

DEPÓSITOS DE FLUJOS GRAVITACIONALES SUBÁCUEOS DE SEDIMENTOS EN EL FLANCO ACTIVO DE LA CUENCA NEUQUINA DURANTE EL CRETÁCICO TEMPRANO

Luis A. SPALLETTI, Gonzalo D. VEIGA, Ernesto SCHWARZ y Juan FRANZESE

Centro de Investigaciones Geológicas. Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP) - CONICET. La Plata.

Emails: spalle@cig.museo.unlp.edu.ar; veiga@cig.museo.unlp.edu.ar; ernesto.schwarz@gmail.com; franzese@cig.museo.unlp.edu.ar

RESUMEN

En particular, la geometría del sustrato marino en el sector oeste de la Cuenca Neuquina durante el Jurásico Superior y el Cretácico Inferior es virtualmente desconocida, ya que la mayor parte del registro sedimentario ha sido removida durante el ascenso tectónico de la cadena andina durante el Cretácico Tardío y el Cenozoico. En este trabajo se describen sucesiones del Berriasiano - Valanginiano temprano conformadas por depósitos de flujos gravitacionales de sedimentos que afloran en el sector occidental de la faja plegada y corrida de la cuenca Neuquina (Rahueco y Huncal). Las mismas proveen nuevas claves para reconstruir la configuración de la cubeta marina (Mar Neuquino) durante el proceso de emplazamiento y emergencia del arco magmático andino. El sistema de Rahueco es una sucesión de 90 m de espesor ubicada por encima de las lutitas y margas anóxicas típicas de la Formación Vaca Muerta y la discordancia intra-valanginiana. Comprende a un conjunto de fangolitas masivas entre las que intercalan siete cuerpos de areniscas turbidíticas con diseño de superposición granocreciente, en las que se definen direcciones de transporte orientadas hacia el este y norte. El sistema de Huncal es una sucesión de entre 15 y 25 m de espesor compuesta por turbiditas arenosas que se emplaza dentro de una espesa sucesión de lutitas y margas anóxicas. Este intervalo turbidítico aparece involucrado en un horizonte de desmoronamiento, acompañado por zonas de cizalla de ángulo bajo a moderado, que muestra una persistente orientación de la estructura de deformación sinseimentaria hacia el este. El registro de flujos gravitacionales submarinos procedentes del oeste y sudoeste permite sugerir el desarrollo de una zona con alto gradiente hacia el margen occidental del Mar Neuquino. Dicha configuración de talud difiere sustancialmente de la que existiera hacia los márgenes austral y oriental para los mismos tiempos, y que se caracterizara por una geometría deposicional de bajo gradiente o en rampa. La marcada asimetría en la configuración del sustrato marino refleja el contexto geotectónico de retroarco de la Cuenca Neuquina. En este marco, el desarrollo del talud estaría vinculado con la generación de una topografía positiva correspondiente al arco magmático del margen occidental de Gondwana.

Palabras clave: *Flujos gravitacionales de sedimentos, Cuenca Neuquina, Cretácico Temprano, Argentina.*

ABSTRACT: *Early Cretaceous subaqueous sediment gravity flow deposits in the active margin of the Neuquén Basin.* During the Late Jurassic and the Early Cretaceous the Neuquén Basin was a restricted gulf-like trough partially isolated from the proto-Pacific Ocean by the geographic barrier of the Andean magmatic arc. Following an early Tithonian major (2nd order) transgressive event, black shales and marls deposited almost continuously in the deepest part of the "Neuquén Sea" for about 15 My (Middle Tithonian-early Valanginian). The western sea-floor geometry of the Tithonian-early Valanginian sea is virtually unknown because its shelf to shallow-marine deposits were heavily removed during the growth and tectonic uplift of the Andean arc during the Late Cretaceous and Cainozoic. However, sediment gravity-flow deposits were recognized in two stratigraphic locations (Rahueco and Huncal) along the westernmost outcrops of the fold and thrust belt of the Neuquén Basin. The upper Berriasian-lower Valanginian Rahueco system comprises a 90 m-thick succession developed upon a thick package of anoxic shales and marls, and limited on top by the intra-Valanginian unconformity. It mainly consists of massive mudrocks with interbedded thin and fine-grained turbiditic sandstones. Seven coarser-grained upward coarsening units interpreted as turbiditic lobes are intercalated within the fine-grained deposits of Rahueco. Palaeocurrents measured from sole marks show a main transport direction to the east and north. The lower Berriasian Huncal system comprises a 15 to 25 m interval composed of sandy turbidites located within a thick black shale and marl succession. The whole interval is involved in a slump fold system accompanied by low- to moderate-angle shear zones, and showing a persistent orientation of syndepositional deformation structures to the east. The turbiditic succession of Rahueco and the slump fold system of Huncal offer the first depositional arguments to reconstruct the western, tectonically active, margin of the Neuquén Basin for Berriasian and early Valanginian times. Unlike the cratonic/passive margins of the basin, characterised by a gently dipping sea-floor profile, its active arc-related flank had a well developed talus slope and enough sediment supply to promote deep marine turbidite deposition.

Keywords: *Sediment gravity flow deposits, Neuquén Basin, Early Cretaceous, Argentina.*

INTRODUCCIÓN

La Cuenca Neuquina, ubicada en el centro oeste de la Argentina entre las latitudes de 36° y 40° S, tuvo una compleja historia tectónica y sedimentaria que se extendió entre el Triásico y el Paleógeno. Durante la mayor parte del Jurásico y Cretácico fue una depresión de trasarco, limitada hacia el oeste por el arco magmático andino (Hallam *et al.* 1986, Spalletti *et al.* 2000, Franzese *et al.* 2003, Macdonald *et al.* 2003) y hacia el noreste y sur por las áreas cratónicas de la Sierra Pintada y del macizo Norpatagónico, respectivamente (Fig. 1). Si bien la cuenca tuvo un origen extensional, soportó varios episodios de inversión tectónica desde su evolución temprana.

En el lapso que se extendió entre el Tithoniano y el Valanginiano inferior la Cuenca Neuquina pasó por un período en el que la subsidencia tuvo un comportamiento bastante uniforme (Legarreta y Uliana 1991). La cubeta alcanzó su más amplio desarrollo regional, con una geometría de extenso engolfamiento en su sector austral, parcialmente aislada del Océano Pacífico por la barrera geográfica del arco magmático andino (Fig. 1). Esta situación hizo que los procesos sedimentarios estuviesen dominados por condiciones marinas anóxicas, que quedaron documentadas por un espeso registro de lutitas y margas negras.

Hacia los bordes cratónicos, el sustrato del Mar Neuquino tithono-neocomiano se caracterizó por un perfil de bajo gradiente (Legarreta y Uliana 1991, Spalletti *et al.* 1999 a y b, 2000, Gasparini *et al.* 1997, 1998, 2002), con pasajes muy graduales desde facies anóxicas de offshore a depósitos someros (lutitas verdosas, carbonatos biogénicos y bioclásticos muy finos a gruesos, y cuerpos de areniscas bioturbadas hasta entrecruzadas). Esta configuración de rampa marina, es decir sin desarrollo de talud o de un área con manifiesta ruptura de la pendiente, ha sido definida tanto para las áreas marginales austral y sudoriental de la cuenca (Gulisano *et al.* 1984, Mitchum y Uliana

1985, Legarreta y Gulisano 1989, Spalletti *et al.* 2001) como para el flanco oriental limitado por el sistema de la Sierra Pintada (Legarreta y Gulisano 1989, Doyle *et al.* 2005).

La reconstrucción de los sistemas depositacionales hacia el sector occidental de la Cuenca Neuquina, es decir hacia el margen limitado por el arco magmático, es mucho más problemática. Ello se debe a la supresión de buena parte del registro geológico durante la ulterior elevación de la cadena andina. No obstante, en una faja de afloramientos que se extiende por unos 60 km a lo largo del meridiano 70° 30' W (Fig. 2) se han encontrado evidencias que permiten inferir algunos de los procesos de acumulación ocurridos en el margen occidental del Mar Neuquino tithono-neocomiano. Estos procesos contrastan notablemente con aquellos acaecidos en los márgenes austral y oriental de la cuenca y reflejan una configuración fisiográfica diferente del sustrato marino. Este trabajo está destinado a describir, caracterizar e interpretar los depósitos de flujos gravitacionales de sedimentos intercalados en las facies profundas de la Formación Vaca Muerta y evaluar su importancia desde el punto de vista paleogeográfico y de sus potenciales recursos hidrocarbúricos.

