LA FORMACIÓN VALLECITO COMO EJEMPLO DE SEDIMENTACIÓN EÓLICA CENOZOICA DE LAS CUENCAS ANDINAS DEL NOROESTE ARGENTINO: PALEOAMBIENTES Y CONSIDERACIONES ESTRATIGRÁFICAS Y PALEOCLIMÁTICAS

Alfonsina Tripaldi

IGEBA-CONICET, Dto. Cs. Geológicas, Universidad de Buenos Aires. Pabellón 2, Ciudad Universitaria, C1428EGA, Buenos Aires, Argentina. E-mail: alfo@gl.fcen.uba.ar

Resumen

Las cuencas de antepaís andinas del Cenozoico, del noroeste de Argentina, presentan un relleno sedimentario esencialmente fluvial con intercalaciones de sucesiones eólicas. En este trabajo

se analiza una de estas unidades eólicas, la Formación Vallecito, dominada por sets entrecruzados de areniscas finas, que afloran en la Precordillera y las Sierras Pampeanas. El análisis de facies y arquitectural, en tres localidades de las provincias de La Rioja y San Juan, permitió diferenciar ocho elementos arquitecturales y cinco asociaciones de facies que caracterizan distintos tipos de depósitos eólicos y estadios en la evolución del sistema eólico, respectivamente. Se interpretaron depósitos de manto eólico, interduna, draas con dunas crecientes sobreimpuestas, dunas crecientes de crestas sinuosas, dunas crecientes de crestas rectas y morfología variable, y de interacción eólica-fluvial. En función del similar arreglo de facies, composición petrográfica de las areniscas y patrones de paleocorrientes se propone una correlación litoestratigráfica de las sucesiones estudiadas. La información cronológica disponible en la bibliografía indica que la sedimentación eólica habría ocurrido durante el Mioceno temprano. Estas espesas sucesiones eólicas estarían indicando una interacción positiva entre factores climáticos (condiciones áridas) y tectónicos (alta tasa de subsidencia) que posibilitaron la formación de extensos mares de arena y la acumulación y preservación de las arenas eólicas. A nivel regional diversas cuencas del sur de América del Sur indican semejantes condiciones climáticas áridas durante el Mioceno temprano, en tanto a escala global una tendencia de calentamiento y reducción de la extensión del hielo antártico fue interpretada para el intervalo ca. 27-15 Ma.

Palabras clave: paleoambiente eólico, elementos arquitecturales, formación Vallecito, cuencas de antepaís andinas, Cenozoico, noroeste argentino

Abstract

The Vallecito Formation, an example of Cenozoic aeolian sedimentation in the Andean basins of northwestern Argentina: paleoenvironments, stratigraphic and paleoclimatic inferences. The Andean foreland basins, developed during the Cenozoic in northwestern Argentina, comprise a dominantly fluvial sedimentary record with several aeolian intervals along their geologic history. In this work one of these aeolian units is studied, the Vallecito Formation mainly formed by cross-bedded, fine to very fine sandstones outcropping at several places of the Precordillera and the Pampean Ranges. The facies and architectural analysis allowed recognizing eight architectural elements of aeolian origin. Based on these elements five facies associations were defined depicting different stages in the evolution of the aeolian system of the Vallecito Formation, interpreted as deposits of: aeolian sand sheets, interdune, draas with superimposed crescentic dunes, crescentic dunes of sinuous crests, crescentic dunes of right crests and variable morphology, and fluvial-aeolian interaction. The similar facies arrangement, petrographic sandstone composition and paleocurrent patterns suggest a lithostratigraphic correlation among the successions at the three surveyed locations. The available chronologic information indicates the deposition of the very thick (between 200 and 1200 meters) and laterally extended (hundreds to thousands of meters) aeolian succession likely took placed during the lower Miocene. Regionally, several sedimentary basins of southern South America also illustrate arid conditions during this time interval, while at a global scale a warming trend and reduction of the extent of Antarctic ice were inferred during ca. 27-15 Ma.

Key words: aeolian paleoenvironment, architectural elements, Vallecito formation, Andean foreland basins, Cenozoic, northwestern Argentina

Introducción

Las unidades sedimentarias cenozoicas del noroeste de Argentina constituyen un importante registro geológico de la región andina, con numerosos afloramientos y frecuentemente formados por potentes sucesiones que alcanzan cientos a miles de metros de espesor [1]. Estas sedimentitas, junto con las unidades volcánicas andinas, han sido objeto de numerosos estudios para reconstruir la historia geológica de la Cordillera de los Andes y sus cuencas sedimentarias asociadas, tanto en lo que se refiere a los aspectos paleoambientales y paleogeográficos, como aquellos relacionados a la evolución tectónica y paleoclimática de la región, y como complemento a estudios paleontológicos, paleoclimáticos y geofísicos [2-10].

Las cuencas del antepaís andino, desarrolladasdurante el Cenozoico en el noroeste de Argentina, están dominadas por depósitos de origen continental, mayormente sucesiones de distintos tipos de sistemas fluviales y donde las areniscas eólicas constituyen un componente frecuente. Entre las unidades cenozoicas de origen eólico pueden mencionarse las siguientes formaciones: Mariño (provincia de Mendoza) [11], Vallecito (provincias de San Juan y La Rioja) [12, 13], Pachaco (provincia de San Juan) [14], Los Llanos (provincia de La Rioja) [15], Santo Domingo (provincia de La Rioja) [16, 17], Laguna Brava (provincia de La Rioja) [18, 19] y Angastaco (provincia de Salta) [20,21].

Además de posibilitar reconstrucciones paleoambientales, fundamentales para la comprensión de la evolución de las cuencas sedimentarias, el estudio de las areniscas eólicas de las cuencas de antepaís andinas también resulta de interés por otros factores. Por un lado, las evidencias de sedimentación eólica posibilitan realizar inferencias paleoclimáticas y paleoecológicas, en general relacionadas a condiciones climáticas áridas a semiáridas [22]. Las características litológicas típicas de las sucesiones eólicas (ampliamente dominadas por areniscas finas a muy finas y en general formando sets entrecruzados de escala mediana a gigante) determinan que los niveles eólicos puedan resultar niveles guías de correlación litoestratigráfica, correlación que luego puede ser mejorada mediante otras evidencias geológicas, información paleontológica y la obtención de edades numéricas. La presencia de depósitos formados por la acción del viento en el relleno de las cuencas de antepaís puede, asimismo, aportar elementos para el análisis de la dinámica estructural/tectónica de dichas cuencas en tanto que para la acumulación y preservación de potentes paquetes eólicos son necesarias determinadas configuraciones paleogeográficas [23] y altas tasas de subsidencia [24]. Finalmente, los estudios de las sucesiones eólicas de ambientes montañosos, como en general resultan aquellos desarrollados en las cuencas andinas, pueden contribuir en la elaboración de modelos de facies para la interpretación de otras sucesiones sedimentarias así como también pueden aportar elementos para el análisis de los sistemas eólicos actuales desarrollados en las cuencas andinas.

Con el propósito de contribuir al entendimiento de la sedimentación eólica ocurrida durante el Cenozoico en cuencas de antepaís andinas del noroeste de Argentina se presenta en este trabajo la caracterización e interpretación paleoambiental de las areniscas eólicas de la Formación (Fm.) Vallecito. Se propone para este análisis de facies la utilización de la metodología de elementos arquitecturales para depósitos fluviales [25] y aquí modificada para sedimentitas eólicas. Se analizan asimismo las implicancias estratigráficas y paleoclimáticas de la Fm. Vallecito en la evolución de las cuencas andinas del noroeste argentino.

Contexto geológico

El área de estudio se ubica en los Andes Centrales, en el margen continental occidental de América del Sur [26]. Este segmento estuvo sometido a un régimen tectónico compresivo, debido a la subducción oblicua, por debajo de la placa Sudaméricana, de la placa oceánica de Nazca, esta última formada por la ruptura de la placa Farallón ocurrida en el Mioceno (ca. 26 Ma) [27]. La subducción tuvo al principio una alta tasa de convergencia, que luego disminuyó alrededor de los 10 Ma [27].

Las sedimentitas eólicas analizadas en este trabajo se desarrollan entre los 29° y los 30° 30′ de latitud sur (Fig. 1), comprendiendo afloramientos que ocurren en las provincias geológicas de Precordillera y de Sierras Pampeanas (Fig. 1). En estas latitudes la placa de Nazca subducta a un ángulo muy somero (ca. 5°) determinando una patrón muy complejo de deformación, que incluye componentes de transcurrencia [3, 28-30]. Durante la orogenia del Cenozoico la faja plegada de la Precordillera migró hacia el Este, en tanto bloques de basamento ígneo-metamórfico Precámbrico-Paleozoico inferior fueron elevados por la reactivación de antiguas fallas de alto ángulo dando lugar a las Sierras Pampeanas [30]. Actualmente esta región se caracteriza por la ausencia de un arco volcánico activo y el desarrollo de diversas cuencas de antepaís fracturado (*broken foreland*). Los afloramientos estudiados están incluidos en las sucesiones de las cuencas de Bermejo [31] y de La Troya [32, 33].

Antecedentes

La Fm. Vallecito constituye una sucesión de areniscas rojas de origen eólico definida para el área de Ciénaga del Vallecito (provincia de San Juan, Fig. 1) e incluida en el "Grupo de las areniscas eólicas" (Fig. 2) [34]. Con posterioridad y en la misma área, la Fm. Vallecito fue incorporada en el Grupo Río Huaco (Fig. 3) [35]. En el área de la localidad de Guandacol, paquetes semejantes de areniscas entrecruzadas de gran escala fueron incorporadas en la Fm. Ojo de Agua [36]. Años más tarde, afloramientos de estas rocas en la quebrada de La Flecha se correlacionaron con la sección sedimentaria de la Fm. El Áspero (Fig. 2) [37]. Finalmente, y en base a reglas de prioridad estratigráfica, se propuso la sustitución del término Grupo Río Huaco por el del Grupo del Áspero, incluyendo a la aquí estudiada Fm. Vallecito (Fig. 2) [38].



