

Nuevos avances en la sedimentología y estratigrafía secuencial de la Formación Mulichinco en la Cuenca Neuquina



Carlos Zavala

CONICET.

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA.

UNIVERSIDAD DEL SUR

RESUMEN / ABSTRACT

La Formación Mulichinco (Valanginiano tardío) constituye en subsuelo uno de los principales reservorios de hidrocarburos de la Cuenca Neuquina. Las rocas de esta unidad afloran ampliamente en el centro-oeste de la Cuenca Neuquina, donde se integran por depósitos clásticos, fluviales a marino marginales, con un espesor de hasta 500m. La Formación Mulichinco se apoya discordantemente (discordancia Intravalanginiana) sobre pelitas de *off-shore* de la Formación Vaca Muerta y depósitos marino-marginales de la Formación Quintuco, siendo a su vez cubierta en contacto neto por las pelitas de plataforma de la Formación Agrio. Estudios precedentes relacionan a esta unidad a depósitos de mar bajo (*lowstand*) con los que se iniciaría el ciclo marino correspondiente al tramo superior del Grupo Mendoza.

En este trabajo se analiza la sedimentología y estratigrafía secuencial de la Formación Mulichinco a lo largo de más de 200 kilómetros, entre el norte de la Sierra de la Vaca Muerta y la zona de Chos Malal, mediante el estudio de 12 secciones estratigráficas de detalle del total del espesor de la unidad.

Del análisis estratigráfico surge que la Formación Mulichinco se compone internamente por seis

In the subsurface, the Mulichinco Formation (Late Valanginian) is one of the main hydrocarbon-bearing reservoirs of the Neuquén Basin. The rocks of this unit crop out extensively in the west-central Neuquén Basin where they consist of fluvial to proximal marine clastic deposits up to 500m thick. The Mulichinco Formation unconformably overlies (Intravalanginian unconformity) the offshore mudstones of the Vaca Muerta Formation and the proximal marine deposits of the Quintuco Formation and is in turn overlain by the shelfal mudstones of the Agrio Formation by means of a sharp contact. On the basis of previous studies, this unit is associated with lowstand deposits with which the marine cycle pertaining to the upper section of the Mendoza Group would begin.

This work discusses the sequence stratigraphy and sedimentology of the Mulichinco Formation along more than 200 kilometers, from north of the Sierra de la Vaca Muerta to Chos Malal, through the study of 12 detail stratigraphic sections of total unit thickness. According to the stratigraphic analysis, the Mulichinco Formation internally consists of six depositional sequences, known as M1 to M6, which

New advances in the sequence stratigraphy and sedimentology of the Mulichinco Formation, Neuquén Basin



Figura / Figure 1

Mapa de ubicación de la Cuenca Neuquina (izq.). En el dibujo de la derecha se observa un detalle del área de estudio y la ubicación aproximada de las 12 secciones estratigráficas medidas.

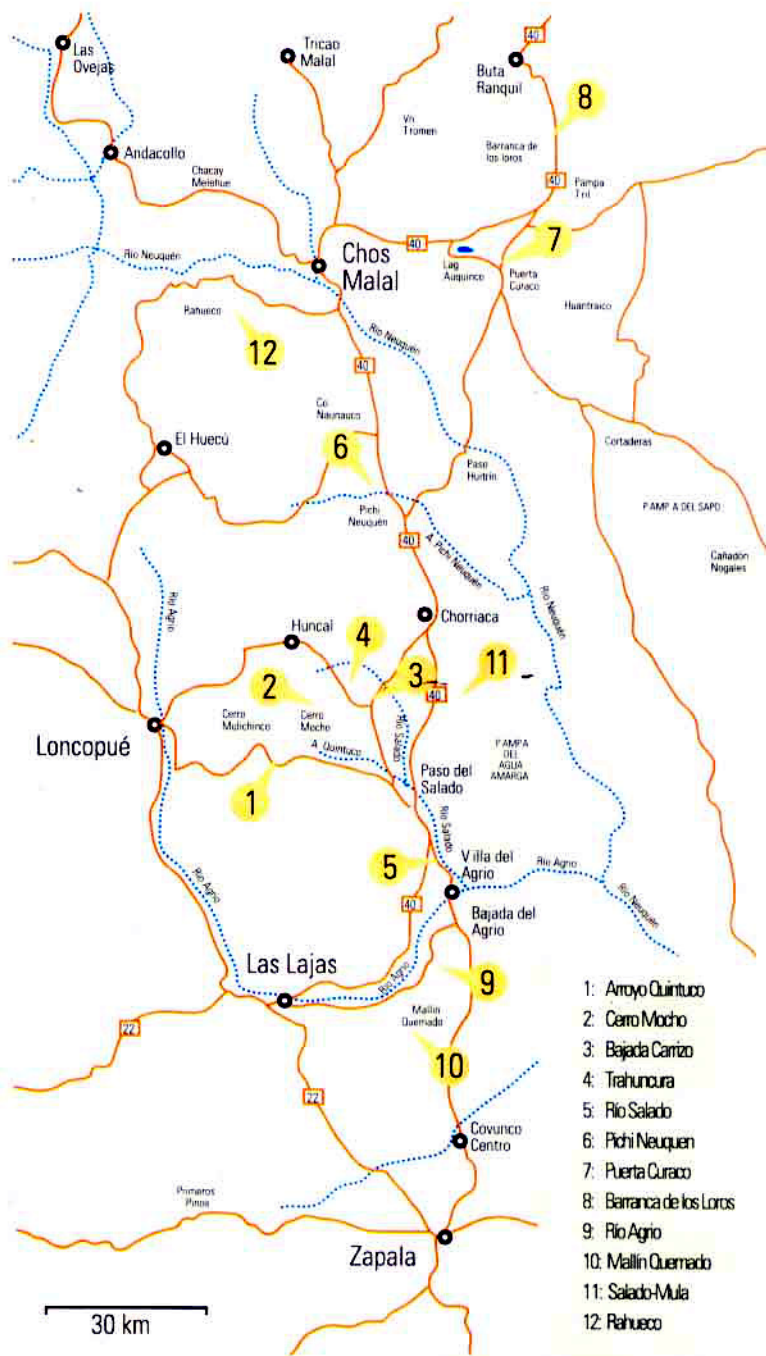
Location map of the Neuquén basin (left). Detailed study area and approximate location of the 12 measured stratigraphic sections are shown on the right.

