. DeCelles, E. Mortimer y G.E. Gehrels, 2011b. Late Eocene-Pliocene basin evolution in the Eastern Cordillera of northwestern Argentina (25°-26°S): regional implications for Andean orogenic wedge development. *Basin Research* 23: 1-20.
- Comité Argentino de Estratigrafía, 1992. *Código Argentino de Estratigrafía*. Asociación Geológica Argentina, Serie B, Didáctica y Complementaria 20:1-64. Buenos Aires.
- Coutand, I., B. Carrapa, A. Deeken, A. Schmitt, E. Sobel y M. Strecker, 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., F. Hongn, I. Petrinovic y R. Domínguez, 2004. Evidencias de deformación pre-miocena media asociada al antepaís andino en la Cordillera Oriental (24° 35'S - 6° 12'O). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 59:506-509.
- del Papa C., A. Kirschbaum, J. Powell, A. Brod, F. Hongn y M. Pimentel, 2010. Sedimentological, geochemical and paleontological insights applied to continental omission surfaces: a new approach for reconstructing Eocene foreland basin in NW Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 29:327-345.
- del Papa, C., F. Hongn, J. Powell, P. Payrola, M. Do Campo, M.R. Strecker, I. Petrinovic, A. K. Schmitt y R. Pereyra, 2013. Middle Eocene-Oligocene broken foreland evolution in the Andean Calchaquí Valley, NW Argentina: insights from stratigraphic, structural and provenance studies. *Basin Research* 25:574-593.
- Díaz, J.I., 1987. *Estratigrafía y sedimentología del Terciario Superior de la región comprendida por los valles de los ríos Calchaquí y Guachipas (Provincia de Salta)*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Tucumán, 122 pp. (inédito).
- Díaz, J.I. y D. Malizzia, 1983. Estudio geológico y sedimentológico del Terciario Superior del valle Calchaquí, Salta. *Boletín Sedimentológico* 2:8-28.
- Díaz, J.I., D. Malizzia y G. Bossi, 1987. Análisis estratigráfico del Grupo Payogastilla. *X Congreso Geológico Argentino Actas* II:113-116, Tucumán.
- Do Campo, M., C. del Papa, O. Nieto, F. Hongn y I. Petrinovic, 2010. Integrated analysis for constraining palaeoclimatic and volcanic influences on clay-mineral assemblages in orogenic basins (Palaeogene Andean foreland, Northwestern Argentina). *Sedimentary Geology* 228:98-112.
- Galli, C. y R. Hernández, 1999. Evolución de la cuenca de antepaís desde la zona de la Cumbre Calchaquí hasta la Sierra de Santa Bárbara, Eoceno inferior – Mioceno medio, provincia de Salta, Argentina. En F. Colombo, I. Querault, e I. Petrinovic (Eds.), *Geología de los Andes Centrales Meridionales: El Noroeste Argentino*. Acta Geológica Hispánica 34:167-184.
- Galli, C., A. Ramírez, J. Reynolds, J. Viramonte, B. Idleman y C. Barrientos, 2011. Procedencia de los depósitos del Grupo Payogastilla (Cenozoico), río Calchaquí, provincia de Salta. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 68:261-276.
- Herrera, C.M., 2013. *Los Dasipódidos (Mammalia, Xenarthra) del Paleógeno del noroeste argentino. Aspectos Evolutivos y Bioestratigráficos*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán, 195 pp. (inédito).
- Herrera C.M., J.E. Powell, y C. del Papa, 2012. Un nuevo Dasypodidae (Mammalia, Xenarthra) de la Formación Casa Grande (Eoceno) de la provincia de Jujuy. *Ameghiniana* 49:267-271.
- Hongn, F. y R. Seggiaro, 2001. *Hoja Geológica 2566-III, Cachi, escala 1:250.000*. Instituto de Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 248, 96 pp. Buenos Aires.
- Hongn, F., C. del Papa, I. Petrinovic, R. Mon y J. Powell, 2006. Sedimentación sintectónica en la base del Grupo Payogastilla (¿Paleógeno?-Neógeno), Valle Calchaquí norte, Salta. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, Publicación Especial Serie D 10:84-90.