Fig. 1. Mapa esquemático del área de estudio y ubicación de las localidades estudiadas.

Estudios paleoambientales de la Fm. Vallecito fueron posteriormente realizados por varios autores [12, 13, 39], quienes reconocieron la predominancia de facies eólicas en la unidad, depositadas en un mar de arena con distintos tipos morfológicos de dunas.

En cuanto a la edad de depositación de la Fm. Vallecito, la misma solo pudo ser estimada, hasta el momento, por métodos indirectos. Inicialmente esta unidad fue referida al Triásico [34], por correlación con las secuencias "aflorantes en la provincia de Mendoza" y luego al Pérmico [36, 37]. Estudios posteriores permitieron proponer que las areniscas eólicas, mapeadas en el área de Ciénaga de río Huaco (provincia de San Juan) como Fm. Vallecito, resultarían de edad Miocena [12, 40, 41], en función de dos edades de tobas en estratos subyacentes. Al tiempo que una edad de 32,7±2,6 Ma fue obtenida en estratos rojos infrayacentes en la localidad de El Fiscal y otra de 21,6±0,8 Ma en afloramientos del valle del río Blanco de la Precordillera central de San Juan; la primera sobre granos de biotita y la segunda sobre feldespatos, en ambos sin indicarse el método empleado ni precisarse la ubicación de las muestras. En estos bancos rojos, luego incluidos en la Fm. Puesto La Flecha [42], otros investigadores reportaron la presencia de restos de placas de tortugas (cf. *Podocnemis argentinensis*), sugiriendo una edad pre-Oligocena para la unidad [43]. Tomando en cuenta todos estos datos la Fm. Vallecito resultaría Miocena o más joven.

Braccaccini (1946)	Furque (1963)	Borrello y Cuerda (1968)		Furque (1972)	Furque (1979)		
Grupo de las areniscas eólicas	Formación Ojo de Agua	Grupo Río Huaco	Formación Cauquenes	Formación El Áspero:	pero	Formación Cauquenes	
			Formación Cerro Morado	b) facies volcánica	o del Ás	Formación Cerro Morado	
			Formación Vallecito	a) facies sedimentaria	Grupo	Formación Vallecito	

Fig. 2. Cuadro estratigráfico comparativo de la terminología empleada por diferentes autores para el intervalo estratigráfico correspondiente a la aquí considerada Formación Vallecito.

En cuanto a las relaciones estratigráficas de techo, son dos las unidades formacionales que aparecen por encima de la Fm. Vallecito en las localidades estudiadas, la Fm. Cerro Morado y la Fm. Vinchina (Fig. 1). La primera cubre a la Fm. Vallecito en afloramientos de las nacientes del río Guandacol y Ciénaga del Vallecito. Unos 15 km al sudoeste de esta última, en el sitio denominado El Fiscal, se cita una edad de $13,4 \pm 1,6$ Ma en zircones detríticos de un rodado andesítico de la Fm. Cerro Morado [40, 41]. Edades semejantes (17,6 \pm 0,5 Ma y 18,3 \pm 0,7 Ma) fueron reportadas para coladas andesíticas de esta unidad [44] en el cerro Guachi (Fig. 1).

En la quebrada de La Flecha, la Fm. Vallecito subyace a areniscas fluviales incluidas en la Fm. Vinchina, en cuya base se señaló la presencia de una edad radimétrica 40K/40Ar (roca total) de 50.7 ± 1.5 Ma [33]. La posterior obtención de edades mediante dataciones Pb206/ U238 de zircones detríticos en tobas han indicado edades más jóvenes. La sedimentación de la Fm. Vinchina habría comenzado alrededor de los 19 Ma [45] en la cuenca homónima (quebrada de La Troya, provincia de La Rioja), mientras que en la cuenca de La Troya, al norte de la quebrada de La Flecha, las dataciones señalan el comienzo de la sedimentación a los 15,6 Ma [46]; en ambas localidades también se reconocieron areniscas eólicas posiblemente correlacionables con la Fm. Vallecito por debajo de la Fm. Vinchina [47].

En la Fm. Vallecito, al menos en las localidades estudiadas, no se encontraron intercalaciones de niveles de tobas para realizar dataciones radimétricas que permitieran conocer la edad de depositación de las areniscas eólicas.

Aunque la información precedente expone la complejidad para estimar la edad de la Fm. Vallecito, si se toman los únicos datos publicados hasta el momento, con excepción de la

edad 40K/40Ar de 50,7 \pm 1,5 Ma que resulta muy discordante al resto, la depositación de las areniscas eólicas se habría desarrollado desde los ca. 22 Ma y hasta los ca. 19 a 14 Ma (Mioceno temprano), dependiendo las edades antes mencionadas para las distintas localidades. No debe descartarse, entonces, que las sedimentitas eólicas sean (parcialmente?) diacrónicas en las distintas localidades mencionadas.

Metodología

El estudio paleoambiental de la Fm. Vallecito fue llevado a cabo mediante el levantamiento de perfiles estratigráficos en los cuales se analizaron los cuerpos sedimentarios mediante la identificación y descripción de litofacies y asociaciones de facies (AF) [48, 49, 50]. Las AF fueron estudiadas en función del análisis de elementos arquitecturales [51, 52]. Cada elemento arquitectural se define, además de por una determinada asociación de litofacies, por la geometría externa de los cuerpos sedimentarios, la naturaleza de las superficies que limitan estos cuerpos y el espesor y extensión lateral de los mismos [53].

La caracterización de las asociaciones de facies incluyó también la medición de paleocorrientes en las areniscas eólicas, con el propósito de aproximar el patrón general de distribución de paleovientos. Se midieron los rumbos de la dirección de máxima inclinación de las capas frontales y el valor de inclinación de las mismas, en los sets de estratificación entrecruzada planar, y el eje de simetría y su inclinación cuando se trataba de artesas. Una vez obtenido el valor de rumbo e inclinación regional de la unidad, los valores de paleocorrientes fueron rebatidos a la horizontal estereográficamente. Las mediciones se llevaron a cabo en diferentes niveles estratigráficos de la sucesión, en las tres localidades estudiadas. Los niveles fluviales resultan depósitos subordinados en la Fm. Vallecito y además presentan muy escasas estructuras entrecruzadas por lo que no pudieron realizarse estimaciones sistemáticas de valores de paleocorrientes para estas unidades.

Una de las primeras superficies limitantes definidas para el ambiente eólico fue la superficie de truncamiento múltiple (*multiple parallel-truncation bedding planes*) [54] para describir aquellos planos, de gran extensión areal, que cortan todos los sets entrecruzados previos, controladas por la posición del nivel freático. La duración de los eventos depositacionales fue luego relacionada a la escala física y geometría de los litosomas resultantes, estableciéndose un orden jerárquico con superficies de primero (cortan todas las estructuras eólicas precedentes), segundo (limitan sets entrecruzados) y tercer orden (superficies de reactivación dentro de los paquetes entrecruzados) [55]. Posteriormente, otros autores describieron otras superficies más extensas y de mayor jerarquía que las de primer orden, y que se interpretan como formadas durante períodos de estabilización de un campo de dunas [56, 57] o bien por la inundación del sistema eólico [58]. En este trabajo se utiliza el esquema de [58] (Tabla I) que combina el orden jerárquico e incorpora supersuperficies, las cuales están relacionadas al concepto de crecimiento episódico de los campos de dunas [59]. En la Tabla I se exponen también as escalas de tiempo que involucran la formación de cada superficie limitante [53].

En relación a las litofacies, debe destacarse la gran homogeneidad litológica de las areniscas eólicas de la Fm. Vallecito (areniscas finas a muy finas, muy bien seleccionadas, con laminación milimétrica), que es característico y diagnóstico de las sucesiones sedimentarias de origen eólico [60]. Es por ello que para poder discriminar con mayor resolución los procesos de transporte y depositación eólicos se utilizó para las facies eólicas una versión modificada del código de litofacies [48, 49]. En las Tablas II y III se expone la descripción de cada litofacies junto con los procesos de transporte y depositación interpretados para cada una de ellas. Una de las diferencias más importantes entre las facies eólicas y fluviales que puede resaltarse es que la migración de óndulas eólicas determina laminaciones horizontales o entrecruzadas de muy bajo ángulo (aquí litofacies Shg y Slg, respectivamente), en lugar de entrecruzadas de alto ángulo (laminación ondulítica de corriente, litofacies Sr) como las óndulas subácueas. Estas laminaciones eólicas puede presentar gradación inversa de intralámina, gradación que a esta escala (láminas desde milimétricas y hasta 1 cm) se forma por la migración de óndulas eólicas por lo que constituye un elemento diagnóstico para el reconocimiento de facies eólicas [61]. La gradación inversa no siempre es distinguible, principalmente a ojo desnudo, por lo que se describieron como litofacies Shm y Slm aquellos niveles de areniscas finas a muy finas, bien seleccionadas, y con laminación milimétrica, comúnmente intercalados con las litofacies Shg y Slg, y que se interpretan también como depósitos de óndulas eólica (Tabla II). Todas estas litofacies corresponderían a los depósitos denominados *subcritically climbing translatent strata* [62].

