

MODELO DEPOSITACIONAL DE UN ERG PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MODELOS GEOLÓGICOS: FORMACIÓN CANDELEROS (GRUPO NEUQUÉN), RÍO NEGRO, CUENCA NEUQUINA

María Soledad Gualde¹ y María Lidia Sánchez¹

1: Universidad Nacional de Río Cuarto, msoledadgualde@gmail.com, msanchez@exa.unc.edu.ar

Palabras clave: Formación Candeleros, Grupo Neuquén, Cuenca Neuquina, modelos geológicos, depósitos eólicos, erg.

RESUMEN

Los afloramientos de Grupo Neuquén, en el ámbito de Cuenca Neuquina, brindan excelentes exposiciones que permiten la ejecución de estudios sedimentológicos y estratigráficos, con alto nivel de resolución. Esto permite construir modelos de escalas diferentes, que favorecen la aproximación de atributos de interés específicos para la construcción de modelos análogos de superficie, aplicables a subsuelo. Los análogos de afloramiento, han tenido especial atención en los últimos años, dado que su estudio apunta directamente a potenciar, entre otros objetivos, el entendimiento de las arquitecturas de los reservorios en subsuelo. El presente trabajo constituye una contribución al conocimiento de las arquitecturas de mediana y gran escala de un erg cretácico, las discontinuidades estratigráficas (super superficies) y las implicancias probables de procesos tales como la pedogénesis en la sucesión estratigráfica. Los depósitos de erg estudiados se ubican en el oeste de la provincia de Río Negro, y conforman la sección superior de la Formación Candeleros (Subgrupo Río Limay-Grupo Neuquén) de edad Cenomaniano. Los mismos fueron depositados en la cuenca de backbulge durante el estadio inicial de cuenca subalimentada del antepaís Andino. El erg cubrió un área aproximada de 826 km² y en la actualidad los registros alcanzan una potencia de más de 100 m. La sección estratigráfica comprende al menos seis grandes campos de dunas con numerosas super superficies que demuestran los cambios y la complejidad de su evolución. Esto está también relacionado a la intensa interacción con sistemas fluviales y el desarrollo de extensas lagunas que inundaron tanto los corredores de interduna como las áreas próximas al margen del erg. Como consecuencia del desarrollo en condiciones climáticas fuertemente estacionales, con episodios de aridización en el interior continental del Gondwana, durante el Greenhouse Cretácico, los paleosuelos constituyen un rasgo distintivo y de alto valor en las definiciones estratigráficas.

INTRODUCCIÓN

Parte del avance en el conocimiento del Grupo Neuquén en estratigrafía de alta resolución han estado centradas fundamentalmente en la caracterización de los reservorios fluviales y enfocados desde una perspectiva general en la relación entre la evolución tectónica de la cuenca y la arquitectura estratigráfica, con vistas a establecer diferentes configuraciones y distribución

temporal de las distintas unidades dentro de la cuenca. Sin embargo, algunos intervalos de Grupo Neuquén son conocidos por el desarrollo de extensos sistemas de erg durante el Cenomaniano, Cenomaniano-Turoniano y Santoniano-Campaniano relacionados con periodos de intensa aridización del interior continental del Gondwana durante el Greenhouse del Cretácico. Estos depósitos no han recibido particular atención en la literatura geológica, con excepción de aquellos preservados en la Formación Bajo de La Carpa (Sánchez et al., 2006). Sin embargo, la arquitectura y atributos de los reservorios en ambientes de erg, son importantes de analizar a diferentes escalas, puesto que contienen distribuciones heterogéneas de litologías y permeabilidades, asociadas con otros ambientes, tales como fluviales y lacustres, que dificultan aún más las predicciones a partir de los modelos.

En este sentido, la Formación Candeleros en el sector centro-oeste en la provincia de Río Negro, brinda afloramientos de excelente calidad, que ofrecen visualizaciones de tipo 2D y 3D. Esto permite definir arreglos de secuencias genéticas y patrones de apilamiento de potentes depósitos eólicos que pueden ser utilizados para la construcción de modelos análogos. Estos pueden jugar un rol central en el mejoramiento hacia el entendimiento de las arquitecturas de los reservorios en subsuelo, puesto que proveerán importante información en cuanto a: elementos geomórficos, geometría y conectividad potencial.