MARCO GEOLÓGICO Y METODOLOGÍA

La sucesión sedimentaria de lutitas bituminosas y margas oscuras tithoniano-neocomianas de la Cuenca Neuquina es conocida con la denominación de Formación Vaca Muerta (Weaver 1931). Este conjunto se dispone concordantemente sobre sedimentitas silicoclásticas continentales de la Formación Tordillo (Kimmeridgiano). Hacia los márgenes de la cuenca los depósitos marinos de offshore son cubiertos diacrónicamente por facies marinas someras correspondientes a las Formaciones Picún Leufú y Quintuco, y más hacia el centro de cuenca son sucedidas en forma discordante por sedimentitas fluviales y marinas someras de

la Formación Mulichinco (Figs. 2 y 3).

El registro tithoniano a valanginiano ha sido integrado por Legarreta y Gulisano (1989) en un ciclo de somerización de segundo orden denominado Mesosecuencia Mendoza Inferior. Su límite inferior es el producto de una rápida transgresión marina atribuida al efecto combinado de ascenso eustático, importante subsidencia regional que sucedió a una fase de inversión tectónica acaecida en el Jurásico tardío, reducido aporte clástico marginal y condiciones favorables para la sedimentación condensada anaeróbica a disaeróbica (Legarreta y Uliana 1991, 1996, Vergani *et al.* 1995). La Mesosecuencia Mendoza Inferior muestra, a su vez, varias secuencias de mayor frecuencia (Gulisano *et al.* 1984, Mitchum y Uliana 1985, Legarreta y Gulisano 1989, Legarreta y Uliana 1991, Gulisano y Gutiérrez Pleimling 1995, Spalletti *et al.* 2000). Sin embargo, es de señalar que en las áreas depocentrales de la Cuenca Neuquina, su identificación se hace bastante dificultosa debido a la homogeneidad del registro sedimentario de costa afuera (*offshore*) y a la falta de discontinuidades mayores.

La sucesión sedimentaria estudiada aparece bien representada en el sector occidental de la Cuenca Neuquina, en una faja de orientación norte-sur ubicada entre los ríos Neuquén por el norte y Agrio por el sur (Fig. 2). En esta región aparecen facies sedimentarias que pueden considerarse atípicas para la Formación Vaca Muerta. Específicamente, se trata de una asociación de fangolitas verdosas y areniscas amarillento verdosas que aflora en el tercio superior de esta unidad estratigráfica y que se encuentra intercalada en el espeso registro de las clásicas lutitas bituminosas y margas oscuras de la Formación Vaca Muerta.

En la región de Huncal (Fig. 2) estos depósitos fueron descritos como turbiditas por Leanza *et al.* (2002, 2003, 2006), autores que los asignaron al Miembro Huncal y presentaron su distribución areal en la comarca. En el presente trabajo se han revisado las exposiciones de

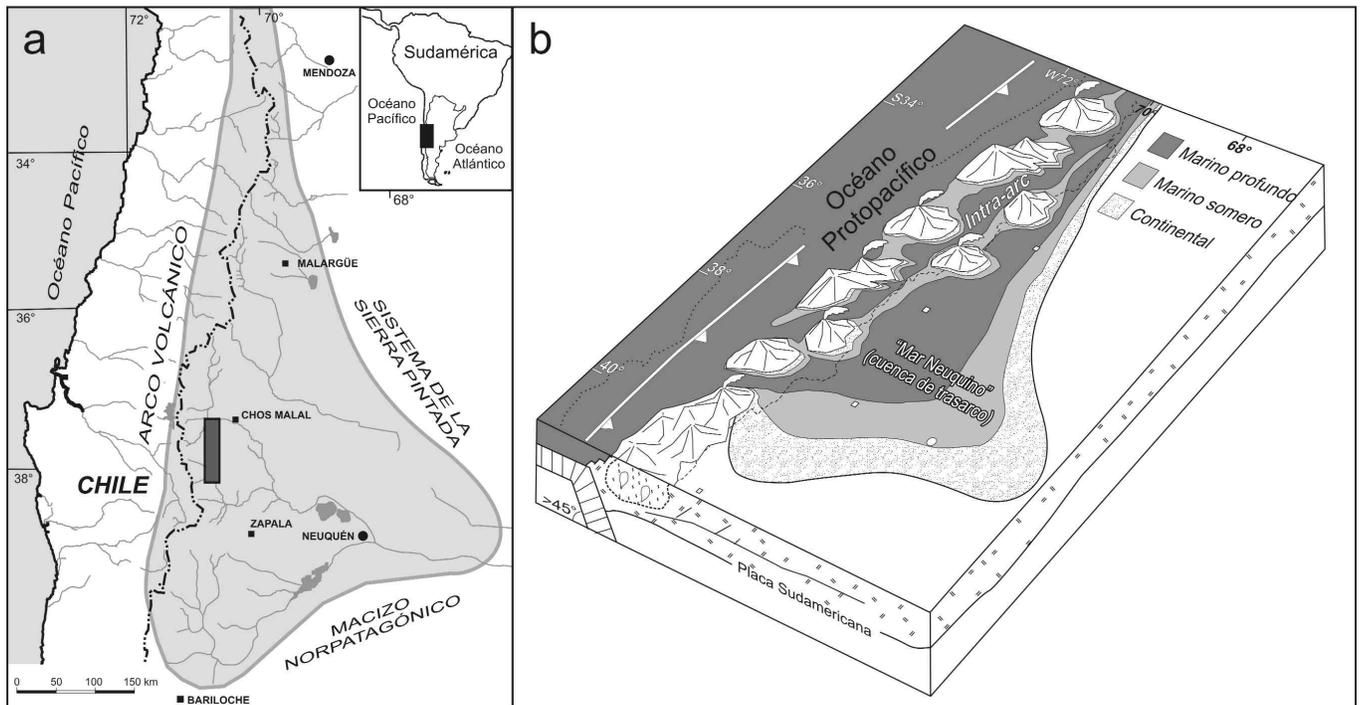


Figura 1: Mapas de ubicación (a) y esquema paleogeográfico de la Cuenca Neuquina durante el Cretácico Temprano (b).

esta localidad, en la que el conjunto de areniscas y fangolitas se encuentra involucrado en una gran estructura de desmoronamiento. Asimismo, se ha registrado también la presencia de un intervalo de mayor granulometría en la sucesión de la Formación Vaca Muerta más al norte, en la región entre Rahueco y la margen sur del río Neuquén (Fig. 2). Dicho conjunto se ubica por debajo de los depósitos silicoclásticos de la Formación Mulichinco, siendo la superficie de contacto entre ambos la discordancia intravalanginiana (*cf.* Gulisano *et al.* 1984, Schwarz 2003, Schwarz y Howell 2005). Si bien no se han encontrado fósiles diagnósticos, de acuerdo a la información bioestratigráfica que se posee de las margas y lutitas negras subyacentes (Zollner y Amos 1973) y de la Formación Mulichinco (Schwarz 2003), se considera que se acumularon entre el Berriasiano superior y el Valanginiano inferior.

Tanto en la región de Rahueco como en Huncal se efectuó el relevamiento de perfiles de detalle, a escala 1:100, acompañado de muestreo sedimentológico de acuerdo con los cambios faciales. Estas

tareas comprendieron determinaciones de la geometría de los litosomas, y de la textura, composición y estructuras primarias y secundarias de las sedimentitas con el objeto de definir facies observacionales, asociaciones de facies y diseños de superposición de los cuerpos de roca. Asimismo, se ha prestado especial atención a la determinación de la orientación de las estructuras mecánicas primarias y deformacionales a fin de definir las principales direcciones de transporte de los sedimentos.

FACIES Y PROCESOS ELEMENTALES DE DEPOSITACIÓN

Sucesión de Rahueco

Descripción: La sucesión de fangolitas y areniscas en este sector alcanza un espesor de 90 m (Fig. 4) y su tope se encuentra unos 50 m por debajo de la discontinuidad intravalanginiana (Valanginiano temprano) sobre la que aparece la parte basal de la Formación Mulichinco. Por esta posición estratigráfica se le asigna a

la sucesión de Rahueco una edad berriasiana tardía a valanginiana temprana. En esta localidad se definen dos asociaciones de facies: una dominante, compuesta esencialmente por fangolitas verdosas a grises, y otra en la que prevalecen las areniscas de tonalidades amarillentas a amarillentas verdosas.