Otro tipo de laminación eólica, horizontal o entrecruzada de muy bajo ángulo, está formada por areniscas bimodales. Se trata de una laminación de alrededor de 1 cm de espesor, constituida por una delgada lámina basal de areniscas finas a muy finas y relieve negativo, cubierta por una lámina superior de areniscas finas a gruesas, que constituye un relieve positivo en los afloramientos (litofacies Shb, Slb). En este caso corresponderían a la migración de óndulas de gránulo o arena gruesa-muy gruesa (*granule aeolian ripples* de [63].

Los paquetes entrecruzados eólicos, formados por areniscas finas a muy finas y muy bien seleccionadas, pueden resultar tabulares y planares (Spp), tabulares y con caras frontales asintóticas (Spa), en artesa (Ste), acuñados (Spw, *wedge cross-lamination*) [64] o festoneados (Spf, *scalloped cross-bedding*) [65] cuando presentan numerosas superficies de reactivación dentro de los sets (Tabla II).

Stokes (1968)	Brookfield (1977)	Talbot (1985)	Kocurek (1988, 1996)	Langford y Chan (1988)	Proceso	Escala de tiempo (años) [53]
	Superficies de tercer orden		Superficies de reactivación (sR)		Reactivación de caras de avalancha de las dunas	10 ⁻³ - 10 ⁰
	Superficies de segundo orden		Superficie de sobreim-posición (sSI)		Migración de dunas sobre dunas	10 ¹ - 10 ²
	Superficies		Superficies de migración de interduna (sMI)		Migración de <i>draas</i> sobre draas	10 ² - 10 ⁸
Superficies de truncamiento múltiple	de primer orden	Superficies limitantes regionales	Superficies (SS)	Superficies de inundación	Estabilización o inundación de un campo de dunas	10 ⁴ - 10 ⁶

Tabla I. Cuadro comparativo del significado de las superficies limitantes según diferentes autores, procesos y escalas de tiempo involucrados

	Descripción	Interpretaciones
Shg	Areniscas finas a muy finas, muy bien seleccio- nadas, con laminación horizontal y gradación inversa de intralámina	Migración de óndulas eólicas de arena (sand aeo- lian ripples, Fryberger, 1992) sobre mesoformas de pequeño porte (ej. sombras de arena) o en áreas de interduna o manto eólico
Shm	Areniscas finas a muy finas, muy bien seleccio- nadas, con laminación horizontal masivas	Caída de granos en mesoformas de pequeño porte (ej. sombras de arena), o migración de óndulas eólicas de arena en interdunas y mantos eólicos
Shb	Areniscas bimodales, muy finas a gruesas, con laminación horizontal	Migración de óndulas de gránulo-arena gruesa (granule aeolian ripples de Fryberger, 1992) en áreas de interduna o manto eólico
Slg	Areniscas finas a muy finas, muy bien selec- cionadas, con laminación entrecruzada de muy bajo ángulo y gradación inversa de intralámina	Migración de óndulas eólicas de arena sobre meso- formas de pequeño porte (ej. sombras de arena) o en áreas de interduna o manto eólico
Slm	Areniscas finas a muy finas, muy bien selec- cionadas, con laminación entrecruzada de muy bajo ángulo masiva	Caída de granos o migración de óndulas eólicas de arena sobre mesoformas de pequeño porte (ej. som- bras de arena) o en áreas de interduna o manto eólico
Slb	Areniscas bimodales, muy finas a gruesas, con laminación entrecruzada de muy bajo ángulo	Migración de óndulas de gránulo-arena gruesa sobre mesoformas de pequeño porte (ej. sombras de are- na) o en áreas de interduna o manto eólico
Sre	Areniscas finas a muy finas, muy bien seleccio- nadas, con laminación ondulítica	Migración de óndulas eólicas
Sme	Areniscas finas a gruesas, masivas, pueden pre- sentar rasgos de bioturbación	Niveles de deflación, que pueden aparecer rellenan- do hoyos, o arenas masivas por bioturbación
Shd	Areniscas finas a muy finas, muy bien selec- cionadas, con laminación horizontal deformada	Deformación sinsedimentaria por bioturbación o licuefacción de fluidos porales de niveles previa- mente horizontales
Spd	Areniscas finas a muy finas, muy bien seleccio- nadas, con laminación entrecruzada deformada	Deformación sinsedimentaria por deslizamientos gravitacionales en caras de sotavento de dunas
Spp	Areniscas finas a muy finas, muy bien seleccio- nadas, con estratificación entrecruzada planar	Migración de dunas crecientes de crestas restas, con caras de sotavento dominadas por caída y flujo de granos
Spa	Areniscas finas a muy finas, muy bien seleccio- nadas, con estratificación entrecruzada planar asintótica	Migración de dunas crecientes de crestas rectas, con caras de sotavento dominadas por caída y flujo de granos, y migración de óndulas eólicas en el pie de las dunas
Spf	Areniscas finas a muy finas, muy bien seleccio- nadas, con estratificación entrecruzada planar festoneada	Migración de dunas crecientes de crestas rectas a ligeramente sinuosas, que sufren periódicas fluctua- ciones en su forma o velocidad de migración
Spw	Areniscas finas a muy finas, muy bien seleccio- nadas, con estratificación entrecruzada acuñada	Migración de dunas crecientes de crestas sinuosas
Ste	Areniscas finas a muy finas, muy bien seleccio- nadas, con estratificación entrecruzada en artesa	Migración de dunas crecientes de crestas sinuosas

Tabla II. Código de litofacies para depósitos eólicos utilizado en este trabajo

La Fm. Vallecito se estudió en tres localidades, Ciénaga del Vallecito (CV) en la provincia de San Juan y quebrada de La Flecha (QLF) y nacientes del río Guandacol (NRG), en la provincia de La Rioja (Fig. 1), en las que se realizaron observaciones que fueron compiladas en perfiles estratigráficos característicos para cada área. Los espesores resultan de 234, 265 y 1200 m en las localidades NRG, CV y QLF, respectivamente.

Sedimentología de la Formación Vallecito

Elementos arquitecturales

El análisis de las areniscas eólicas de la Fm. Vallecito permitió reconocer nueve elementos arquitecturales que representan depósitos de manto eólico, distintos tipos dunas e interdunas (Fig. 3).

Tabla III. Código de litofacies para depósitos fluviales utilizado en este trabajo

	Descripción	Interpretaciones				
Gm	Conglomerados masivos	Depósitos residuales o barras longitudinales gravosas				
SGm	Areniscas guijarrosas masivas	Depósitos residuales de canal o niveles en barras gravosas o gravo-arenosas				
Sp	Areniscas con laminación entrecruzada planar	Megaóndulas de crestas rectas				
Sh	Areniscas finas a muy finas, con laminación horizontal	Depósitos de alto regimen de flujo o de corrientes muy débiles en el caso de las areniscas fangosas				
Sr	Areniscas con laminación ondulítica	Óndulas de corriente subacueas				
Sm	Areniscas masivas	Depósitos residuales de canal o niveles en barras arenosas				
Hr	Litofacies heterolíticas con laminación ondulítica	Depósitos alternantes de tracción y decantación (áreas de intercanal, cuerpos de agua efímeros, áreas de interduna)				
Fl	Pelitas laminadas	Decantación en áreas de intercanal, de interduna o cuerpos de agua efímeros				
Fm	Pelitas masivas	Decantación en áreas de intercanal, de interduna o cuerpos de agua efímeros				

Elemento arquitectural MA: está constituido por paquetes tabulares, de 1 a 3 metros de espesor, de areniscas con laminaciones horizontales y de muy bajo ángulo (litofacies Shg, Shm, Shb, Slg, Slm y Slb, Tabla II, Fig. 3). En menor medida aparecen también areniscas masivas (Sme), horizontales y deformadas (Shd) o lentes aisladas de areniscas con laminación ondulítica (Sre). Texturalmente todas estas litofacies están formadas por arenas finas a muy finas y muy bien seleccionadas. Otros depósitos característicos son las areniscas bimodales (litofacies Shb, Slb) y las areniscas gruesas a muy gruesas, masivas (Sme), que conforman lentes de hasta 20 cm de espesor, con base cóncava y techo plano.

Los elementos MA pueden ocurrir apilados, limitados por superficies planas y subhorizontales, que se reconocen por la concentración de granulometrías más gruesas (areniscas gruesas a sábulo), que en ocasiones se asocian lateralmente a las lentes de Sme antes descriptas. Por su parte, internamente este elemento arquitectural muestra en ocasiones paquetes de Shm-Slm-Shg- Slg-Sre, limitados por superficies convexas hacia arriba.

Interpretación: La textura, granulometría muy fina y homogénea laminación de estas areniscas, así como la presencia de niveles con gradación inversa de intralámina indican un origen eólico para las mismas. Particularmente la prevalencia de areniscas laminadas horizontales y de muy bajo ángulo permite interpretar al elemento MA como formado por la acreción vertical de un manto arenoso donde el proceso depositacional dominante fue la migración de óndulas eólicas [61]. Estas facies corresponden a los depósitos de manto eólico (*aeolian sand sheet*) [66, 67]. Las litofacies Sme y Smb indican procesos de bioturbación y deformación de los depósitos, debido posiblemente a la presencia de una parcial cubierta de vegetación y la acción de organismos, tal cual ocurre en los mantos eólicos del ambiente actual. Los paquetes laminados y limitados por superficies convexas en el techo se interpretaron como orginados por la acreción vertical de sombras de arena [68] o *zibars* [69, 70]. Los mantos de arena, por su parte, habrían estado sujetos a esporádica deflación, que formaron pequeños hoyos de deflación (representados por las lentes de arena gruesa) o bien a eventos mayores de erosión y concentración de clastos que determinaron pavimentos del desierto. En los afloramientos estudiados de la Fm. Vallecito las superficies que limitan los elementos MA presentan una extensión limitada a pocas decenas de metros por lo que no resultarían supersuperficies [57], sino que su orden jerárquico sería equivalente al de las superficies de sobreimposición (Tabla I), indicando periodos menores de estabilización o de deflación parcial del sistema eólico.