En este trabajo se analizan las litofacies y arquitectura interna de la sucesión sedimentaria asignada al tramo superior de la Formación Candeleros, en el oeste Río Negro (Fig. 1), con la finalidad de determinar los paleoambientes de sedimentación, sus relaciones genéticas y distribución espacial, para la elaboración de un modelo geológico a gran escala.

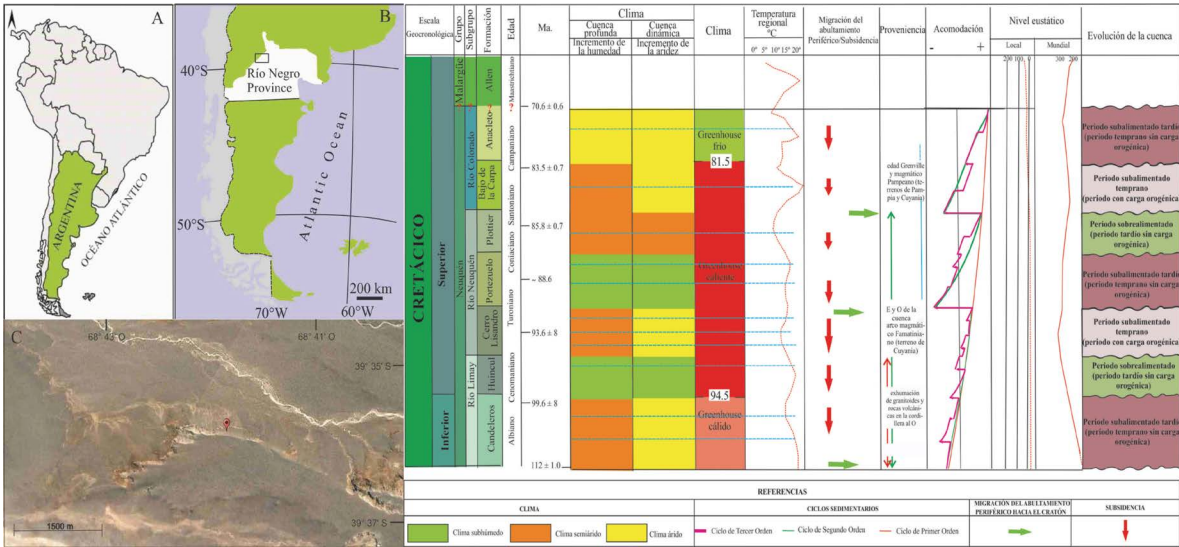


Figura 1. A) República Argentina B) Provincia de Río Negro, ubicación del área de estudio. C) Imagen satelital de la zona estudiada. A la derecha, cuadro estratigráfico del Grupo Neuquén.

SEDIMENTOLOGÍA

Para lograr el objetivo del trabajo se seleccionaron exposiciones continuas de 2 a 4 km, de rumbo noroeste-sudeste y este-oeste, perpendiculares o ligeramente oblicuas a la dirección de paleocorrientes. Las exposiciones fueron enteramente fotografiadas para confeccionar paneles y se seleccionaron seis secciones para confeccionar un perfil sedimentológico y una sección integrada (Fig.2). La calidad y continuidad de los afloramientos permitió identificar las discontinuidades mayores presentes dentro de la sucesión.

ANÁLISIS DE FACIES

Se han identificado tres litofacies conglomerádicas, nueve de areniscas y dos pelíticas (Cuadro 1), que fueron agrupadas en diez asociaciones de litofacies, dos de ellas de origen eólico, siete fluviales y una lacustre (Cuadro 2).