Poco más del 75% de la sección se compone de intervalos potentes (entre 3 m y 21,5 m) de fangolitas masivas y laminadas (Fig. 4). Estos tramos incluyen también delgadas intercalaciones de areniscas finas a areniscas limosas masivas o con estratificación gradada normal de 0,02 a 0,1 m de espesor, que suelen mostrar en la superficie basal de sus capas lineaciones subestratales muy delicadas producidas por objetos, del tipo de los calcos de surco, de punzamiento y de roce. En esta asociación de facies la relación arena:fango es de aproximadamente 1:10.

La otra asociación de facies constituye siete cuerpos tabulares en los que predominan las areniscas medianas en sucesiones que pueden presentar un diseño de superposición estrato-creciente que varían entre 1,5 y 6 m de espesor (Figs. 4 y

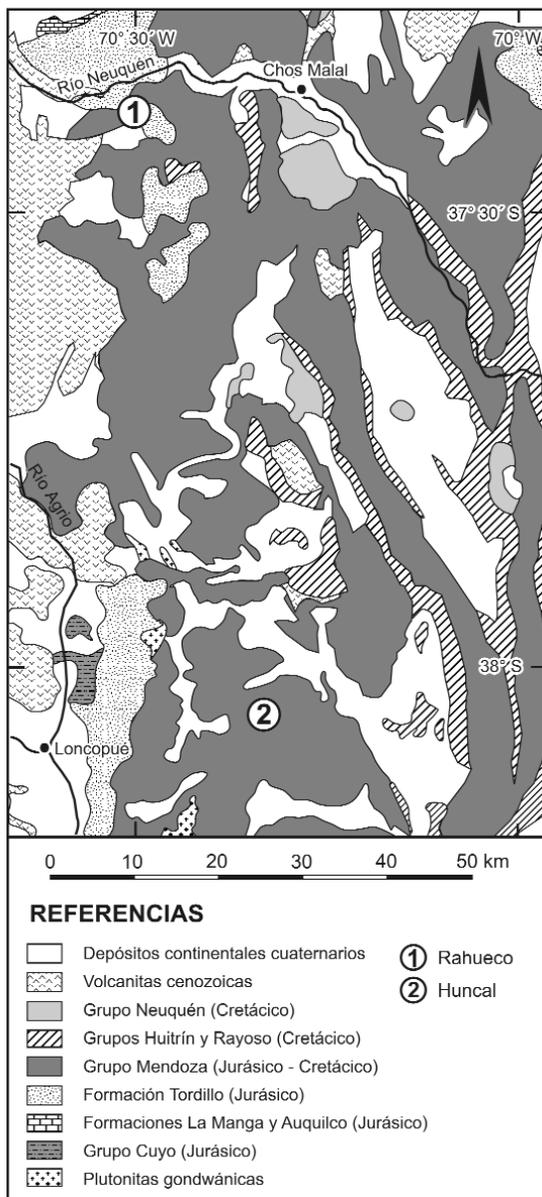


Figura 2 Bosquejo geológico del sector centro-occidental de la Cuenca Neuquina y ubicación de las localidades de estudio.

crestas sinuosas a catenarias, con longitudes de onda de 15 cm en promedio, y alturas entre 1 y 3 centímetros. Niveles con laminación convoluta son mucho más esporádicos.

Interpretación: En la sucesión de Rahueco, la asociación de facies de grano fino se interpreta como el producto de la deposición hemipelágica por decantación suspensiva o por corrientes de turbidez muy diluidas con escasa concentración de material detrítico (Stow y Shanmugam 1980, Lomas 1999, Haughton 2000). Corrientes de turbidez algo más energéticas, con escaso volumen de población traccional, originaron las capas delgadas de areniscas que intercalan en la sucesión.

Los cuerpos de areniscas de la segunda asociación de facies reflejan diversos procesos de acumulación. Las areniscas masivas se asimilan a capas Ta o S3 (Middleton 1970, Lowe 1982, 1988, Lomas 1999) y serían producto de flujos densos concentrados (*sustained concentrated density flows*, Mulder y Alexander 2001). Tanto la masividad interna como los calcos de deformación indican una súbita sedimentación de la carga de arenas, mientras que la textura limpia, casi desprovista de fango intersticial, evidencia que en el proceso de transporte los granos fueron soportados por la turbulencia del agente (Duranti y Hurst 2004). Su depositación se puede vincular al colapso desde suspensiones por desaceleración rápida de las corrientes, posiblemente asociado a saltos hidráulicos (Leclair y Arnott 2003), lo que también queda reflejado por la presencia de capas gradadas normales (Stow y Johansson 2000, Duranti y Hurst 2004). Por su parte, los intraclastos pelíticos en areniscas masivas indican procesos de retrabajo del sustrato por carpeta de tracción en la porción basal de flujos con alta concentración. Ello habría inhibido su desintegración, al no ser incorporados al sector completamente turbulento del flujo (Johansson y Stow 1995).

Los niveles con estratificación paralela de las capas arenosas de esta asociación se atribuyen a una fase de transporte por carpeta de tracción en una capa de carga

5a). Aunque las capas pueden encontrarse amalgamadas, es más común que estén separadas por interdepósitos delgados de fangolitas o intervalos heterolíticos (Fig. 5b). La relación arena - fango en esta asociación de facies va de 1:1 hasta 3:1, en tanto que la extensión lateral de los cuerpos es del orden de varios centenares de metros sin que se registren cambios significativos de espesor.

Las capas de areniscas de esta asociación poseen espesores variables entre 0,1 y 0,9 metros (Fig. 5a). Preservan en su base calcos de crestas longitudinales y de flujo asociados con calcos de carga (Figs. 5c y

d). La orientación de las lineaciones unidireccionales es hacia el este y norte (Fig. 4). La parte inferior de estos estratos arenosos es por lo general masiva, ya que la gradación normal es sólo esporádica y la laminación horizontal se encuentra pobremente preservada. En estas secciones son comunes los niveles de intraconglomerados con fenoclastos de fango así como la presencia de intraclastos fangolíticos dispersos. En cambio, hacia su parte superior los cuerpos de areniscas muestran frecuente laminación ondulítica supercrítica, así como óndulas asimétricas y casi simétricas (óndulas lavadas) con

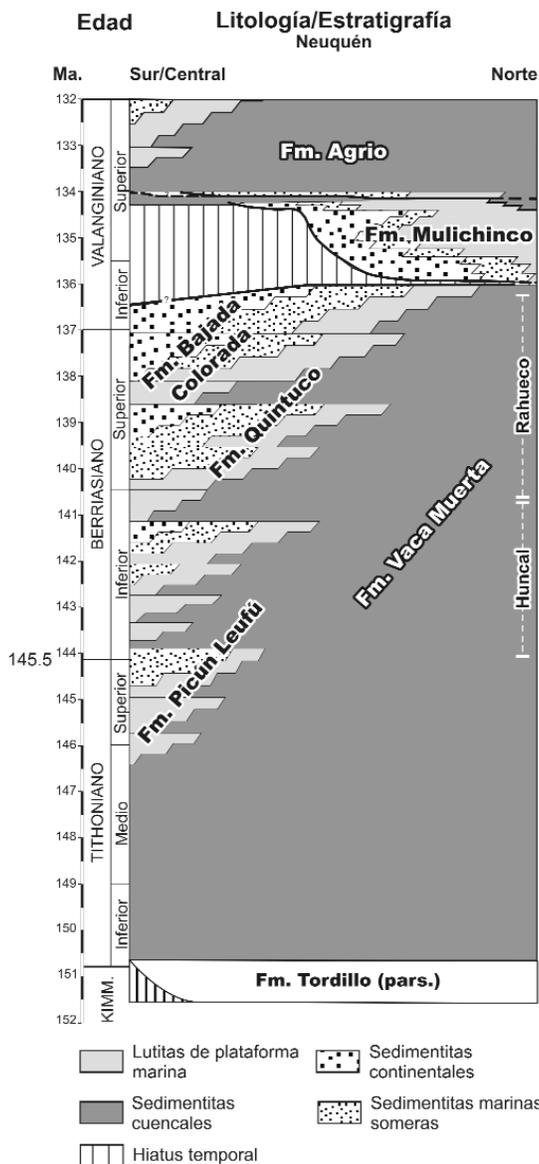


Figura 3: Esquema cronoestratigráfico de los sectores austral y central de la Cuenca Neuquina para el intervalo Jurásico Tardío - Cretácico Temprano, y ubicación cronoestratigráfica de los depósitos de flujos gravitacionales estudiados. Nomenclatura litoestratigráfica según Leanza (1973) y Legarreta y Gulisano (1989).

de lecho altamente concentrada en flujo turbulento (Dzulynski y Sanders 1962, Hiscott y Middleton 1979, Lowe 1982, Sohn 1997). Los escasos intervalos con laminación convoluta sugieren procesos localizados de escape de fluidos (Allen 1982).