Elemento arquitectural MF: constituye bancos tabulares a lentiformes, de espesor promedio de 1 m y extensión lateral de entre 5 y 12 m, de areniscas finas a muy finas y muy bien seleccionadas. Predominan las litofacies Spp o Spa de pequeña escala, acompañadas por niveles de Shm, Slm, Slg, Sre (Fig. 3). Se encuentran limitados por superficies de sobreimposición, mayormente planas y horizontales o de bajo ángulo, y aparecen estrechamente asociados al elemento arquitectural MA.



Fig. 3. Esquemas de los elementos arquitecturales eólicos definidos en este trabajo (código de superficies limitantes en Tabla I y de litofacies en Tabla II).

Interpretación: las areniscas entrecruzadas, y con la textura descripta, indican la migración de dunas eólicas [62, 71]. En función de su espesor menor al metro y asociación con facies horizontales pueden interpretarse como mesoformas eólicas del estilo de protodunas o *zibars* que ocurrían en un ambiente de manto eólico.

Las areniscas finas a muy finas, muy bien seleccionadas, con estratificación entrecruzada de alto ángulo, que conforman sets de gran escala (en promedio varios metros y hasta 20 m de espesor) representan la migración de dunas eólicas [62, 71]. Dentro de estos sets entrecruzados se reconocieron cuatro estilos básicos, que constituyen distintos elementos arquitecturales y cuya morfología responde a distintos tipos de dunas eólicas, en particular de dunas crecientes. Las geoformas crecientes presentan crestas perpendiculares a la dirección de viento predominante, y resultan entonces equivalentes a las dunas transversales, barjan y barjanoides descriptas en el ambiente actual [72]. En todas ellas los procesos de depositación dominantes son la caída y flujo (avalancha) de granos en las caras de sotavento [63], en tanto puede haber acumulación de arenas por la migración de óndulas eólicas al pie de las dunas así como deformación sinsedimentaria en las caras de sotavento que determinan niveles con la litofacies Spd.

Elemento arquitectural DCR: caracterizado por sets entrecruzados tabulares, limitados por superficies de sobreimposición planas y mayormente paralelas entre sí. Internamente, los sets presentan superficies de reactivación, que limitan paquetes de láminas en las caras frontales. Las litofacies Spp y Spa predominan en este elemento arquitectural, conformando sets de hasta 5 metros de potencia (Fig. 3). Esporádicamente, aparecen también rasgos de deformación sinsedimentaria (Spd) dentro de los sets entrecruzados. La presencia de sets entrecruzados planares indican la migración de dunas de crestas rectas (dunas transversales del ambiente actual) [72].

Elemento arquitectural DCS: formado por artesas (Ste) y sets entrecruzados acuñados (Spw), de extensión lateral de varios metros a decenas de metros y espesores menores a 5 m (Fig. 3). Las amplias dimensiones de las artesas (Fig. 4c) determinan que el reconocimiento de las mismas no siempre sea sencilla, necesitándose afloramientos con secciones perpendiculares a la dirección de migración de las dunas suficientemente extensas. Por su parte, las superficies de sobreimposición que limitan los sets resultan cóncavas hacia arriba y de limitada continuidad lateral, determinando los paquetes descriptos como sets entrecruzados acuñados [64]. Estas características permiten interpretar a las formas de lecho como dunas de crestas sinuosas (dunas barján o de crestas barjanoides del ambiente actual).

Elemento arquitectural DCV: formado por sets entrecruzados, con espesores de pocos metros y geometría planar y festoneada (Spf, Figs. 3, 4d) que indican que las dunas crecientes de crestas rectas que determinaron estas unidades sufrían periódicas fluctuaciones en su geometría (altura o espaciamiento) o en la velocidad de migración [73], debido posiblemente, a vientos más variables que los que determinaron las geoformas antes descriptas. También es posible que la presencia de sets festoneados indique una menor disponibilidad de arena y de esta forma el retrabajo de los depósitos eólicos contenidos en las dunas.

Elemento arquitectural DR (draas): en los depósitos eólicos de la Fm. Vallecito se reconocieron sets entrecruzados de escala grande y gigante (entre 5 y 20 m espesor), en mayor medida de la litofacies Spa (Fig. 3), limitados por superficies de migración de interduna [57]. El espesor de los sets entrecruzados está relacionadocon el ángulo de trepada del tren de dunas por

sobre el siguiente, pero también está fuertemente influenciado por el tamaño de la forma de lecho que le dio origen [74]. En este caso, el gran espesor de los sets entrecruzados, que en varios casos superan los 15 m (Fig. 4b), permiten interpretarlos como formados por la migración de *draas* o megadunas [76, 77]. Este tipo de geoforma eólica fue estudiada en campos eólicos actuales donde se describieron avalancha de granos en caras de sotavento de hasta 120 m de altura [74].



Fig. 4. Aspecto de las areniscas eólicas de la Fm. Vallecito: a, depósitos de manto eólico de la AF1 (localidad QLF); b, set entrecruzado planar de escala gigante, 20 metros de espesor (persona de escala indicada con la flecha) de la AF2 (localidad QLF); c, sets entrecruzados en artesa de gran escala (piqueta de escala indicada con la flecha) de la AF3 (localidad NRG); d, set entrecruzado festoneado de la AF5 (localidad QLF); e, depósitos de interduna húmeda de la AF3 (localidad QLF).

Elemento arquitectural IDs: en este caso se trata de paquetes tabulares, de menos de 1 m de espesor, formados por areniscas, finas a muy finas, con laminación horizontal (Shg, Shm) y entrecruzada de muy bajo ángulo (Slg, Slm) (Fig. 3). Muy ocasionalmente se reconocen intercalaciones de la litofacies Sre así como muy delgadas láminas de Fl con pequeñas grietas de desecación en el tope de los paquetes. Este elemento aparece interestratificado entre los elementos arquitecturales DCR, DCS, DCV y DR. *Interpretación:* la presencia de depósitos muy delgados de óndulas eólicas, intercalados en las facies de dunas permite interpretar a los mismos como depósitos de interduna. La ausencia de estructuras de corriente indica que se trataba de interdunas secas [78], donde solo en raras ocasiones podría haber ocurrido la decantación de areniscas fangosas o pelitas en pequeñas acumulaciones de agua en las partes bajas de las interdunas y su posterior desecación y formación de grietas.

	Descripción	Paleoambiente
1	Paquetes tabulares de areniscas con laminación horizontal y entrecruzada de muy bajo ángulo, intercalaciones lenticulares y aisladas de areniscas con estratificación entrecruzada planar. Litofacies dominantes: Shg, Shm, Shb, Slg, Slm, Slb Litofacies accesorias: Sre, Sme, Spp, Spa Elementos arquitecturales: MA, ME	Mantos eólicos
2	Sets entrecruzados planares de escala grande a gigantes, muy escasos niveles de areniscas con laminación horizontal Litofacies dominantes: Spp, Spa Litofacies accesorias: Ser, Shg, Shm Elementos arquitecturales: DR, DCR (IDs)	Draas con dunas crecientes de crestas rectas sobreimpuestas, muy escasas áreas de interdunas secas
3	Sets entrecruzados acuñados y en artesa, de escala grande, con intercalaciones de areniscas y pelitas con laminación horizontal Litofacies dominantes: Ste, Spw Litofacies accesorias: Spa, Shg, Shm, Hr, Fl Elementos arquitecturales: DCS, IDh, IDs	Dunas crecientes de crestas sinuosas con áreas de interdunas húmedas
4	Estrecha asociación de conglomerados finos y areniscas gruesas a guijarrosas y areniscas finas, cubiertas por pelitas y areniscas finas laminadas Litofacies dominantes: Ste, Spw Litofacies accesorias: Spa Elementos arquitecturales: DCS, IDh	Sistema de interacción eólica-fluvial
5	Sets entrecruzados planares y festoneados, de escala grande Litofacies dominantes: Spf, Spa Litofacies accesorias: Spp Elementos arquitecturales: DCV, DCR	Dunas crecientes de morfología variable

Tabla l	IV.	Asociaciones	de	facies	definidas	para	la	Fm.	Vallecito
---------	-----	--------------	----	--------	-----------	------	----	-----	-----------

Elemento arquitectural IDh: en este elemento además de las litofacies descriptas en el elemento IDs se le suman niveles heterolíticos y pelíticos laminados (en ocasiones con grietas de desecación y óndulas de adhesión; litofacies Hr, Sr, Fl) y de areniscas muy finas fangosas (Sh) (Fig. 3). En este caso se trata de bancos lenticulares (Fig. 4e), de muy escasa continuidad lateral (menos de 5 m), los cuales presentan un color rojizo característico.

Interpretación: de forma semejante al elemento IDs se trata aquí de depósitos de interduna, pero donde la sedimentación ocurrió tanto por procesos eólicos (migración de óndulas) como subácueos (decantación de fangos alternante con migración de óndulas de corriente), determinado interdunas húmedas [78].

Asociaciones de facies

El análisis sedimentológico de las secciones estratigráficas relevadas permitió reconocer cinco asociaciones de facies (AF) en la Fm. Vallecito (Tabla IV), formadas por determinados elementos arquitecturales, y donde cada AF representa distintos estadios en la evolución de un sistema eólico. Otro elemento característico de la Fm. Vallecito es el color, típicamente morado para el grueso de la sucesión (paquetes eólicos), mientras que los niveles de origen mixto, fluvialeólico, resultan gris verdosos. AF1: está dominada por areniscas finas a muy finas, y en menor medida aparecen areniscas medianas a muy gruesas, organizadas en el elemento arquitectural MA, y con delgadas (entre 20 cm y 1 m) intercalaciones del elemento MF (Fig. 4). En el perfil de QLF esta unidad alcanza su mayor espesor, 60 m que ocurren en la base de la Fm. Vallecito, mientras que en la localidad NRG la AF1 aparece en el techo de la sucesión, conformando un persistente nivel, por varios kilómetros de extensión lateral y hasta 15 m de potencia máxima (Figs. 1, 5). En los afloramientos de la Fm. Vallecito en la localidad CV no se reconocieron depósitos de la AF1.