secuencias deposicionales, denominadas M1 a M6, las que muestran en su conjunto un arreglo grano y estrato decreciente.

La presencia de importantes truncaciones en algunas discontinuidades, sumada a criterios sedimentológicos, permiten reagrupar a estas secuencias dentro de tres intervalos, denominados como inferior, medio y superior. Las secuencias M1 y M2 (intervalo inferior) corresponden a sistemas fluvio-lacustres, los que muestran una distribución areal restringida y aportes provenientes del suroeste. Las facies proximales incluyen depósitos conglomerádicos y arenosos algo canalizados, los que constituyen secuencias elementales granodecrecientes de 8 a 12m. Estos depósitos gradan hacia el noreste a una espesa sucesión de lóbulos arenosos de plataforma (frente deltaico). Las secuencias M3 a M6 (intervalos medio y superior) presentan una distribución areal progresivamente más amplia, y corresponden a sistemas fluvio-marinos, los que muestran hacia la base retrabajo de mareas.

Los cambios faciales indican aportes desde el sur y norte, con depósitos distales localizados en la zona central del área de estudio.

Estas secuencias muestran hacia arriba una dis-



- 1: Arroyo Quintuco
- 2: Cerro Mocho
- 3: Bajada Carrizo
- 4: Trahuncura
- 5: Río Salado
- 6: Pichi Neuquén
- 7: Puerta Curaco
- 8: Barranca de los Loros
- 9: Río Agrio
- 10: Mallín Quemado
- 11: Salado-Mula
- 12: Rahueco

display a fining- and thinning-upward arrangement. The occurrence of major truncations along some discontinuities, coupled with sedimentological criteria, leads to regroup these sequences into three intervals, namely, lower, middle, and upper intervals. Sequences M1 and M2 (lower interval) correspond to fluvio-lacustrine systems with a restricted areal distribution and contributions from the

Foto / Photo:

Fm. Mulichinco. Localidad Puerta Curaco. Vista hacia el sur.

Mulichinco Formation. Puerta Curaco locality. View to the south.

minución en el volumen de los aportes clásticos con un incremento en los procesos de difusión por olas y mareas.

Introducción

Ubicada en el centro-oeste de la Argentina (Fig. 1), la Cuenca Neuquina contiene un espesor de más de 7000 m. de sedimentos principalmente clásticos, marinos y continentales, depositados durante los periodos Jurásico y Cretácico (Fig. 2). Esta cuenca ha sido clásicamente considerada como una cuenca de retro-arco (Mpodozis y Ramos, 1989), con un origen y evolución estrechamente vinculados con la historia tectónica del margen occidental de Gondwana durante el Mesozoico. En los últimos años, numerosas han sido las contribuciones referidas a su sedimentología y evolución estratigráfica (síntesis en Gulisano

southwest. Proximal facies include slightly conglomeratic and sandy deposits which make up fining-upward elemental sequences ranging in thickness from 8 to 12m. Towards the northeast, these deposits grade into a thick succession of shelfal sandstone lobes (delta front). Sequences M3 to M6 (middle and upper intervals) display a progressively wider areal distribution and pertain to fluvio-marine systems involving tidal rework towards the base. Facies changes are indicative of contributions from the south and north with distal deposits located in the central part of the study area. These sequences display an upward decrease in the amount of clastic supply and an increase in wave- and tide- diffusion processes.