La frecuente laminación ondulítica supercrítica se vincula con un elevado grado de decantación suspensiva en relación con el transporte como carga de lecho, en tanto que las óndulas lavadas en arenisca fina son producto de un régimen de transición entre capa plana y óndula linguoide (Baas y Koning 1995) en un flujo con alto tenor de carga en suspensión

(Grecula *et al.* 2003).

Los intervalos de fangolitas y depósitos heterolíticos que suelen intercalar entre las areniscas de esta asociación de facies se habrían producido por la circulación de flujos turbidíticos menguantes (*depletive flows*) en los que la fuerza tractiva de la interfase sedimentaria y el grado de decantación suspensiva variaron en cortos intervalos (Kneller 1995, Sohn 1997, Plink-Bjorklund *et al.* 2001). No se descarta que niveles delgados fangolíticos ubicados al tope de capas arenosas puedan ser el producto de decantación suspensiva luego del paso de una corriente de turbidez de alta densidad.

Los cuerpos de areniscas intercalados en las sucesiones de grano fino y con típico diseño de superposición estrato-creciente se interpretan como el producto de láminas de desbordamiento o lóbulos turbidíticos. Es importante señalar que este arreglo facial y estratal puede formarse como producto de desbordamiento lateral al canal principal de un sistema turbidítico marino profundo (*overbank splays*, Posamentier y Kolla 2003, Navarro *et al.* 2008) o en la porción frontal de tales canales (*frontal splay*, Posamentier y Kolla 2003). La información obtenida hasta el momento no permite confirmar cuál de estas opciones es la más viable. No obstante, el hecho de que no se haya registrado la presencia de cuerpos canalizados adyacentes a los depósitos de lóbulos permite sugerir que la sección estudiada en Rahueco se encontraba en una posición distal con respecto a la de los canales alimentadores.

Sucesión de Huncal

Descripción: Se trata de una sucesión de 15 a 25 m de espesor compuesta por dos asociaciones de facies que intercalan en una espesa y uniforme sucesión de lutitas negras (Fig. 6). Como se indicara previamente, los depósitos arenosos en el sector de Huncal fueron originalmente descritos e interpretados por Leanza *et al.* (2003). Desde el punto de vista litoestratigráfico, estos autores definieron al conjunto como Miembro Huncal de la Formación Vaca Muerta al que asignan una edad berriasiana temprana.

Una de estas asociaciones se caracteriza por fangolitas gris verdosas con intercalaciones de areniscas gruesas a medianas de tonalidades amarillentas verdosas. Las areniscas aparecen en cuerpos lenticulares de 0,3 a 0,6 m de espesor, con contactos netos y base acanalada, que se encuentran separados por interdepósitos fangolíticos, rara vez amalgamados (Fig. 6). Muestran un término basal con laminación paralela y de bajo ángulo, y otro cuspidal con laminación ondulítica supercrítica (Fig. 6). Algunos estratos pose-

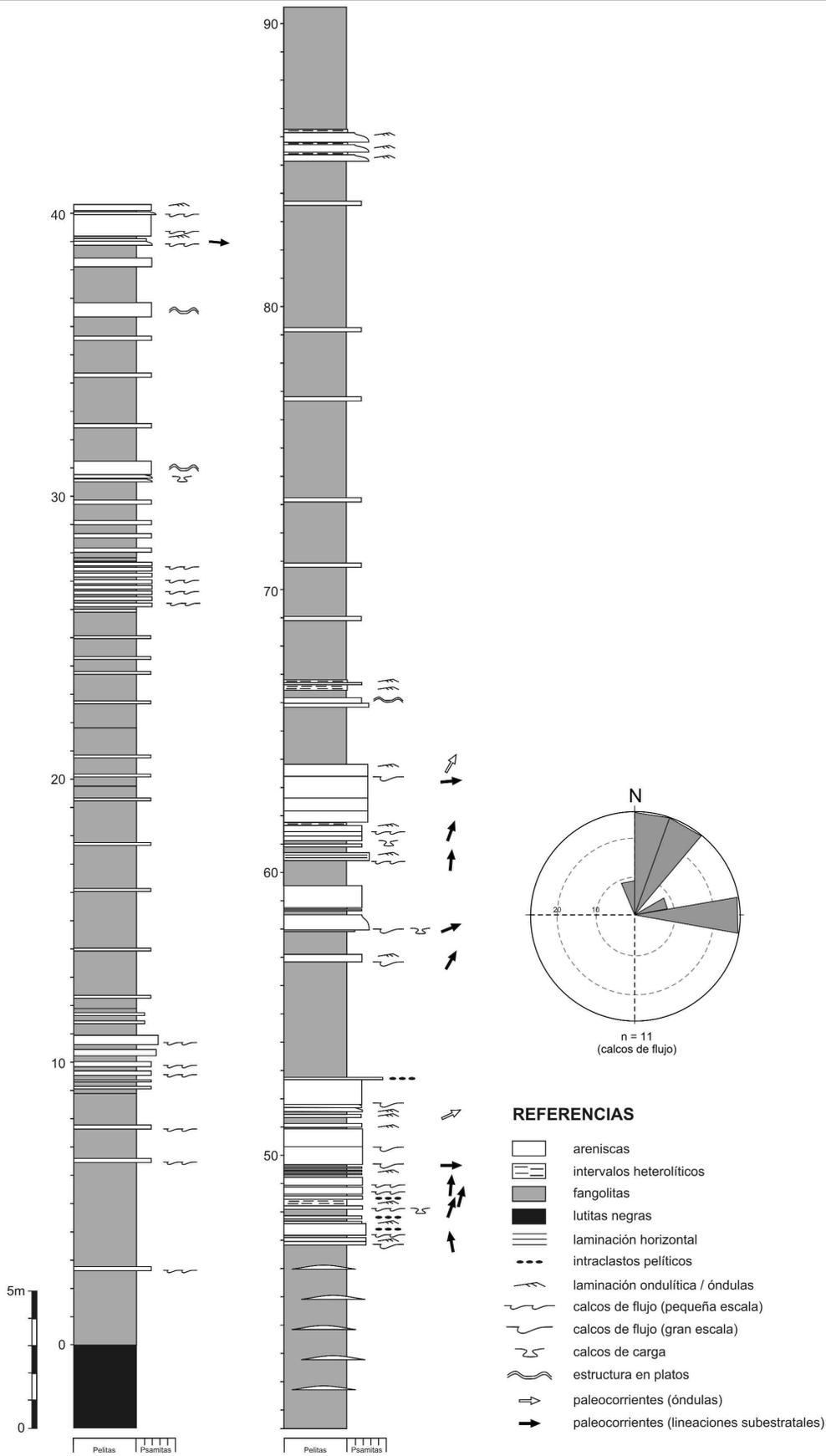


Figura 4: Perfil sedimentológico de la sucesión turbidítica de Rahuco con diagrama de orientación de las lineaciones subestratales.