Interpretación: La presencia de elementos arquitecturales que indican la depositación a partir de la acreción vertical de mantos de arenas eólicas y mesoformas eólicas, sumado al gran espesor que alcanzan estos depósitos (varios metros a decenas de metros), permite interpretar a la AF1 como un subambiente de manto eólico. Los mantos eólicos generalmente constituyen un área de sedimentación eólica periférica a un campo de dunas o mar de arena [66], y en ocasiones pueden resultar un ambiente en sí mismos, asociados a planicies fluviales efímeras (ej. campo de Talampaya, provincia de La Rioja) [79]. En el caso de la Fm. Vallecito se interpreta la primera situación debido a la asociación con depósitos de dunas y por su posición estratigráfica en la base o techo de la sucesión eólica.

Los afloramientos de la AF1 en la localidad NRG, con respecto a aquellos que aparecen en la QLF, presentan mayor cantidad de superficies limitantes de sobreimposición, marcadas por la concentración de granulometrías más gruesas y por tramos con un relieve irregular, que indican mayor frecuencia de periodos de estabilización y/o deflación de la cubierta eólica. Esta característica y su posición en el tope de la sucesión eólica, que pasa luego a depósitos fluviales, podría indicar que los depósitos de manto eólico de la localidad NRG conformarían el estadío final del sistema eólico, mientras que en las otras dos localidades estudiadas, CV y QLF, los depósitos de dunas fueron erosionados por procesos sedimentarios posteriores.

AF2: se incluyó en esta unidad a un conjunto de areniscas finas a muy finas, que aparecen en sets tabulares de estratificación entrecruzada planar, conformando los elementos arquitecturales DR y DCR, donde el primer elemento resulta ampliamente dominante, con numerosos sets de más de 10 m de espesor. De forma muy subordinada se intercalan niveles centimétricos del elemento IDs. En la localidad QLF esta unidad se apoya sobre facies de manto eólico (AF1), alcanzando un espesor de 400 m, mientras que en los afloramientos de NRG y CV la Fm. Vallecito se inicia con depósitos de la AF1 con espesores algo menores, de 94 m y 150 m respectivamente (Fig. 5).

Interpretación: la prevalencia de sets entrecruzados de más de 1 m de espesor indica que la acumulación de la AF2 se debió a la migración de draas, que por la morfología de los sets corresponderían a geoformas crecientes de crestas rectas. Por su parte, la muy estrecha asociación, intercalación de paquetes de DR con otros del elemento DCR permite interpretar a estos últimos como producto de la migración de dunas crecientes de crestas rectas, por sobre los draas, de forma similar a lo observado en campos de dunas actuales [74]. La escasa presencia de depósitos de interduna, indicados por el elemento IDs, sugiere un campo de dunas y *draas* con interdunas muy estrechas [24].

La medición de paleocorrientes en los sets entrecruzados de la AF2 mostraron caras frontales inclinando hacia el norte (Azimuth 0,7°, dispersión 82,3°, 32 mediciones; Fig. 5), que permiten inferir paleovientos del cuadrante sur.

AF3: también formada por areniscas finas a muy finas, muy bien seleccionadas. La característica distintiva de esta asociación de facies es la presencia de sets entrecruzados acuñados y en artesa (elemento arquitectural DCS), con intercalaciones lenticulares de los elementos IDs y IDh. Este último elemento está particularmente bien desarrollado en la localidad QLF. En los tres perfiles analizados el contacto con la subyacente AF2 resulta transicional. En las localidades NRG y CV se presenta como un único intervalo, de 125 m y 60 m respectivamente (Fig. 5), mientras que en QLF alcanza un espesor de 400 m, siendo dos veces recurrente en el perfil (Fig. 5).



Fig. 5. Perfiles de la Fm. Vallecito en las tres

Interpretación: la AF3 indica un cambio significativo en la morfología y dimensiones de las dunas que constituían el campo eólico representado por la Fm. Vallecito, esto es un pasaje de dunas y *draas* crecientes de crestas rectas a dunas crecientes de crestas sinuosas. A su vez, éstas últimas constituían trenes de dunas con áreas de interduna más amplias que las representadas por la AF2, y una sedimentación mixta, eólica y subácuea (interdunas secas y húmedas).

Las paleocorrientes medidas en la AF3 indican paleovientos del sudeste, según el promedio de inclinación de las caras frontales (Azimuth 242,9°, dispersión 72,9°, 36 mediciones; Fig. 5).

AF4: esta asociación de facies muestra importantes cambios litológicos en relación a las anteriormente descriptas, destacándose la presencia de conglomerados finos y areniscas

guijarrosas, de característico color gris verdoso, junto con espesores de pelitas laminadas y masivas moradas. Esta unidad aflora únicamente en la localidad QLF, siendo dos veces recurrente en la parte superior de la sucesión (Fig. 5). Conforma paquetes lenticulares que en decenas de metros se acuñan lateralmente entre los paquetes morados de origen eólico.

En el desarrollo de la AF4 fueron identificados dos conjuntos principales, uno inferior de color gris verdoso y mayor granulometría y otro por encima morado y texturas finas a muy finas. El paquete inferior está formado por conglomerados finos y areniscas gruesas a guijarrosas (litofacies Gm, SGm, Sm; y, en menor medida y en orden de abundancia, litofacies Sh, Sp, Sr), que conforman bancos tabulares a lentiformes, con bases irregulares y de hasta 3 metros de potencia. Entre estos niveles se intercalan areniscas masivas o con laminación horizontal o entrecruzada de muy bajo ángulo, generalmente bimodales (litofacies Sme, Shb, Slb), que exhiben mejor selección textural que las anteriores. Desde el punto de vista arquitectural, y en función de la predominancia de facies producto de corrientes subácueas, estas rocas pueden ser descriptas como formando el elemento arquitectural CH [48, 49].

Por encima de las facies anteriores, y con un espesor máximo de 4 metros, aparecen limolitas y arcilitas, por lo general laminadas (litofacies Fl, Fm), entre las que se intercalan varios niveles de areniscas muy finas, con laminación ondulítica y heterolítica (litofacies Sr, Hr), y constituyen el elemento OF [48, 49].

Interpretación: la importante participación de granulometrías gruesas, con estructuras de corriente, estratificadas en bancos lentiformes de bases erosivas, sugiere la existencia de depósitos fluviales [49]. La sedimentación habría estado dominada por depósitos residuales de canal (litofacies Gm, SGm, Sm), depositación en lecho plano de alto régimen (Sh) y esporádica migración de megaóndulas y óndulas de corriente (litofacies Sp, Sr), que sugiere crecidas mayormente mantiformes en canales poco definidos [80]. Por su parte, la intercalación de niveles de areniscas con Shb y Slb, producto de la migración de óndulas eólicas, indica una génesis compleja, con procesos fluviales y eólicos, semejante a los descriptos en ambientes actuales [70, 81] y por en facies antiguas [70, 82]. Las limolitas, arcilitas y areniscas muy finas que cubren los depósitos anteriores pueden ser interpretadas como depositadas en pequeños cuerpos de agua efímeros.

La intercalación de la AF4 dentro de depósitos de dunas eólicas (AF3, AF5), acuñándose además lateralmente en pocas decenas de metros, junto con la presencia de facies eólicas íntimamente asociadas a los depósitos subácueos, sugiere una sedimentación producida por una progradación fluvial dentro del sistema eólico. Las facies finas depositadas por decantación podrían relacionarse a la formación de pequeños cuerpos de agua temporarios debido al endicamiento de los canales por la migración de dunas eólicas. Se destaca que estas facies finas son cubiertas luego por areniscas entrecruzadas eólicas incluidas en la AF5 (Fig. 5).

AF5: las areniscas finas a muy finas, muy bien seleccionadas, de esta unidad están organizadas arquitecturalmente en los elementos DCV y DCR, sin intercalaciones de los elementos IDh o IDs. En esta asociación, además de la litofacies Spf, resultan muy abundantes los sets con caras frontales asintóticas y donde, en algunos casos, se reconocieron pequeñas láminas con gradación inversa de intralámina. Por lo general, el espesor de los paquetes entrecruzados no supera los 2 metros, aunque en algunos pocos casos se han observado sets de hasta 6 metros de potencia. La AF5 aparece únicamente en la localidad QLF, donde alcanza un espesor de 150 metros y aparece hacia el tope de la sucesión (Fig. 5).

Interpretación: la presencia de sets tabulares de estratificación entrecruzada (Spp, Spa y Spf) indica que los depósitos de la AF5 son el resultado de la migración de dunas

crecientes de crestas rectas. Por su parte, el elemento DCV indica que parte de estas dunas sufrían periódicas fluctuaciones en su morfología (altura o espaciamiento) y/o velocidad de migración [73].

Las capas entrecruzadas de la AF5 (Azimuth 348,4°, dispersión 87,3°, 24 mediciones; Fig. 5) sugieren paleovientos también del sur, semejantes a los sets de la AF2.