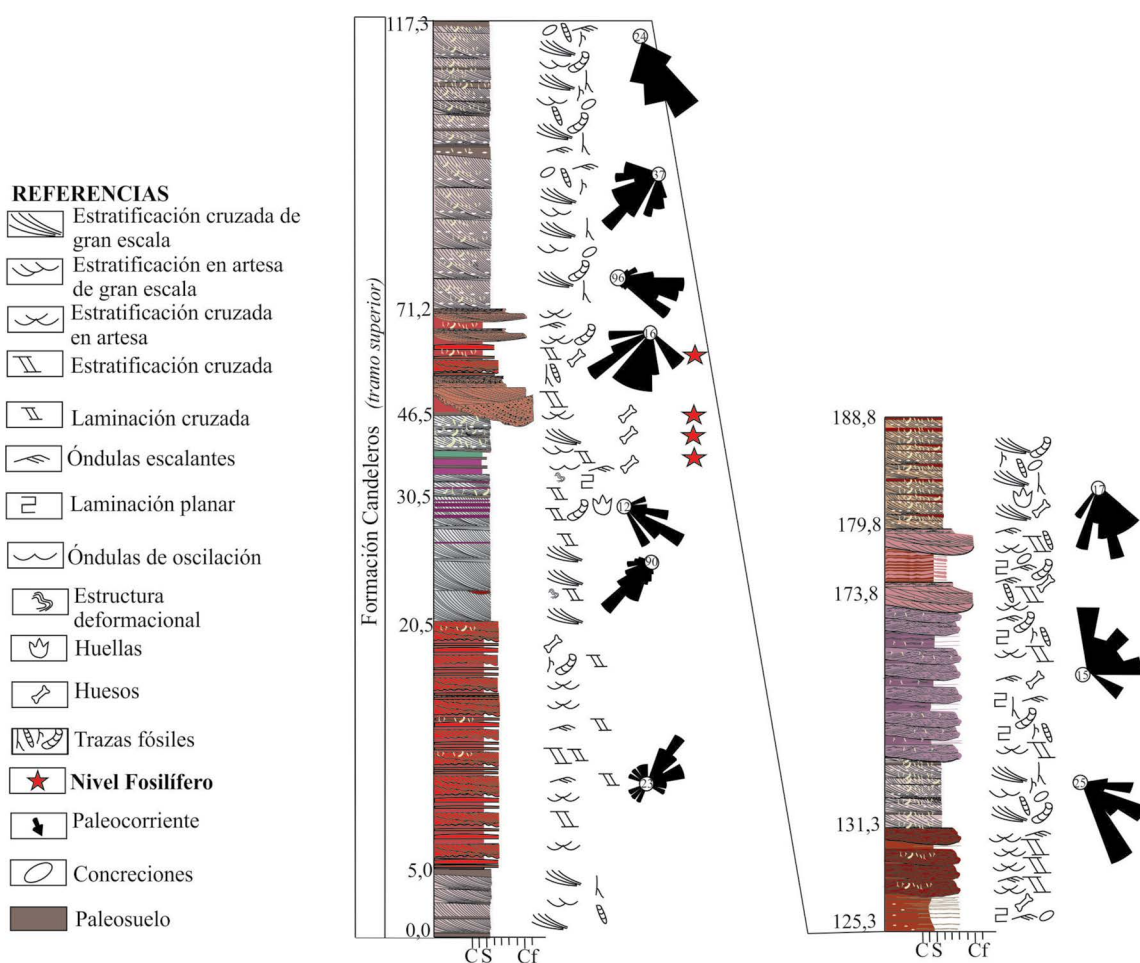


Figura 2. Sección integrada de la Formación Candeleros (tramo superior).

PALEOAMBIENTES SEDIMENTARIOS

En el área de estudio se ha identificado el tramo superior de la Formación Candeleros (Subgrupo Río Limay). La sucesión se inicia con depósitos eólicos (AF-II) que finalizan con el desarrollo de una superficie de estabilización caracterizada por niveles paleosuelos. En estos niveles se identificaron diversas generaciones de paleosuelos clasificados como composite (Kraus, 1999).

Suprayacen depósitos fluviales constituidos por el desarrollo de canales sinuosos, someros multiepisódicos (AF-V), depósitos de desbordes (AF-VII), de flujo en manto (AF-VIII) y planicie de inundación (AF-IX). En conjunto las asociaciones representan un sistema fluvial efímero en el que pueden diferenciarse depósitos proximales canalizados, rellenos durante episodios de máxima descarga y distales que registran numerosos episodios de flujo en manto con escaso desarrollo de canales entrelazados someros. La periodicidad de los eventos de inundación dio lugar a la conformación de delgadas unidades de desborde que representan episodios menores de alta descarga (Alexander et al. 2001; Scherer et al., 2007; Hassan et al., 2009). En los sedimentos de llanura de inundación se reconocen numerosos niveles de paleosuelos, posiblemente debido a altos rangos de acumulación y la frecuencia media a baja de episodios de inundación.