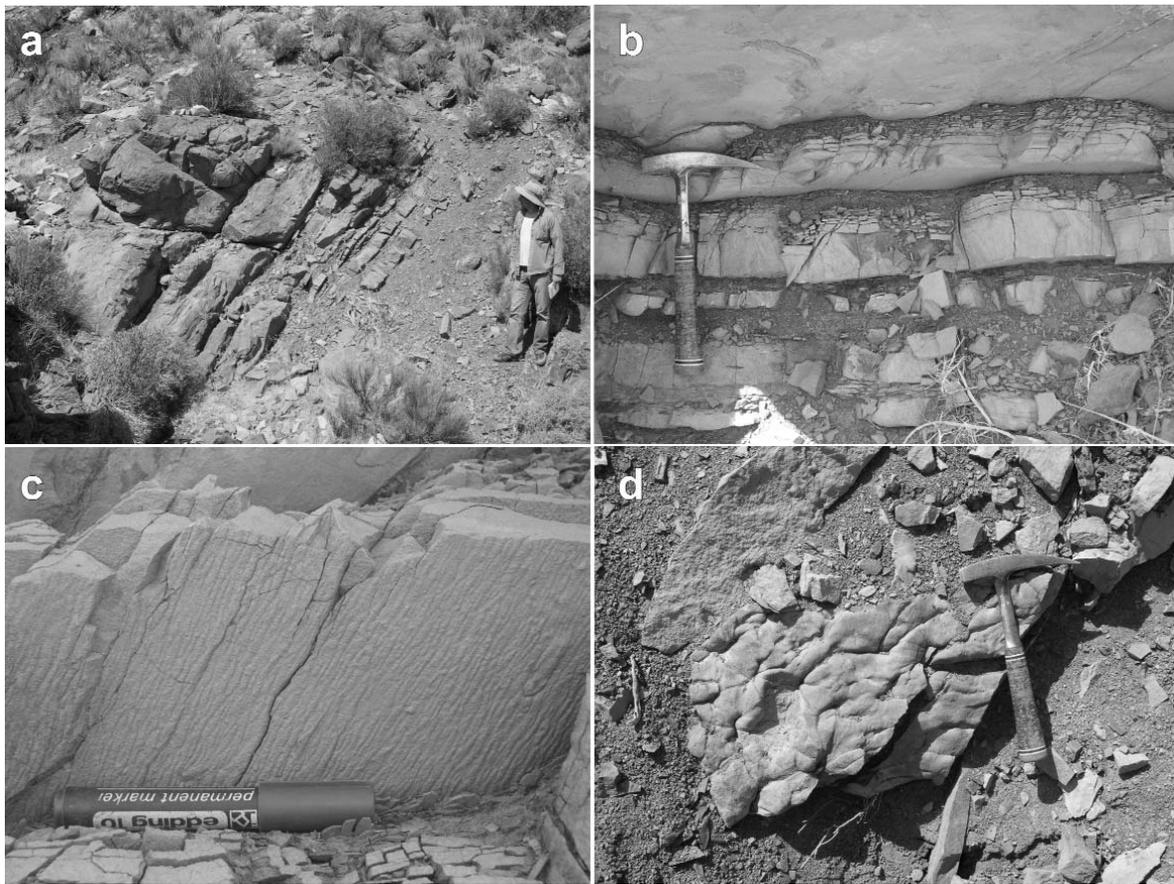


Figura 5: Sucesión de Rahueco. a: diseño de superposición de las facies turbidíticas. b: interdepósitos de turbiditas finas entre los cuerpos mayores de areniscas. c: calcos de flujo. d: calcos de carga.

en también un intervalo con laminación interna ondulada de mayor escala, semejante a HCS. En la base de las capas de areniscas son comunes las lineaciones subestratales del tipo de los calcos de flujo y de crestas longitudinales, así como estructuras deformacionales (calcos de carga).

La otra asociación de facies es de naturaleza más fina y está compuesta por lutitas gris oscuras en las que intercalan niveles delgados de margas masivas (Fig. 6). Constituye un cuerpo que alcanza un espesor de hasta 10 metros.

Una importante particularidad de los depósitos de Huncal es que se encuentran involucrados en una estructura de desmoronamiento de escala regional y 20 m de potencia cuya geometría interna muestra un sistema de pliegues asimétricos, con ejes prácticamente horizontales y planos axiales fuertemente inclinados hacia el

oeste (Fig. 6). La longitud de onda es del orden de los 50 m (Figs. 6 y 7). La sucesión sedimentaria que se encuentra tanto por debajo como por encima de este horizonte no muestra un estilo de deformación similar, sino que constituye simplemente una sucesión homoclinal con suave buzamiento al noreste. Hacia el extremo oriental del área de estudio los pliegues cambian su geometría, pasando a pliegues isoclinales apretados y horizontales, especialmente en la mitad superior de la sucesión deformada. La geometría de los pliegues asimétricos varía desde apretados hasta algo abiertos, con ejes curvilíneos que describen arcos suavemente proyectados hacia el este. Aún cuando las capas se encuentran fuertemente deformadas, retienen su identidad sedimentaria, por lo que la masa puede caracterizarse como un desmoronamiento coherente (Dzulynski y Walton 1965).

Son frecuentes, asimismo, las estructuras plegadas intraestratales por carga de las arenas hacia los fangos subyacentes. La geometría sistemática del horizonte de desmoronamiento señala una fuerte vergencia unidireccional del plegamiento desde el oeste hacia el este. Ésta sería la dirección de transporte del movimiento en masa, que tendría el mismo sentido de la pendiente descendente sobre la cual se habría deslizado (Woodcock 1979, Bradley y Hanson 1998, Strachan y Alsop 2006).

Interpretación: La predominante sucesión fangolítica de la sección de Huncal se interpreta como producto de decantación suspensiva desde corrientes de turbidez diluidas. Por su parte, los cuerpos de areniscas representan el depósito de repetidas corrientes de turbidez unidireccionales, de energía decreciente y con baja a moderada concentración de carga.

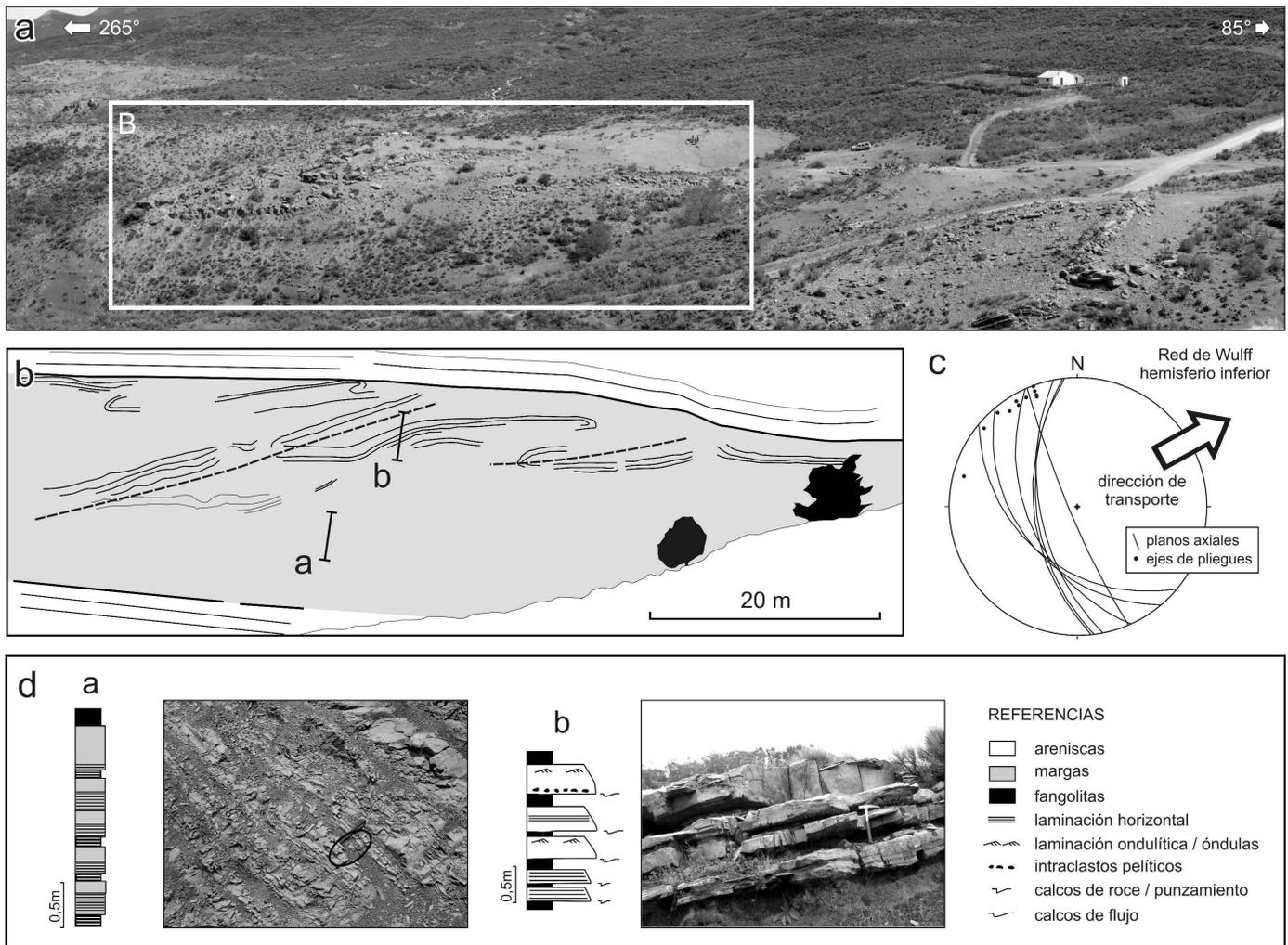


Figura 6: Sucesión de Huncal. a) vista general de los depósitos de desmoronamiento. b) geometría de los pliegues a partir del trazado de las capas turbidíticas arenosas. c) diagrama estereográfico con orientación de los planos axiales y ejes de los pliegues de la estructura de desmoronamiento. d) asociaciones de facies registradas en la sucesión de Huncal (a- depósitos hemipelágicos; b- depósitos turbidíticos).