Consideraciones estratigráficas

Una de las problemáticas que presentan las sucesiones sedimentarias cenozoicas del noroeste de Argentina es la realización de correlaciones sustentables en vista de la gran fragmentación que presentan, en muchos casos, los afloramientos de las unidades incluidas dentro de una misma denominación formacional. Esta fragmentación puede ser producto de la deformación andina que estructuró el relieve actual de la región o bien que las sucesiones que fueron incluidas dentro de una misma Formación, al haber sido correlacionadas litológicamente o por sus relaciones estratigráficas, podrían resultar en rigor unidades depositadas en distintas cuencas sedimentarias y que, por lo tanto, no tuvieron continuidad al momento de la sedimentación. Para la resolución de estas alternativas es necesario no solo obtener dataciones numéricas de las rocas sino también realizar investigaciones sedimentológicas, estructurales, entre otras, que permitan reconstruir el desarrollo de las cuencas sedimentarias (configuración paleogeográfica, relleno sedimentario, evolución, etc.).

La Fm. Vallecito no se encuentra ajena a esta problemática, y aunque algunos estudios fueron realizados [12, 13, 40, 41] es opinión de la autora que son necesarios más análisis, tanto cronológicos (en este caso termocronología detrítica ante la ausencia de niveles de tobas, al menos en los afloramientos estudiados) como de análisis de cuenca, entre otros, para arribar a una mejor comprensión del significado estratigráfico de este conjunto de areniscas eólicas.

Los resultados de la presente contribución reforzarían la correlación litológica de las areniscas eólicas (Fm. Vallecito) de las localidades relevadas (Fig. 1) propuesta, en tanto el origen eólico de las areniscas entrecruzadas y su asociación con la facies volcánica de la Fm. Cerro Morado, en las hojas geológicas [12, 13, 40, 41] (Fig. 2). Además de estos elementos, las interpretaciones aquí presentadas muestran un patrón semejante en el ordenamiento litofacial-arquitectural de esta sucesión sedimentaria. En las tres localidades analizadas los primeros paquetes entrecruzados resultan de gran potencia (numerosos sets de más de 10 m de espesor), que pueden ser descriptos mediante los elementos arquitecturales DR y DCR (Fig. 3) y fueron interpretados como depósitos de *draas* con dunas menores sobreimpuestas (morfología de dunas crecientes de crestas rectas) (AF2, Fig. 5). En el perfil de QLF estos paquetes se apoyan sobre areniscas laminadas horizontales (elementos ME y MF, Fig. 3), interpretándose que allí la depositación eólica comenzó con facies de manto eólico (AF1, Fig. 5).

Los *draas* fueron luego reemplazados, en las tres columnas estratigráficas y de forma transicional, por dunas crecientes de crestas sinuosas (AF3, Fig. 5), evidenciadas por una morfología distinta de los sets entrecruzados (elemento DCS, Fig. 3). El perfil del sitio CV muestra nuevamente la migración de *draas* y dunas sobreimpuestas de crestas rectas sobre las dunas sinuosas (AF2, Fig. 5).

Apoyándose sobre los sets entrecruzados de las AF2 y AF3, se observó en los tres perfiles un importante cambio facial, donde los depósitos de dunas pasan a rocas de origen mixto, fluvialeólico (AF4 en CV y QLF, Fig. 5) o de manto eólico con numerosos rasgos de deflación y presencia de areniscas gruesas y muy gruesas (AF1 en NRG, Fig. 5). Un dato adicional que merece ser destacado es la composición petrográfica de los niveles de la AF4. Las areniscas gris verdosas de la AF4 resultan casi exclusivamente arenitas líticas, dominadas por fragmentos de rocas volcánicas (promedio 58%), mayor porcentaje de plagioclasas (24%) que de feldespatos potásicos (8%) y muy bajos porcentajes de cuarzo (menos de 10%) [83]. Asimismo, los conglomerados que se intercalan con estas areniscas están compuestos mayoritariamente por clastos de volcanitas (andesitas, dacitas y riolitas) [14]. Esta misma composición aparece en las rocas que constituyen la Fm. Cerro Morado (conglomerados y aglomerados aluviales y niveles volcánicos), que cubren las areniscas eólicas en CV (Figs. 1, 5). En función del origen fluvial de algunos de los niveles de la AF4 y de su composición litológica se interpreta que estos depósitos fueron producto de la progradación de cuñas clásticas aluviales desde el arco volcánico representado por la Fm. Cerro Morado [40, 41, 44]. El relieve generado por este arco volcánico habría producido una reactivación de las áreas de aporte, al principio promoviendo facies fluvioeólicas para luego reemplazar totalmente la sedimentación eólica (sitios CV y NRG, Fig. 5).

En la localidad QLF la actividad fluvial solo quedó registrada como una intercalación de depósitos mixtos dentro de los paquetes entrecruzados (Fig. 5), debido posiblemente a una mayor lejanía del ambiente volcánico. Luego entonces continuó la sedimentación eólica dada por la migración de las mismas dunas de crestas sinuosas (AF3, Fig. 5). Otro rasgo destacable de la AF3 en esta localidad es la intercalación de depósitos de interduna húmeda que indican un nivel freático más somero y mayor disponibilidad de agua en el sistema que podría estar relacionado a la reactivación fluvial interpretada por las facies fluvio-eólicas de la AF4.

Los últimos tramos de la columna de QLF (AF5, Fig. 5) evidencian un nuevo cambio en la morfología de las dunas, representadas por los elementos DCV y DCR (Fig. 3). Hacia el tope la sedimentación eólica fue aquí también interrumpida, primero parcialmente por facies de interacción eólica-fluvial (AF4, Fig. 5) y finalmente con depósitos fluviales (Fm. Vinchina).

Otro elemento que evidenciaría un origen común de las rocas de la Fm. Vallecito estudiadas está representado por la medición de paleocorrientes, ya que se obtuvieron las mismas orientaciones en cada facies en las tres localidades analizadas [13].

Además del patrón semejante de facies, y el característico color morado de los intervalos eólicos de las sucesiones estudiadas, las areniscas eólicas de los tres perfiles estudiados muestran una semejante composición petrográfica. Están formadas por arenitas líticas a feldespático-líticas, dominadas por fragmentos líticos (46%) de rocas volcánicas ácidas a mesosilícicas, metamórficas (pizarras y esquistos) y en menor cantidad sedimentarias, seguido por cuarzo (30%) y mayor proporción de feldespatos potásicos (15%) que de plagioclasas (9%) [83].

Finalmente, y a pesar de la falta de certezas sobre la edad de las areniscas eólicas, la Fm. Vallecito y las unidades cenozoicas asociadas a ella muestran un patrón estratigráfico muy semejante en las cuencas de Bermejo [40, 41], La Troya [33], Vinchina [84] y Rodeo-Iglesia en la Precordillera Central [85]. La sucesión comienza con capas rojas de areniscas y pelitas, de sistemas fluviales efímeros de baja energía y lacustres (Fm. Puesto La Flecha), cubiertas por las areniscas eólicas (Fm. Vallecito) que en varios sitios (CV, QLF y Precordillera Central) presentan intercalaciones de niveles fluviales con fuerte composición volcaniclástica (semejante a la Fm. Cerro Morado). Sobre las areniscas eólicas aparecen nuevamente depósitos fluviales de alta energía (Fm. Vinchina), que en algunas localidades se intercalan además con depósitos piroclásticos (Fm. Cerro Morado).

Consideraciones paleoclimáticas

La predominancia de areniscas que indican la migración de dunas eólicas, conformando afloramientos que presentan una extensión lateral de cientos a miles de metros y espesores de entre 200 y 1200 metros, en cada una de las localidades estudiadas, indican que la Fm. Vallecito representa la depositación en extensos campos de dunas o mares de arena [86]. El elemento esencial para la generación de este tipo de ambiente sedimentario es la presencia de condiciones climáticas áridas a semiáridas, como ocurre en los mares de arena y campos de dunas actuales (ej. Desiertos arenosos del Sahara, Namibia, Taklamakán, oeste de América del Norte, Atacama, centro de Australia, entre otros). Las áreas desérticas están asociadas principalmente a latitudes subtropicales, al interior de grandes continentes o regiones con efecto de sombra pluviométrica (*rain shadow*). Las unidades cenozoicas andinas se habrían depositado fundamentalmente en este último tipo de desierto, desarrollado por un importante levantamiento de la Cordillera de los Andes entre ca. 20 y 15 Ma, que generó un significativo alto topográfico bloqueando la entrada de humedad desde el Pacífico [11, 40, 41, 87].

En estos paleodesiertos cenozoicos se desarrollaron tanto sistemas efímeros, fluviales (ej. Fm. Vinchina) [88] y lacustres (Fm. Río Mañero) [89], entre otras muchas unidades [1], como sistemas de dunas eólicas (formaciones Vallecito, Mariño, Pachaco, Los Llanos, Santo Domingo, Laguna Brava, Angastaco; referencias en la Introducción). La ocurrencia de numerosas unidades eólicas, varias de las cuales podrían resultar de edad miocena temprana, estaría indicando condiciones climáticas más extremas que durante la sedimentación de las sucesiones fluviales. Condiciones de mayor aridez, con muy escasa cubierta vegetal y limitada actividad fluvial que permitieran el desarrollo y migración de dunas eólicas, en varios casos de gran envergadura (ej. *draas* como los aquí interpretados en la AF2) y ocupando amplios sectores de las cuencas sedimentarias (gran continuidad lateral de las areniscas eólicas).

A nivel regional semejantes condiciones climáticas áridas fueron interpretadas para el Mioceno temprano a partir del registro sedimentario de otras cuencas de la región sur de América del Sur [10]. Mientras que a nivel global, entre los ca. 27 y 15 Ma, se interpretó la presencia de una tendencia de calentamiento y una reducción de la extensión del hielo antártico [90].