Continúan en la sucesión, depósitos generados producto de una interacción fluvio-eólica, representados por un gran campo de dunas en ambiente de erg central, que corresponden a formas transversales complejas y parabólicas (AF-I y II), y que periódicamente, se vió afectado por la acción de corrientes fluviales efímeras (AF-V, VII y IX), que invadieron los ambientes de interduna. Parte de los sectores de interduna fueron ocupados por extensas lagunas (AF-X). El sistema eólico fue húmedo (Kocurek, 1996), las formas de lecho crecieron y migraron rápidamente a través de las áreas de interduna húmeda y en muchos casos el ingreso de las mismas en los cuerpos de agua generó abundantes estructuras de deformación tipo slumps. El campo de dunas permaneció estacionario, sus márgenes se expandieron y contrajeron en respuesta a variaciones climáticas de corto término, exposición subaérea, suministro de sedimentos e interferencia del sistema fluvial. Los datos que sugieren que los depósitos de dunas han estado caracterizados por largos periodos de migración, incluyen la orientación consistente de sus estratos entrecruzados y la superposición de sucesivos depósitos de dunas sobre superficies de truncación extensas que culminan con paleosuelos.

Sobreyace una sucesión monótona en la que se identifican tres campos eólicos que lateralmente engranan en sus tramos superiores tres sistemas fluviales que invaden los corredores de interduna. Este proceso conjuntamente con la elevación del nivel freático, condicionó el abundante desarrollo de las macroformas eólicas y el desarrollo de espesos niveles de paleosuelos composite.

En todos los casos, la presencia de unidades de interduna húmeda puede asociarse con un nivel freático elevado relacionado con condiciones climáticas monzónicas. Los cambios estacionales en el régimen de precipitaciones controlaron la invasión del campo de dunas por corrientes fluviales

Modelo depositacional de un ERG para la construcción de modelos geológicos:
Formación Candeleros (Grupo Neuquén), Río Negro, Cuenca Neuquina

L	Descripción	Interpretación
A	Conglomerados masivos, clasto soportados, con selección regular y clastos subangulosos (SA) a subredondeados (SR) con tamaño máximo de clasto (TMC) de 5 cm. La matriz es de tamaño de grano arena y su selección regular. La gradación está ausente o es normal y son comunes los clastos imbricados. Conformar cuerpos irregulares, de 7 a 10 cm de espesor, con base erosiva de alto relieve.	Relleno de canales.
B	Conglomerados clasto-soportados con selección regular, clastos subredondeados, TMC de 5 cm, imbricados. La matriz es de granulometría arena a sábulo y presenta selección pobre. Tienen gradación normal y estratificación paralela. Constituyen cuerpos tabulares con contacto basal neto erosivo o planar, a irregular.	Mantos de grava generados durante la fase principal de alta descarga en canales.
C	Conglomerados y sabulitas con selección regular, clasto-soportados de hasta 0,35 m de espesor. Los clastos son SA a SR con TMC de 2 cm. Presentan estratificación entrecruzada planar. Configuran cuerpos tabulares que exhiben en el techo abundantes trazas fósiles. Los contactos basales son netos erosivos.	Barras transversales en canales de baja sinuosidad.
D	Conglomerados clasto soportados o sabulitas con selección regular, estratificación entrecruzada en artesas, gradación normal, clastos SA a SR y TMC de 2 cm. La matriz es de tamaño arena, con selección regular. Las unidades alcanzan hasta 0,2 m de espesor. Constituyen cuerpos lenticulares con contacto basal erosivo.	Dunas de bajo relieve y crestas sinuosas desarrolladas en canales.