Los intervalos con estratificación paralela en los cuerpos de areniscas denotan sedimentación por carpeta de tracción (Grecula *et al.* 2003), mientras que los que muestran estratificación de bajo ángulo representan un flujo de transición entre régimen de duna y de capa plana (Lomas 1999). Por su parte, las areniscas con laminación ondulada de mayor escala se atribuyen a condiciones supercríticas. Los niveles cuspidales de las capas arenosas, con laminación ondulítica, reflejan condiciones mermanentes de la energía general de las corrientes y alto grado de decantación suspensiva (Grecula *et al.* 2003). En cuanto a la asociación de lutitas y margas oscuras, se considera que

representan depósitos hemipelágicos originados por decantación suspensiva. El sistema de pliegues de Huncal es similar en su geometría a aquel interpretado por Lien *et al.* (2003) como resultado de desmoronamiento/deslizamiento, en un proceso que implica plegamiento y fallamiento combinado con fenómenos de deformación tixotrópica de las arenas y penetración por sobrecarga en el sustrato pelítico. Este desmoronamiento se habría originado en un ambiente submarino de alta pendiente caracterizado por la acumulación de depósitos turbidíticos de baja densidad. Tal como lo sugieren los vectores de desplazamiento, el desmoronamiento se habría desplazado hacia el este

hasta alcanzar el ambiente de cuenca profunda en el que se producía una continua depositación de material hemipelágico.

DISCUSIÓN

Los depósitos con afinidad turbidítica descritos en las sucesiones de Rahueco y Huncal han sido acumulados en su gran mayoría por flujos gravitacionales de sedimentos. Dichos flujos incluyen corrientes de turbidez de alta densidad - donde por lo general dominó una etapa inicial de erosión (intraclastos y calcos de flujo), seguida de una etapa de depositación súbita desde suspensiones (intervalos y capas Ta), culminando comumente



Figura 7: Detalle de los pliegues en el horizonte de desmoronamiento de Huncal.

en una etapa de deposición por tracción (intervalos y capas Tc)-, y corrientes de baja densidad donde predominó la deposición por tracción. A su vez, el desmoronamiento de Huncal indica la esporádica existencia de movimientos en masa de grandes dimensiones (> 0,6 km³) que removilizaron depósitos turbidíticos previos.

Un factor de control fundamental para la generación y desarrollo de flujos gravitacionales de sedimentos en ambientes marinos es la existencia de un sustrato marino con una zona de gradiente elevado (talud). Bajo estas condiciones, los flujos

gravitacionales producen la removilización de material acumulado originalmente en el ambiente marino somero y en el propio talud hacia porciones más profundas del sistema deposicional.

La presencia de los depósitos de flujos gravitacionales en el área de estudio, así como la consistente orientación hacia el este y noreste de las paleocorrientes y vectores de desplazamiento permiten sugerir el desarrollo de un talud hacia el margen occidental del Mar Neuquino (Fig. 8).

Las sucesiones turbidíticas de Huncal y Rahueco habrían sido acumuladas duran-

te el Berriasiano Temprano a Valanginiano Temprano. Su presencia permite sugerir que, al menos durante este lapso, se desarrolló un talud en el margen occidental del Mar Neuquino. Esta configuración marina difiere sustancialmente de la que existiera hacia los márgenes austral y oriental para los mismos tiempos, y que se caracterizara por una geometría deposicional de rampa marina de bajo gradiente (Fig. 8).

La marcada asimetría en la configuración del sustrato marino a ambos lados de la zona depocentral (dominada por la continua acumulación de lutitas y margas anóxicas) se vincula en este trabajo con el contexto geotéctónico de tras-arco de la Cuenca Neuquina para el Cretácico Temprano. Esto es bajos gradientes y fajas marinas de amplio desarrollo hacia los márgenes cratónicos (austral y oriental), y gradientes marinos elevados con probables zonas marinas someras angostas hacia el área tectónicamente móvil asociada con el arco magmático emergente al oeste (Fig. 8).

El desmoronamiento de Huncal, del Berriasiano inferior, implica la removilización en masa de depósitos turbidíticos y hemipelágicos del talud y su emplazamiento en el sector depocentral caracterizado por una monótona sedimentación marina restringida. Por lo tanto, sería el resultado de un proceso eventual que podría haberse desencadenado por un movimiento sísmico de singular magnitud

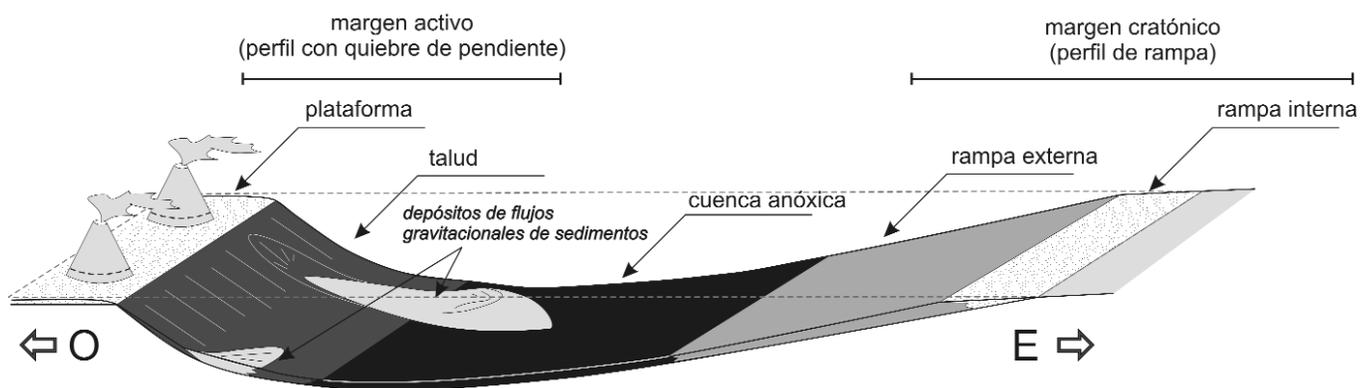


Figura 8: Modelo conceptual del trasarco en el que se destacan las diferencias en la fisiografía y los procesos de sedimentación entre los márgenes con talud, vinculado al arco magmático, y de rampa, asociado al área cratónica de la cuenca.

(Haughton 2000, Eyles y Eyles 2000) asociado a la actividad tectónica del margen activo.

Por su parte, la sucesión turbidítica de Rahueco permite efectuar interpretaciones adicionales. Su sedimentación, acaecida durante el Berriasiano tardío a Valanginiano temprano, no se produjo como resultado de un proceso eventual sino que refleja el establecimiento de un ambiente vinculado al talud y caracterizado por la recurrencia de procesos netamente turbidíticos. Estos depósitos de flujos gravitacionales reemplazaron, en esta zona, a las lutitas depocentrales que cubrieron vastas áreas de la Cuenca Neuquina durante el Cretácico Inferior. Este diseño de superposición permite interpretar que hacia el final de la sedimentación marina neocomiana se produjo el desplazamiento hacia el este del talud del margen activo.