A pesar de que los sistemas eólicos se asocian a climas áridos [91 - 94] es importante tener presente que no solo el clima puede condicionar la acumulación de facies eólicas [95]. Los componentes que favorecen el desarrollo de los sistemas eólicos, al considerarlos en un contexto estratigráfico y de cuencas sedimentarias, son el aporte de sedimentos, la disponibilidad del mismo para ser transportado por el viento y una suficiente capacidad transporte por el viento [96]. Los dos últimos elementos están íntimamente asociados a condiciones áridas mientras que un alto aporte de sedimentos puede ocurrir bajo distintas condiciones climáticas. De este modo, un gran aporte de arenas puede posibilitar la formación de dunas aún cuando las condiciones climáticas no resultaran tan extremas. Asimismo, aún en sistemas áridos e hiperáridos puede producirse sedimentación subácuea [97], por ejemplo por la presencia de sistemas fluviales alóctonos. Es por ello que al analizar el significado paleoclimático de las sucesiones eólicas deben también considerarse estos elementos y evaluar distintas posibilidades que hubieran favorecido la sedimentación eólica.

Además de los controles que posibilitan la formación de un ambiente eólico, para la generación de un registro sedimentario eólico son necesarias la acumulación y preservación de

los sedimentos depositados. De esta manera, la generación de importantes espesores de arenaseólicas requiere tanto que las condiciones propicias de formación se mantengan por un periodo prolongado de tiempo (al menos miles de años) [86] como que estos sistemas eólicos se desarrollen en cuencas sedimentarias con altas tasas de subsidencia [24].

Las espesas sucesiones eólicas cenozoicas de las cuencas andinas del oeste-noroeste de Argentina estarían indicando una interacción positiva entre factores climáticos (condiciones áridas) y tectónicos (alta tasa de subsidencia) que posibilitaron la formación de extensos mares de arena y la concomitante acumulación y preservación de las arenas eólicas, ya sea durante un intervalo de tiempo determinado o bien a lo largo de varios momentos de la historia geológica e estas cuencas.

Conclusiones

A pesar de que a primera vista las areniscas de la Fm. Vallecito se vislumbran como una unidad de gran homogeneidad de facies sedimentarias un análisis detallado de la arquitectura de los cuerpos sedimentarios (litofacies, estructuras sedimentarias y estilos de los paquetes entrecruzados, geometría, superficies limitantes, espesor y extensión lateral) permitió diferenciar ocho elementos arquitecturales los cuales representan depósitos de manto eólico, de distintos tipos dunas eólicas y de interdunas secas y húmedas (Fig. 3). Dentro de los paquetes entrecruzados se reconocieron depósitos de *draas* con dunas crecientes de crestas rectas sobreimpuestas, de dunas crecientes de crestas sinuosas, dunas crecientes de crestas rectas y morfología variable.

Estos elementos, por su parte, se agrupan espacial- y genéticamente a lo largo de las sucesiones sedimentarias, determinando cinco asociaciones de facies las cuales representan distintos estadios en la evolución del sistema eólico de la Fm. Vallecito (Tabla IV, Fig. 5). Las asociaciones AF1, AF2, AF3 y AF5 muestran la acumulación de sedimentos debido a procesos eólicos como acreción vertical de mantos eólicos o migración de distintas morfologías de dunas, con o sin áreas de interdunas. También se reconocieron depósitos producto de la interacción de procesos eólicos y fluviales (AF4), interpretados como el registro de incursiones fluviales en el sistema eólico, debido a la progradación de cuñas clásticas aluviales por reactivaciones de las áreas de aporte. En función de la composición petrográfica muy rica en clastos de origen volcánico de estos niveles fluviales y la asociación de techo de la Fm. Vallecito con la Fm. Cerro Morado, de semejante composición volcániclástica, podría considerarse que la sedimentación eólica fue parcialmente coetánea con el arco volcánico representado por la Fm. Cerro Morado [44].

El similar arreglo de facies, composición petrográfica de las areniscas y patrones de paleocorrientes permitiría realizar una correlación litoestratigráfica de las sucesiones eólicas desarrolladas en las tres localidades relevadas (CV, NRG, QLF, Fig. 1). La información cronológica disponible [41, 42, 44, 45, 46, 47] indica que esta importante sedimentación eólica, que generó sucesiones de entre 200 y 1200 metros de espesor y cientos a miles de metros de extensión lateral, habría ocurrido durante el Mioceno temprano.

Aun considerando que la presencia de depósitos eólicos no es prueba *sine qua non* de áridez [95, 97] las espesas areniscas eólicas que indican la predominancia del proceso de migración de dunas eólicas, resultaría una evidencia de la presencia de condiciones áridas durante el Mioceno temprano. La posible existencia de una sedimentación sincrónica o parcialmente sincrónica de las unidades eólicas andinas (Vallecito, Pachaco, Los Llanos, Santo Domingo, Laguna Brava, Angastaco), la cuál debe ser confirmada, reforzaría la interpretación de condiciones climáticas extremas durante este intervalo de la evolución de las cuencas andinas. A nivel regional semejantes condiciones climáticas áridas fueron interpretadas para el Mioceno temprano a partir del registro sedimentario de otras cuencas de la región sur de América del Sur [10].

Finalmente, la generación de un espeso registro sedimentario eólico no se relaciona únicamente con las condiciones de sedimentación sino también que la acumulación y preservación de estos paquetes eólicos, que resultan muy lábiles a la erosión fluvial, señalan altas tasas de subsidencia durante la acumulación de estos depósitos [24].

Agradecimientos

El presente trabajo se basa en algunas de las investigaciones realizadas durante la realización de la tesis doctoral de la autora, un especial agradecimiento entonces a quien fuera mi director de tesis, Dr. Carlos O. Limarino, y el financiamiento dado por los proyectos de investigación de la Universidad de Buenos Aires (UBACyT X866 y UBACyT X213) y del CONICET PIP 5187. La autora agradece el permanente apoyo provisto por el Departamento de Ciencias Geológicas de la Universidad de Buenos Aires y el CONICET. La lectura crítica realizada por la Dra. Patricia L. Ciccioli permitió mejorar el manuscrito original. Un muy cordial agradecimiento a la Academia Nacional de Ciencias Físicas, Exactas y Naturales por el reconocimiento dado con el Premio Estímulo 2012 y la invitación a publicar la presente contribución.

Referencias

- [1] V.A. Ramos, en *Geología Argentina*, R. Caminos (Editor), Instituto de Geología y Recursos Minerales, Buenos Aires, (1999).
- [2] V.A. Ramos, Rev. Asoc. Geol. Argent. 25, 359 (1970).
- [3] T.E., Jordan, B.L., Isacks, R.W., Allmendinger, J.A., Brewer, V.A. Ramos & C.J. Ando, *GSA Bulletin* 94, 341 (1983).
- [4] G.H. Ré & S.P. Barredo, Rev. Asoc. Geol. Argent. 48, 241 (1993).
- [5] F. Ruiz & A. Introcaso, J. S. Am. Earth Sci. 14, 655 (2001).
- [6] G., Bossi, S. Georgieff, I. Gavriloff, L. Ibáñez & C. Muruaga, J. S. Am. Earth Sci. 14, 725 (2001).
- [7] C.O. Limarino, A. Tripaldi, S.A. Marenssi, L.I. Net, G. Re & A.T. Caselli, J. S. Am. Earth Sci.14 (7), 751 (2001).
- [8] F. Martina, F.M. Dávila & R.A. Astini, Sed. Geol. 186, 51 (2006).
- [9] J.A. Salfity & R.A. Marquillas, *Cenozoic Geology of the Central Andes of Argentina*, SCS Publisher, Salta (2011).
- [10] J.P. Le Roux, Sed. Geol. 247, 1 (2012).
- [11] M.V. Irigoyen, K.L. Buchan & R.L. Brown, GSA Bulletin 112, 803 (2000).
- [12] J.P. Milana, Rev. Asoc. Geol. Argent. 48, 283 (1993).
- [13] A. Tripaldi, Análisis sedimentológico de depósitos eólicos de valles intermontanos, su aplicación al estudio de secuencias terciarias del noroeste argentino, Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires (2002).
- [14] J.P. Milana, M. Cevallos, A.M. Zavattieri, M. Prámparo & O.H. Papú, XII Congreso Geológico Argentino, Actas II, 226 Mendoza (1993).
- [15] M. Ezpeleta, F.M. Dávila & R.A. Astini, Rev. Asoc. Geol. Argent. 61, 171 (2006).
- [16] F.M. Dávila & R.A. Astini, Rev. Geol. Chile 30, 187 (2003).
- [17] F.M. Dávila, Rev. Asoc. Geol. Argent. 60, 32 (2005).