Introduction

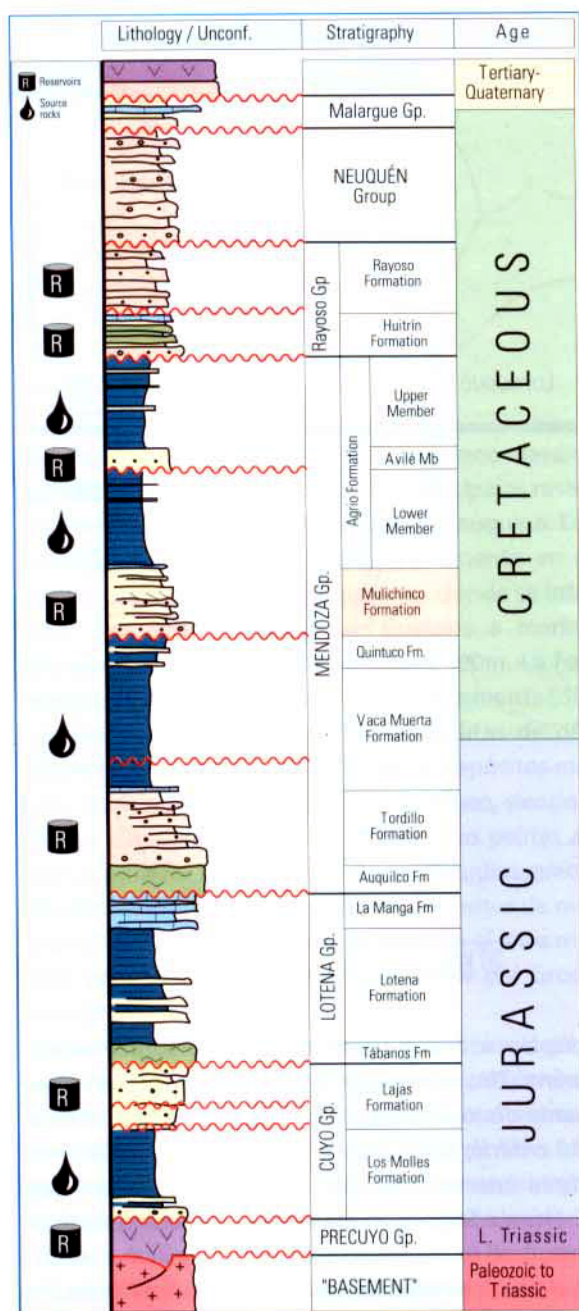
Located in west-central Argentina (Figure 1), the Neuquén Basin contains predominantly clastic, marine and continental sediments at least 7000m thick, deposited during the Jurassic and the Cretaceous (Figure 2). The origin and evolution of this basin, which has been traditionally considered as a back-arc basin (Mpodozis and Ramos, 1989), are closely related to the tectonic history of the western margin of Gondwana during the Mesozoic. Over the last years, several contributions have focused on the sedimentology and stratigraphic evolution of this basin (see Gulisano et al., 1984; Legarreta and Gulisano, 1989; Gulisano and Gutierrez Pleimling, 1995, for a short description) which is now considered to be one of the best known basins in our country. Such knowledge has proved somewhat instrumental in promoting oil development activities in this basin, which currently accounts for 44% of oil and 58% of gas produced in Argentina (Veiga et al., 1999).

The Neuquén basin involves several source rocks with excellent organic-matter and maturity characteristics (mainly organogenic shales and marls of the Los Molles, Vaca Muerta, and Agrio formations, Di Lena et al., 1989). However, reservoirs suitable for hosting these hydrocarbons are not very frequent in the column (Figure 2). The application of sequence stratigraphy techniques to stratigraphic studies has given petroleum geologists new prospecting guides as they provide a strong theoretical support to periodic migration of coastal or continental coarse clastic sediments into deeper zones (downward shift in facies), as related to relative falls in sea level. In addition, it has recently been proposed that climatic and tectonic changes may have similar effects on the sedimentary record (Mutti et al., 1996) since significant water influx into proximal zones may periodically give rise to high-concentration mixtures of water and sediments. Due to their density, the latter behave as underflows as they enter lacustrine or marine water bodies and may travel over long distances resulting in significant thicknesses of shelfal turbidites which are not directly associated with eustatic changes.