E	Areniscas de grano grueso a mediano y selección regular, estratificación entrecruzada planar. Conformar cuerpos con gradación normal, base erosiva y hasta 0,25 m de potencia.	Barras transversales u oblicuas.
F	Areniscas de grano mediano con selección moderada y estratificación entrecruzada en artesas. Integran cuerpos tabulares o lenticulares con tendencia granodecreciente, base erosiva y hasta 0,50 m de espesor.	Migración de formas de lecho tridimensionales en canales fluviales.
PI	Cuerpos tabulares o ligeramente acuñados con granulometría arena fina-arcilla, moteados y discontinuidades físicas de orientación horizontal y nódulos. En general contienen rizolitos (rizomoldes, y rizohalos) excavaciones de relieve completo relleno. Se ha reconocido la icnofacies, rizolitos. En general se caracteriza por baja diversidad y abundancia de individuos, cuyos componentes principales son trazas de raíces y los componentes accesorios son las excavaciones.	Paleosuelos
H	Areniscas de grano mediano a fino, con selección moderada, con estratificación entrecruzada planar de gran escala. Conforman cuerpos tabulares o acuñados, con una potencia de 3 a 5 m, limitados por superficies netas planares, onduladas o erosivas. Las caras frontales inclinan con moderado a alto ángulo. Internamente los "sets" consisten de estratos de "sandflow", laminación "grainfall" y laminación "ripple" eólica.	Depósitos de migración de dunas eólicas
I	Areniscas de grano mediano a fino, con selección moderada, masivas o laminación paralela difusa. Conforman cuerpos acuñados de hasta 1,5 m de potencia, incluyen abundantes trazas fósiles, rizohalos, cementación con carbonatos, concreciones y moteados.	Paleosuelos sometidos a fluctuaciones periódicas del nivel freático
J	Areniscas con tamaño de grano mediano a fino, bien seleccionadas y con estratificación paralela o de bajo ángulo y laminación paralela. Integran cuerpos tabulares con contactos netos planares y de 2 m espesor. Contiene abundantes trazas, y restos de vertebrados.	Depósitos de interduna.
K	Areniscas de grano fino, bien seleccionadas con "truncated-ripple foreset crosslaminae" y "complete rippleform laminae" que integran niveles discontinuos de hasta 5 cm paralelos a la superficie depositacional.	Deposición a partir de vientos con alta velocidad sobre superficies planares u onduladas.
L	Areniscas de grano fino a mediano, con selección moderada, e intraclastos pelíticos. Exhiben estratificación paralela y laminación paralela. Integran unidades granodecrecientes con base neta planar o erosiva.	Depósitos partir de flujos de alto régimen en canales.
M	Areniscas de grano fino a muy fino limosas, con selección moderada, laminación entrecruzada planar y en artesa, óndulas, óndulas escalantes y de oscilación. Componen cuerpos bioturbados de 3 m de espesor.	Pequeñas formas de lecho en canales o llanura de inundación.
N	Arcilitas y limolitas con laminación fina que conforman unidades tabulares con bases netas planares, de hasta 3 m de potencia, que pueden incluir a areniscas con laminación paralela y óndulas y arcilitas con laminación ondulosa y óndulas de oscilación.	Depósitos de decantación pura y migración de pequeñas formas de lecho.
O	Arcilitas y limolitas con laminación ondulosa y óndulas de oscilación que constituyen unidades tabulares con bases netas planares o gradacionales, y hasta 1 m de espesor	Depósitos de planicies de inundación o de la fase de abandono de canales.