- [18] A.L. Garrone, F.M. Dávila & R.A. Astini, XVII Congress Geológico Argentino Actas IV, 111 (2008).
- [19] H. Vizán, S. Geuna, R. Melchor, E.S. Bellosi, S.L. Lagorio, C. Vásquez, M.S. Japas, G. Ré & M. Do Campo, *Tectonophysics* 583, 105 (2012).
- [20] F. Hongn, C. del Papa, J. Powell, P. Payrola, I. Petrinovic & R. Mon, en Cenozoic geology of the Central Andes of Argentina, J.A. Salfity & R.A. Marquillas (Editores), Salta, SCS Publisher (2011).
- [21] B. Carrapa, S. Bywater-Reyes, P.G. DeCelles, E. Mortimer & G.E. Gehrels, Basin Res. 23,1(2011).
- [22] C.S. Swezey, SEPM Special Publication 77, 207 (2003).
- [23] S.G. Fryberger & T.S. Ahlbrandt, Z. Geomorphol. 23, 440 (1979).
- [24] G. Kocurek & K.G. Havholm, en Siliciclastic sequence stratigraphy, recent developments and applications, P. Weimer & H.W. Posamentier (Editores), American Association of Petroleum Geologists Memoir 58, 393 (1993).
- [25] A.D. Miall, Earth Sci. Rev. 22, 261 (1985).
- [26] A. Gansser, J. Geol. Soc. **129**, 93 (1973).
- [27] R. Somoza & M.E. Ghidella, Rev. Asoc. Geol. Argent. 60, 797 (2005).
- [28] B.L. Isacks, T.E. Jordan, R.W. Allmendinger & V.A. Ramos, V Congreso Latinoamericano de Geología Actas 3, 587 (1982).
- [29] E.A. Rosello, M.E. Mozetic, P.R. Cobbold, M. de Urreizttieta & D. Gapais, XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos Actas II, 187 (1996).
- [30] V.A. Ramos, E.C. Cristallini & D.J. Pérez, J. S. Am. Earth Sci. 15, 59 (2002).
- [31] J.A. Beer & T.E. Jordan, J. Sediment. Petrol. 59, 330 (1989).
- [32] J.H. Reynolds, T.E. Jordan & N.M. Johnson, X Congreso Geológico Argentino Actas II, 109 (1987).
- [33] A.M. Tedesco, Estratigrafía, evolución paleoambiental y tectosedimentaria de la Cuenca de La Troya (Paleógeno y Neógeno, Precordillera de La Rioja), Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires (2007).
- [34] O. Bracaccini, *Contribución al conocimiento geológico de la Precordillera sanjuanino Mendocina*, Boletín de Informaciones Petroleras 258 (1946).
- [35] A. Borello & A. Cuerda, *Grupo Río Huaco (Triásico), San Juan*, Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, La Plata (1968).
- [36] G. Furque, Descripción geológica de la Hoja 17b, Guandacol, provincias de La Rioja y San Juan, Dirección Nacional de Geología y Minería (1963).
- [37] G. Furque, Descripción geológica de la Hoja 16b, Cerro Bolsa. Provincias de La Rioja y San Juan, Dirección Nacional de Geología y Minería (1972).
- [38] G. Furque, Descripción geológica de la Hoja 18c, Jáchal (provincia de San Juan), Servicio Geológico Nacional (1979). [39] C.O. Limarino, H.L. Sessarego, O.R. López Gamundí, P.R. Gutiérrez & S.N. Césari, Rev. Asoc. Geol. Argent. 42, 153 (1987).
- [40] T.E. Jordan, R. Drake & Ch. Nasser, XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos Actas II, 132 (1993).
- [41] T.E. Jordan, R.W. Allmendinger, J.F. Damanti & R. Drake, R, J. Geol. 101, 135 (1993).
- [42] A.T. Caselli, S. Marenssi, A. Tripaldi, C.O. Limarino & M.L. Gagliardo, M.L., XV Congreso Geológico Argentino Actas I, 679 (2002).
- [43] M. De La Fuente, P. L. Ciccioli, C.O. Limarino, P.R. Gutiérrez & L.E. Fauqué, Ameghiniana 40, 617 (2003).
- [44] C.O., Limarino, L.A., Fauqué, R., Cardó & M.L. Gagliardo, Rev. Asoc. Geol. Argent. 57, 289 (2002).
- [45] F.M. Dávila, G. Collo, R.A. Astini & G. Gehrels, XVII Congreso Geológico Argentino Actas II, 95 (2008).
- [46] P.L. Ciccioli, C.O. Limarino & R. Friedman, I Simposio del Mioceno-Pleistoceno del Centro y Norte de Argentina Actas, 16 (2012).

- [47] P.L. Ciccioli, C.O. Limarino, S. Marenssi, A.M. Tedesco & A. Tripaldi, Rev. Asoc. Geol. Argent. 66, 146 (2010).
- [48] A.D. Miall, Earth Sci. Rev. 13, 1 (1977).
- [49] A.D. Miall, Principles of Sedimentary Basin Analysis, 3rd. Edit., Springer-Verlag, Berlin (1996).
- [50] G. Kocurek, en Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy, Chap. 5 Desert aeolian systems, Blackwell, Oxford (1996).
- [51] A. Heward, A., en The three-dimensional facies architecture of terrigenous clastic sediments and its implications for hydrocarbon discovery and recovery, A.D. Miall & N. Tyler (Editores), SEMP, Concepts in Sedimentology and Paleontology (1991).
- [52] S.A. Cain & N.P. Mountney, Sedimentology 56, 1774 (2009).
- [53] A.D. Miall, en The three-dimensional facies architecture of terrigenous clastic sediments And its implications for hydrocarbon discovery and recovery, A.D. Miall & N. Tyler (Editores), SEMP, Concepts in Sedimentology and Paleontology (1991).
- [54] W.L. Stokes, J. Sediment. Petrol. 38, 510 (1968).
- [55] M.E. Brookfield, Sedimentology 24, 303 (1977).
- [56] M.R. Talbot, Sedimentology 32, 257 (1985).
- [57] G. Kocurek, Sed. Geol. 56, 193 (1988).
- [58] R.P. Langford & M.A. Chan, GSA American Bulletin 100, 1541 (1988).
- [59] N. Lancaster, Geology 16, 972 (1988).
- [60] T.S. Ahlbrandt, en A Study of Global Sand Seas, E.D. McKee (Editor), U.S. Geological Survey, Professional Paper 1052 (1979).
- [61] R.E. Hunter, J. Sediment. Petrol. 47, 697 (1977).
- [62] R.E. Hunter, Sedimentology 24, 361 (1977).
- [63] S.G. Fryberger, P. Hesp & K. Hastings, Sedimentology 39, 319 (1992).
- [64] M.L. Porter, Sedimentology 34, 661 (1987).
- [65] D.M. Rubin & R.E. Hunter, en *Eolian sediments and processes*, M.E. Brookfield & T.S. Ahlbrandt (Editores), Development in Sedimentology (1983).
- [66] S.G. Fryberger, T.S. Ahlbrandt & S.A. Andrews, J. Sediment. Petrol. 49, 733 (1979).
- [67] G. Kocurek & J. Nielson, Sedimentology 33, 795 (1986).
- [68] P.A. Hesp, J. Sediment. Petrol. 51, 101 (1981).
- [69] J. Nielson & G. Kocurek, Sed. Geo. 48, 1 (1986). [70] A. Tripaldi & C.O. Limarino, Latin Am. J. Sed. and Basin An. 15, 43 (2008).
- [71] G. Kocurek & R.H. Dott, J. Sediment. Petrol. 51, 579 (1981).
- [72] E.D. McKee, A Study of Global Sand Seas, U.S. Geological Survey, Professional Paper 1052 (1979).
- [73] D.M. Rubin, *Cross-bedding, Bedform and Paleocurrents*, Soc. Econ. Paleont. Miner., Concepts in Geology, Tulsa (1987).
- [74] D.M. Rubin & R.E. Hunter, Sedimentology 29, 121 (1982).
- [75] I.G. Wilson, Sedimentology 19, 173 (1972).
- [76] K. Pye & H. Tsoar, Aeolian Sand and Sand Dunes, Springer, Berlin (2009).
- [77] K.G. Havholm & G. Kocurek, Sedimentology 35, 649 (1988).
- [78] T.S. Ahlbrandt & S.G. Fryberger, SEPM Special Publication 31, 293 (1981).
- [79] A. Tripaldi & C.O. Limarino, Geogaceta 28, 145 (2000).
- [80] B.A. Hampton & B.K. Horton, Sedimentology 54, 1121 (2007).
- [81] R.P. Langford, Sedimentology 36, 1023 (1989).
- [82] R.P. Langford & M.A. Chan, Sedimentology 36, 1037 (1989).
- [83] A. Tripaldi & C.O. Limarino, J. S. Am. Earth Sci. 19, 343 (2005).
- [84] P.L. Ciccioli, C.O. Limarino, M. Marenssi, A.M.Tedesco & A. Tripaldi, en Cenozoic Geology of the Central Andes of Argentina, J.A. Salfity & R.A. Marquillas (Editores), Salta, SCS Publisher (2011).
- [85] MS. Alonso, C.O. Limarino, V.D. Litvak, S.M. Poma & J. Suriano, en Cenozoic Geology of

the Central Andes of Argentina, J.A. Salfity & R.A. Marquillas (Editores), Salta, SCS Publisher (2011).

- [86] I.G. Wilson, Sed. Geo. 10, 77 (1973).
- [87] B.G. Ruskin & T.E. Jordan, J. Sed. Res. 77, 661 (2007).
- [88] A. Tripaldi, L.I. Net, C.O. Limarino, S. Marenssi, G. Re & A.T. Caselli, *Rev. Asoc. Geol. Argent.* 56, 443 (2001).
- [89] D.C. Malizia & A. Villanueva García, 1984. IX Congreso Geológico Argentino, Actas V, 146 (1984).
- [90] J.C. Zachos, M. Pagani, L. Sloan, E. Thomas & K Billups, Science 292, 686 (2001).
- [91] R.C. Blakey, F. Peterson & G. Kocurek, Geology 56, 3 (1988).
- [92] D.B. Loope, M.B., Steiner, C.M. Rowe & N. Lancaster, Sedimentology 51, 315 (2004).
- [93] G.D. Veiga & L.A. Spalletti, Gond. Res. 11, 286 (2007).
- [94] J.P. Rodríguez-López, N. Meléndez, P.L. De Boer & A.R. Soria, Sedimentology 55, 1253 (2008).
- [95] B. Chase, *Earth Sci. Rev.* **93**, 31 (2009).
- [96] G. Kocurek & N. Lancaster, Sedimentology 46, 505 (1999).
- [97] N. Lancaster, Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 76, 279 (1990).

Manuscrito recibido el 3 de abril de 2013. Aceptado el 15 de mayo de 2013.