Las lutitas negras de la Formación Vaca Muerta constituyen el principal generador de hidrocarburos de la Cuenca Neuquina. Sin embargo, hasta el momento, no se han encontrado en ella niveles sedimentarios que puedan ser considerados como potenciales reservorios de petróleo o gas. La aparición de sucesiones con importante participación depósitos arenosos generados por flujos gravitacionales de sedimentos hacia el sector occidental de la cuenca abre interesantes expectativas en cuanto a la probabilidad de nuevos entrapamientos en zonas de frontera no productivas, en especial la faja plegada y corrida del sur de Mendoza y del Neuquén.

CONCLUSIONES

- En el sector occidental de la Cuenca Neuquina se han identificado sucesiones turbidíticas acumuladas en el lapso berriasiano - valanginiano temprano. Los depósitos turbidíticos aparecen bien expuestos en la región de Rahueco, mientras que más al sur, en Huncal, están involucrados en una gran estructura de desmoronamiento.

- Los depósitos de Huncal y de Rahueco

proveen evidencias útiles para la reconstrucción del flanco occidental, tectónicamente activo, de la Cuenca Neuquina. En forma diferencial con respecto a otros márgenes de la cuenca, el que se relacionaba con el arco magmático andino habría tenido una pendiente de talud bien desarrollada, sistemas de drenaje de corto desarrollo y aporte sedimentario suficiente como para generar un sistema turbidítico marino.

- El análisis de facies ha permitido establecer que la sedimentación se produjo en condiciones muy cambiantes, desde procesos hemipelágicos de decantación suspensiva y corrientes de turbidez muy diluidas con muy escasa concentración de material detrítico, hasta el desarrollo de lóbulos turbidíticos en los que prevalecieron los flujos densos concentrados, en fases suspensivas turbulentas, de carpeta traccional y de tracción-decantación.

- El horizonte de desmoronamiento de Huncal se habría producido por procesos de deslizamiento gravitacional y deformación tixotrópica como resultado de un evento sísmico submarino de magnitud.

- Los depósitos turbidíticos arenosos registrados con amplio desarrollo temporoespecial en el flanco occidental de la Cuenca Neuquina abren nuevas perspectivas para la prospección de hidrocarburos, tanto por sus características litológicas y arquitectura como por su estrecha asociación con la principal roca generadora.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su reconocimiento al Dr. Héctor Leanza y a un revisor anónimo por las oportunas sugerencias efectuadas. El presente trabajo ha sido solventado con fondos del subsidio PICT 25304 otorgado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica de la República Argentina.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Allen, J.R.L. 1982. *Sedimentary Structures: Their Character and Physical Basis*. v. 1, 593 p.; v. 2,

663 p., Elsevier, Amsterdam.

Baas, J.H. y Koning, H. 1995. Washed-out ripples: their equilibrium dimensions, migration rate, and relation to suspended-sediment concentration in very fine sand. *Journal of Sedimentary Research* A65: 431-435.

Bradley, D y Hanson, L. 1998. Paleoslope analysis of slump folds in the Devonian flysch of Maine. *The Journal of Geology* 106: 305-318.

Doyle, P., Poiré, D., Spalletti, L., Pirrie, D., Brechley, P. y Matheos, S. 2005. Relative oxygenation of the Tithonian-Valanginian Vaca Muerta - Chachao formations of the Mendoza Shelf, Neuquén Basin, Argentina. En Veiga, G.D., Spalletti, L., Howell, J. y Schwarz, E. (eds.) *The Neuquén Basin: a Case Study in Sequence Stratigraphy and Basin Dynamics*. The Geological Society, Special Publication 252: 185-206, London.

Duranti, D y Hurst, A. 2004. Fluidization and injection in the deep-water sandstones of the Eocene Alba Formation (UK North Sea). *Sedimentology* 51: 503-529.

Dzulynski, S. y Sanders, J.E. 1962. Current marks on firm mud bottoms. *Connecticut Academy of Science Transactions* 42: 57-96.

Dzulynski, S. y Walton, E.K. 1965. *Sedimentary features of flysch and greywackes*. Elsevier, 274 p. Amsterdam.

Eyles, C.H. y Eyles, N. 2000. Subaqueous mass flow origin for Lower Permian diamictites and associated facies of the Grant Group, Barbwire Terrace, Canning Basin, Western Australia. *Sedimentology* 47: 343-356.

Franzese, J., Spalletti, L., Gómez Pérez, I. y Macdonald, D. 2003. Tectonic and palaeoenvironmental evolution of Mesozoic sedimentary basins along the Argentinian Andes foothills (32° - 54° S.L.). En Pankhurst, R.J. y Spalletti, L.A. (eds.) *Structure and Development of the Pacific Margin of Gondwana*, *Journal of South American Earth Sciences* 16(1): 81-90.

Gasparini, Z., Spalletti, L. y Fernández, M. 1997. Significado paleobiogeográfico de los reptiles marinos bajocianos (Jurásico medio) de la Cuenca Neuquina, Argentina. 8° Congreso Geológico Chileno, Actas 1(3): 484-488, Antofagasta.

Gasparini, Z., Spalletti, L., Fernández, M. y de la Fuente, M. 1998. Tithonian marine reptiles from the Neuquén Basin: diversity and pa-