Cuadro 1. Descripción de litofacies. L: Litofacies

AF	Descripción	Interpretación
I	Integrada por LH, I y K. LH constituye el registro de caras de avalancha de dunas eólicas que preserva niveles con óndulas de "back flow" (FK). Los depósitos de dunas están apilados con intercalaciones o pasajes laterales a depósitos masivos (FI), constituyendo cuerpos de hasta 10 m de potencia.	La baja dispersión en la dirección de inclinación de las capas frontales de los estratos entrecruzados de la litofacies FH, indica formas transversales de crestas rectas.
II	Constituida por FH, I, J, PI y K. La litofacies H representa el registro de caras de deslizamiento de dunas eólicas con intercalaciones de escasos niveles producto de la separación del flujo sobre la cara de deslizamiento (FK). FH tiene abundantes trazas fósiles en niveles que coinciden con planos de estratificación entrecruzada de gran escala de las dunas, limitadas por superficies de truncación. Los cuerpos de dunas, de hasta 5 m, aparecen aislados dentro de estratos de interduna (FJ), de forma irregular, elongada y algunas veces semicirculares en su distribución en planta, alcanzan hasta 2 m de espesor; y depósitos de areniscas macizas (FI) que en algunos casos desarrollan horizontes arcillosos o calcáreos.	Capas frontales de dunas con rizoconcreciones paralelas a la estratificación entrecruzada de gran escala y paleosuelos. Los cuerpos de interduna dentro de la asociación representan, tipos extremos: seca (FJ y FI con horizontes Bk) y húmeda (FI con horizonte Bg).
III	Incluye a las litofacies FA, B, C y D o FA, E, F y M. Conforman cuerpos lenticulares de hasta 2,50 m de espesor y 300 m de longitud, con base erosiva y en ocasiones con profusos calcos de carga	Relleno de canales de alta sinuosidad compuestos por varias unidades limitadas por superficies erosivas que sugieren múltiples eventos de relleno. También verifican procesos de acreción lateral en los bordes de canal señalando tramos sinuosos del curso fluvial.
IV	Conformada por las litofacies FE, F y M, constituye cuerpos lenticulares con base erosiva, de hasta 1,20 m de espesor y 150 m de longitud. En éstos se identifican superficies de erosión seguidas por una sucesión granodecreciente.	Relleno de canales someros de baja sinuosidad con múltiples eventos de relleno. La acreción lateral en los bordes del canal y la migración de pequeñas barras transversales, fue un proceso importante durante diferentes estadios del sistema.
V	Constituida por FA y, en menor proporción, FC, D y M. Configura cuerpos tabulares y/o lenticulares con base erosiva de hasta 1,50 m de espesor y 100 m de longitud que incluyen varias unidades granodecrecientes que inciden fuertemente unas en otras y están limitadas por superficies erosivas.	Relleno de canales someros simples multiepisódicos. La sedimentación tuvo lugar bajo condiciones de alta descarga producto de eventos de inundación y los periodos de inactividad fueron prolongados.
VI	Las litofacies más frecuentes son FA y FD, en proporciones subordinadas FE, FL y FM. Conforman cuerpos lenticulares de hasta 1,70 m de potencia y más de 150 m de longitud limitados en su base por superficies erosivas.	La geometría, presenta superficies de acreción lateral, los caracteres internos de estos depósitos permite asignarlos a canales de alta sinuosidad.
VII	Integrada por FE, F o L y FM. Constituye cuerpos lenticulares de base neta erosiva o tabulares de hasta 50 m de ancho y 0,2 a 0,5 m de espesor. Se identifican por lo general varias unidades granodecrecientes apiladas y en los cuerpos tabulares domina FL. Son frecuentes las rizoconcreciones y efectos de organismos perforantes.	Son depósitos de desbordes. Las formas canalizadas reflejan proximidad al ambiente del canal principal, y la geometría tabular, la ausencia de bases erosivas, la abundancia de partición pelítica, estratificación paralela y ciclicidad vertical de pequeña escala, indican condiciones distales.
VIII	Involucra a FL, M y O, que constituyen unidades tabulares con base neta planar, una ciclicidad vertical de pequeña escala y una potencia que oscila entre 0,2 y 1,8 metros	La configuración geométrica de la asociación y las litofacies que la integran son homologables a los tramos distales de sistemas fluviales efímeros.
IX	Está dominada por FF, O, N y L con intercalaciones de FM. Los cuerpos pueden alcanzar más de un kilómetro de extensión lateral y espesores de hasta 5 m. Se reconocen hasta cuatro unidades superpuestas con niveles bioturbados y estructura en bloques.	Representa depósitos de planicie de inundación afectados por flujos periódicos de alta energía y en otros casos procesos pedogenéticos.
X	Se caracteriza por la presencia de la litofacies M. Constituye depósitos de gran extensión areal con espesores que llegan a los 6 metros. Se reconocen episodios diferentes.	Se asocia a depósitos lacustres con interacción eólica, que generan estructuras de deformación al ingresar a los cuerpos de agua.

Cuadro 2. Descripción de asociaciones de litofacies. AF: Asociación de Litofacies

efímeras de alta y baja sinuosidad (AF III, IV, V, VI, VII y IX / V, VI, VII, VII Y IX) y el desarrollo de paleosuelos en los depósitos de interduna húmeda durante la estación lluviosa y la generación de abundantes costras calcáreas, que controlaron los niveles de erosión, en la estación seca. Por definición estas acumulaciones eólicas corresponderían en su totalidad a sistemas eólicos húmedos (Crabough y Kocurek 1993; Kocurek 1996). El tercer y último campo de dunas, se caracterizó por el desarrollo preferencial de dunas pequeñas, favorecido por una combinación de un nivel freático elevado, un sustrato cementado tempranamente, erosión fluvial continua de depósitos eólicos y escaso suministro o disponibilidad de arena (Kocurek y Nielson 1986).

La arquitectura de los depósitos eólicos a gran escala, evolucionan desde un dominio de extensas unidades de erg central en el área noroeste, con un diseño homologable al modelo eólico de Cedar Mesa (Mountney, 2002) hacia el sureste, donde se identifican los términos superiores de la sucesión estudiada, con una arquitectura similar al modelo de Cedar Mesa marginal. Por lo tanto el sistema de erg tuvo su área central en el sector noroeste del área de estudio, mientras que sus áreas marginales se preservan y se acuñan hacia el sudeste y suroeste.