- Hongn, F., C. del Papa, J. Powell, I. Petrinovic, R. Mon y V. Deraco, 2007. Middle Eocene deformation and sedimentation in the Puna-Eastern Cordillera transition (23°-26°S): Control by preexisting heterogeneities on the pattern of initial Andean shortening. *Geology* 35:271-274.
- Hongn, F., C. del Papa, J. Powell, P. Payrola, I. Petrinovic y R. Mon, 2011. Fragmented Paleogene foreland basin in the Valles Calchaquíes, NW of Argentina. En J.A. Salfity y R. Marquillas (Eds.), *Cenozoic Geology of the Central Andes of Argentina*. SCS Publisher: 189-209. Salta.
- Jordan, T. y R. Alonso, 1987. Cenozoic stratigraphy and basin tectonics of the Andes Mountains, 20°-28° south latitude. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 71:49-64.
- Marret, R., R. Allmendinger, R. Alonso y R. Drake, 1994. Late Cenozoic tectonic evolution of the Puna Plateau and adjacent foreland, northwestern Argentine Andes. *Journal of South American Earth Sciences* 7:179-207.
- Mauri, E. 1948. Observaciones geológicas en el sudoeste de la provincia de Salta (Departamentos de Cafayate, San Carlos, Molinos, Guachitas y La Viña). *Yacimientos Petrolíferos Fiscales*, (inédito). Buenos Aires
- Payrola Bosio, P., J. Powell, C. del Papa y F. Hongn, 2009. Middle Eocene deformation-sedimentation in the Luracatao Valley: Tracking the beginning of the foreland basin of Northwestern Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 28:142-154.
- Payrola Bosio, P., C. del Papa, F. Hongn y J. Powell, 2010. Revisión estratigráfica del Valle de Luracatao (NO Argentino): registro del inicio de la cuenca de antepaís cenozoica. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 67:307-316.
- Powell, J.E., M.J. Babot, D.A. García López, M.V. Deraco y C. Herrera, 2011. Eocene vertebrates of Northwestern Argentina: Annotated list. En J.A. Salfity, y R. Marquillas, (Eds.), *Cenozoic*

- Geology of the Central Andes of Argentina*. SCS Publisher: 349-370. Salta.
- Russo, A.** 1948. Levantamiento geológico en la cuenca del río Calchaquí, departamento de Molinos, provincia de Salta. *Yacimientos Petrolíferos Fiscales*, (inédito), 34 pp. Buenos Aires.
- Russo, A. y A. Serraiotto**, 1978. Contribución al conocimiento de la Estratigrafía Terciaria del Noroeste Argentino. *VII Congreso Geológico Argentino*, Actas I: 715-730, Neuquén.
- Sabino, I.F.**, 2004. Estratigrafía de la Formación La Yesera (Cretácico): Base del relleno sinrift del Grupo Salta, noroeste argentino. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 59:341-359.
- Salfity, J.A. y C.R. Monaldi**, 2006. *Hoja Geológica 2566-IV, Metán, escala 1:250.000*. Instituto de Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 319, 74 pp. Buenos Aires.
- Starck, D. y G. Vergani**, 1996. Desarrollo tectosedimentario del Cenozoico en el sur de la provincia de Salta. *XIII Congreso Geológico Argentino*, Actas I:433-452, Buenos Aires.
- Stelzner, A.**, 1885. Beitrage zur geologie und palaontologie der Argentinis chen Republik und des angrensenden, swischen dem 32º und 33ºS. Br. Gelegenen Teiles der Chilenischen Cordillera. Cassel und Berlin trad. al catellano (1924), Acta 8, Academia Nacional Córdoba.
- Stipanivic, P.N. y C.A. Marsicano**, 2002. *Léxico Estratigráfico de la Argentina: Triásico*. Asociación Geológica Argentina, Serie "B" Didáctica y Complementaria VIII, 370 pp. Buenos Aires.
- Vilela, C.**, 1954. Notas sobre la estratigrafía del Terciario en el Valle del Río Calchaquí. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 9:169-171.
- Vilela C. y J. García**, 1978. *Descripción Geológica de la Hoja 9e, Amblayo*. Servicio Geológico Nacional, Boletín 150, 67 pp. Buenos Aires.
- Villanueva García, A.**, 1992. *Geología del Valle de Pucará, con especial referencia a la sedimentología y estratigrafía de las unidades cretácicas-terciarias, Provincia de Salta, República Argentina* Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Tucumán, 123 pp. (inédito).