- laeoenvironments. *Revue de Paleobiologie Geneve* 18(1): 335-345, Geneve.
- Gasparini, Z., Spalletti, L., Matheos, S. y Fernández, M. 2002. Reptiles marinos y paleoambiente del Jurásico Superior - Cretácico Inferior en la Yesera del Tromen (Neuquén, Argentina): un caso de estudio. 15° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 473-478.
- Grecula, M., Flint, S.S., Wickens, H. y Johnson, S.D. 2003. Upward-thickening patterns and lateral continuity of Permian sand-rich turbidite channel fills, Laingsburg Karoo, South Africa. *Sedimentology* 50: 831-853.
- Gulisano, C.A., Gutiérrez Pleimling, A.R. y Digregorio, R.E. 1984. Análisis estratigráfico del intervalo Tithoniano - Valanginiano (Formaciones Vaca Muerta, Quintuco y Mulichinco) en el suroeste de la provincia de Neuquén. 9° Congreso Geológico Argentino, Actas I: 221-235, S. C. de Bariloche.
- Gulisano, C.A. y Gutiérrez Pleimling, A.R. 1995. The Jurassic of the Neuquén Basin, a) Neuquén Province. *Asociación Geológica Argentina, Series E 2*, 111 p., Buenos Aires.
- Hallam, A., Biro-Bagoczky, L. y Pérez, E. 1986. Facies analysis of the Lo Valdés Formation (Tithonian - Hauterivian) of the High Cordillera of Central Chile, and the palaeogeographic evolution of the Andean Basin. *Geological Magazine* 123: 425-435.
- Haughton, P.D.W. 2000. Evolving turbidite systems on a deforming basin floor, Tabernas, SE Spain. *Sedimentology* 47: 497-518.
- Hiscott, R.N. y Middleton, G.V. 1979. Depositional mechanics of thick-bedded sandstones at the base of a submarine slope, Tourelle Formation (Lower Ordovician), Quebec, Canada. En Doyle, L.J. y Pilkey, O.H. jr (eds.) *Geology of Continental Slopes*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists (SEPM), Special Publication 27: 307-326.
- Johansson, M. y Stow, D.A.V. 1995. A classification scheme for shale clasts in deep water sandstones. En Hartley, A. y Prosser, D.J. (eds.) *Characterisation of Deep Marine Clastic Systems*. Geological Society of London Special Publication 94: 221-241.
- Kneller, B.C. 1995. Beyond the turbidite paradigm: physical models for deposition of turbidites and their implications for reservoir prediction. En Hartley, A. y Prosser, D.J. (eds.) *Characterisation of Deep Marine Clastic Systems*. The Geological Society, Special Publication 94: 31-49, London.
- Leanza, H.A. 1973. Estudio sobre los cambios faciales de los estratos limítrofes jurásico-cretácicos entre Loncopué y Picún Leufú, Provincia del Neuquén, República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 28: 97-132.
- Leanza, H.A., Repol, D., Sruoga, P. y Salvarredy Aranguren, M. 2002. Nuevas unidades estratigráficas del Mesozoico y Cenozoico en la comarca de Huncal, provincia del Neuquén, Argentina. 15° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 619-624.
- Leanza, H.A., Hugo, C.A., Repol, D. y Salvarredy Aranguren, M. 2003. Miembro Huncal (Berriasiano inferior): un episodio turbidítico en la Formación Vaca Muerta, Cuenca Neuquina, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 58: 248-254.
- Leanza, H.A., Repol, D., Hugo, C.A. y Sruoga, P. 2006. Hoja Geológica 3769-31, Chorriaca, provincia del Neuquén. Instituto de Geología y Recursos Naturales, Servicio Geológico Minero Argentina, Boletín 314, 93 p., Buenos Aires.
- Leclair, S.F. y Arnott, R.W.C. 2003. Coarse tail-graded, structureless strata: Indicators of an internal hydraulic jump. En Roberts, H.H. y Rosen, N.C. (eds.) *Shelf Margin Deltas and Linked Down Slope Petroleum Systems: Global Significance and Future Exploration Potential*. 23rd Annual Gulf Coast Section of the SEPM Foundation, Bob F. Perkins Research Conference: 817-835.
- Legarreta, L. y Gulisano, C.A. 1989. Análisis estratigráfico secuencial de la Cuenca Neuquina (Triásico superior-Terciario inferior). En Chebli, G. y L.A. Spalletti (eds.) *Cuencas Sedimentarias Argentinas, Serie Correlación Geológica* 6: 221-243.
- Legarreta, L. y Uliana, M.A. 1991. Jurassic-Cretaceous marine oscillations and geometry of backarc basin fill, Central Argentine Andes. En Macdonald, D.I. (ed.) *Sedimentation, Tectonics and Eustasy. Sea level Changes at Active Plate Margins*. International Association of Sedimentologists (IAS), Special Publications 12: 429-450.
- Legarreta, L. y Uliana, M.A. 1996. La sucesión jurásica en el centro-oeste de Argentina. Arreglo estratigráfico, secuencias y evolución paleogeográfica. *Boletín de Informaciones Petroleras* 12(45): 66-78.
- Lien, T., Walker, R.G. y Martinsen, O.J. 2003. Turbidites in the Upper Carboniferous Ross Formation, western Ireland: reconstruction of a channel and spillover system. *Sedimentology* 50: 113-148.
- Lomas, S.A. 1999. A Lower Cretaceous clastic slope succession, Livingston Island, Anterctica: sand-body characteristics, depositional processes and implications for slope apron depositional models. *Sedimentology* 46: 477-504.
- Lowe, D.R. 1982. Sediment gravity flows: II. Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents. *Journal of Sedimentary Petrology* 52: 279-297.
- Lowe, D.R. 1988. Suspended-load fallout rate as an independent variable in the analysis of current structures. *Sedimentology* 35: 765-776.
- Navarro, L., Khan, Z. y Arnott, R.W.C. 2008. Depositional architecture and evolution of a deep-marine channel-levee complex: Isaac Formation (Windermere Supergroup), southern Canadian Cordillera. En Nilsen, T., Shew, R., Steffens, G. y Studlick, J. (eds.) *Atlas of Deep-Water Outcrops*. American Association of Petroleum Geologists, Studies in Geology 56, Chapter K, 127 p., CD-Room version.
- Macdonald, D., Gómez Pérez, I., Franzese, J., Spalletti, L., Lawver, L., Gahagan, L., Dalziel, I., Thomas, C., Trewin, N., Hole, M. y Paton, D. 2003. Mesozoic break-up of SW Gondwana: implications for regional hydrocarbon potential of the southern South Atlantic. *Marine and Petroleum Geology* 20: 287-308.
- Middleton, G.V. 1970. Experimental studies related to problems of Flysch sedimentation. En Lajoie, J. (ed.) *Flysch Sedimentology in North America*. Geological Association of Canada, Special Paper 7: 253-272.
- Mitchum, R.M. y Uliana, M.A. 1985. Seismic stratigraphy of carbonate depositional sequences, Upper Jurassic - Lower Cretaceous, Neuquén Basin, Argentina. En Bero, B.R. y Woolverton, D.G. (eds.) *Seismic stratigraphy: an integrated approach to hydrocarbon exploration*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 39: 255-274.
- Mulder, T. y Alexander, J. 2001. The physical cha-

- racter of subaqueous sedimentary density flows and their deposits. *Sedimentology* 48: 269-299.
- Plink-Bjorklund, P., Mellere, D. y Steel, R. 2001. Turbidite variability and architecture of sand-prone, deep-water slopes: Eocene clinofolds in the Central Basin, Spitsbergen. *Journal of Sedimentary Research* 71: 895-912.
- Posamentier, H.W. y Kolla, V. 2003. Seismic geomorphology and stratigraphy of depositional elements in deep-water settings. *Journal of Sedimentary Research* 73: 367-388.
- Schwarz, E. 2003. Análisis paleoambiental y estratigrafía secuencial de la Formación Mulichinco (Valanginiano), en el sector septentrional de la Provincia del Neuquén, Cuenca Neuquina, Argentina. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, (inérita), 303 p., La Plata.
- Schwarz, E. y Howell, J.A. 2005. Sedimentary evolution and depositional architecture of a lowstand sequence set: Lower Cretaceous Mulichinco Formation, Neuquén Basin, Argentina. En Veiga, G.D., Spalletti, L., Howell, J. y Schwarz, E. (eds.) *The Neuquén Basin: a Case Study in Sequence Stratigraphy and Basin Dynamics*. The Geological Society, Special Publication 252: 109-138, London.
- Sohn, Y.K. 1997. On traction carpet sedimentation. *Journal of Sedimentary Research* 67: 502-509.
- Spalletti, L., Veiga, G., Gasparini, Z., Schwarz, E., Fernández, M. y Matheos, S. 1999 a. La rampa marina de la transición Jurásico-Cretácico en la Cuenca Neuquina (Argentina): Facies anóxicas, procesos deposicionales y herpetofauna. Universidade Estadual de Sao Paulo, Campus Rio Claro, Boletim 5to. Simposio Cretácico do Brasil y Primer Simposio sobre Cretácico de América del Sur: 345-348.
- Spalletti, L., Gasparini, Z., Veiga, G., Schwarz, E., Fernández, M. y Matheos, S. 1999 b. Facies anóxicas, procesos deposicionales y herpetofauna de la rampa marina titoniano-berriasiana en la Cuenca Neuquina (Yesera del Trocén, Neuquén, Argentina). *Revista Geológica de Chile* 26: 109-123.
- Spalletti, L., Franzese, J., Matheos, S. y Schwarz, E. 2000. Sequence stratigraphy of a tidally-dominated carbonate-siliciclastic ramp; the Tithonian of the southern Neuquén Basin, Argentina. *Journal of the Geological Society* 157: 433-446, London.
- Spalletti, L., Poiré, D., Schwarz, E. y Veiga, G. 2001. Sedimentologic and sequence stratigraphic model of a Neocomian marine carbonate-siliciclastic ramp: Neuquén Basin, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 14: 609-624.
- Stow, D.A.V. y Johansson, M. 2000. Deep-water massive sands: nature, origin and hydrocarbon implications. *Marine and Petroleum Geology* 17: 145-174.
- Stow, D.A.V. y Shanmugam, G. 1980. Sequence of structures in fine-grained turbidites: comparison of recent deep-sea and ancient Flysch sediments. *Sedimentary Geology* 25: 23-42.
- Strachan, L.J. y Alsop, G.I. 2006. Slump folds as estimators of palaeoslope: A case study from the Fisherstreet Slump of County Clare, Ireland. *Basin Research* 18: 451-470.
- Vergani, G.D., Tankard, A.J., Belotti, H.J. y Welsink, H.J. 1995. Tectonic evolution and paleogeography of the Neuquén Basin, Argentina. En Tankard, A.J., Suárez Soruco, R. y Welsink, H.J. (eds.) *Petroleum Basins of South America*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 62: 383-402.
- Weaver, C.E. 1931. Paleontology of the Jurassic and Cretaceous of West Central Argentina. University of Washington, Memoir 1: 1-469, Seattle.
- Woodcock, N.H. 1979. The use of slump structures as palaeoslope orientation estimators. *Sedimentology* 26: 83-99.
- Zollner, W. y Amos, A.J. 1973. Descripción geológica de la hoja 32b, Chos Malal, Provincia del Neuquén. Servicio Nacional Minero Geológico, Boletín 143, 91 p. Buenos Aires.

Recibido: 3 de agosto, 2007

Aceptado: 30 de julio, 2008