CONCLUSIONES

Los estudios llevados a cabo en el sector oeste de la provincia de Río Negro en el tramo superior de la Formación Candeleros a partir de la distribución espacial, relaciones y geometrías de las asociaciones, conjuntamente con la identificación de discontinuidades estratigráficas significativas, han permitido definir cinco campos de dunas y estilos fluviales efímeros de alta a baja sinuosidad, que interfirieron permanentemente con el sistema eólico húmedo (Fig. 3).

A nivel regional el sistema de erg se desarrolló en una extensa área con una orientación preferencial NO-SE, con el centro del erg ubicado en el NE del área de estudio.

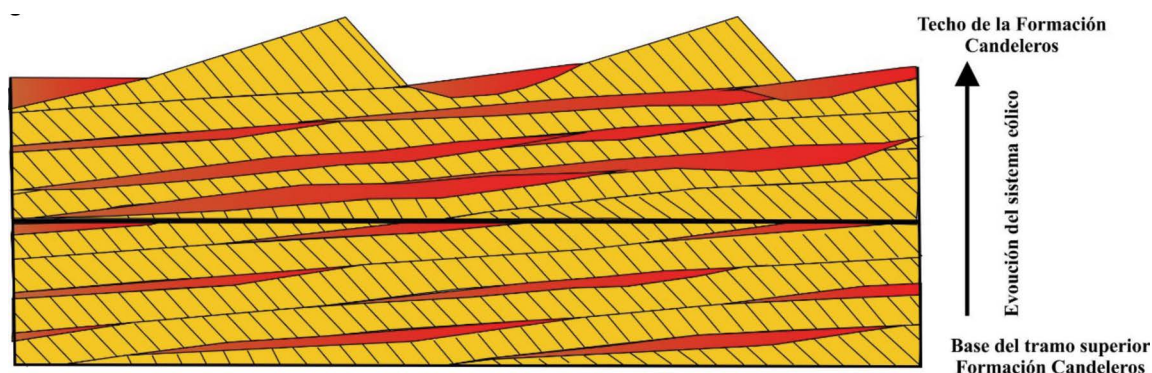


Figura 3. Modelo de evolución del sistema eólico para el tramo superior de la Formación Candeleros, modificado a partir de Mountney (2002)

REFERENCIAS

- Alexander, J., Bridge, J., Cheel, R. y Leclair, S., 2001. Bedforms and asociated sedimentary structures formed under supercritical water flows over aggrading sand beds. *Sedimentology*, 48 (1): 133-152.
- Crabaugh, M. y Kocurek, G., 1993. Entrada Sandstone: an example of a wet aeolian system. In: Pye, K. (Ed.). *The dynamics and environmental context of aeolian sedimentary system*. Geological Society Special Publication N° 72, 103-126.
- Hassan, M. A., Marren, P. M., Schwartz, U., 2009. Bar structure in an arid ephemeral stream. *Sedimentary Geology*, 221: 57-70.
- Kocurek, G. y Nielson, J., 1986. Conditions favourable for the formation of warm-climate aeolian sand sheets. *Sedimentology*, 33: 751-772.
- Kocurek, G., 1996. Desert aeolian systems. In: Reading, H. (Ed.): *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp. 125 .153.
- Kraus, M., 1999. Paleosols in clastic sedimentary rocks: their geologic applications. *Earth-Science Reviews*, 47: 41-70.
- Mountney, N. P., y Thompson D. B., 2002. Stratigraphicevolution and preservation of aeoliandune and damp/wetinterdunestrata: anexample fromtheTriassicHelsbySandstoneFormation, ChesireBasin, UK. *Sedimentology*, 49 (4): 805-833.
- Sánchez, M., J. Gómez y S. Heredia, 2006. Sedimentología y paleoambientes sedimentarios de los tramos medio y superior del Subgrupo Río Colorado (Cretácico superior), Grupo Neuquén, en las bardas de la ciudad de Neuquén y alrededores, Argentina. *RAGA* 61 (2): 236-255.
- Scherer, C.M.S., Lavina, L.E.C., DiasFilho, D.C., Oliveira, F.M., Bongioio, D.E., Silva, E., 2007. Stratigraphy and facies architecture of the fluvial –aeolian–lacustrine Sergi Formation (Upper Jurassic), Recôncavo Basin, Brazil. *SedimentaryGeology* 194, 169 –193.