Figura /Figure 2

Columna estratigráfica sintética para el sector central de la Cuenca Neuquina, en áreas aflorantes (sin escala vertical). Note que en dicha columna se propone una nueva ubicación estratigráfica de las fms. Tabanos y Auquico. Esta se fundamenta en observaciones y discusiones de terreno (ideas y opiniones compartidas con el Lic. Rodolfo González).

Synthetic stratigraphic column for the central part of the Neuquén basin in outcrops (no vertical scale). Note that a new stratigraphic location is proposed in such column for the Tabanos and Auquico formations. This is based on field observations and discussions (ideas and opinions shared in common with Lic. Rodolfo González).



et al., 1984; Legarreta y Gulisano, 1989 ; Gulisano y Gutierrez Pleimling, 1995) llegando a ser considerada como una de las cuencas mejor conocidas de nuestro país. Dicho conocimiento ha sido en parte útil para consolidar el desarrollo petrolero de esta cuenca, la que al presente aporta el 44% del petróleo y el 58% del gas que se produce en la Argentina (Veiga et al., 1999).

Si bien la cuenca Neuquina cuenta con varias rocas madres con excelentes características de materia orgánica y maduración (principalmente pelitas organógenas y margas de las formaciones Los Molles, Vaca Muerta y Agrio, Di Lena et al., 1989), no son muy frecuentes en la columna los reservorios adecuados para alojar estos hidrocarburos (Fig. 2). La aplicación de técnicas de estratigrafía secuencial en estudios estratigráficos ha brindado nuevas guías de prospección a los geólogos petroleros, ya que provee un fuerte sustento teórico a la periódica migración de sedimentos clásticos gruesos costeros o continentales hacia zonas profundas (*downward shift in facies*) relacionados a caídas relativas del nivel del mar. Recientemente se ha propuesto además que los cambios climáticos y tectónicos pueden tener consecuencias similares en el registro sedimentario (Mutti et al., 1996), ya que importantes aportes de agua en zonas proximales pueden generar periódicamente mezclas de agua y sedimento de alta concentración. Estas últimas al ingresar en cuerpos de agua lacustres o marinos se comportan como corrientes de fondo, en razón de su densidad, pudiendo viajar grandes distancias y depositar importantes espesores de turbiditas de plataforma no relacionadas directamente a cambios eustáticos.

Debido a las características marginales y parcialmente restringidas de la Cuenca Neuquina durante el Mesozoico, las caídas en el nivel del mar no solo influyeron en el registro con la generación de límites de secuencia convencionales y regresiones forzadas, sino que han llegado a desecar totalmente la cuenca con crisis de salinidad similares a la sufrida por el mar Mediterráneo en el Mioceno tardío (Messiniano), y generando un tipo particular de cortejo de mar bajo caracterizado por depósitos continentales (Mutti et al. 1994).

En este trabajo se presenta un estudio sedimentológico y estratigráfico secuencial basado en datos de terreno,

Due to the marginal and partially restricted nature of the Neuquén basin during the Mesozoic, falls in sea level not only affected the record as they generated conventional sequence boundaries and forced regressions but also caused total basin desiccation with salinity crises similar to the one undergone by the Mediterranean sea during the Late Miocene (Messinian), giving rise to a particular type of lowstand systems tract which is characterized by continental deposits (Mutti et al., 1994).

This work presents a sequence-stratigraphic and sedimentologic study based on field data which addresses one of the main reservoirs of the Neuquén basin, i.e. the Mulichinco Formation (Weaver, 1931). This unit would have originated during an episode of total basin desiccation similar to those above-described. Such evolution into continental conditions was followed by a progressive marine influence, which becomes more apparent towards the top of the unit.

The Mulichinco Formation

This unit consists of conglomerates, sandstones, and green and red mudstones which in some sectors contain silicified wood and marine fauna remnants (Figure 3). Its ammonite fossil content and stratigraphic position suggest that this unit would have accumulated during the Late Valanginian (Leanza, 1973; Gulisano et al., 1984). Thicknesses recognized for the Mulichinco Formation are considerably varying and may be in excess of 500m.

At its typical locality (cerro Mulichinco, Figure 1), this unit unconformably overlies shelf mudstones of the Vaca Muerta formation (Weaver, 1931) and is in turn sharply overlain by the marine mudstones having Hauterivian fauna of the base of the Agrio Formation (Weaver, 1931).

Based on the partially continental (fluvial) characteristics of some sections of the Mulichinco Formation, use of this unit was originally extended to the pre-Hauterivian layers of continental origin recognized in the southern part of the basin (Picún Leufú subbasin). In an enlightened work, Gulisano et al. (1984) established a new stratigraphic framework for the Mulichinco Formation, according to which it was considered definitively unrelated to the clastic pro-

Figura 1 Figure 3

Vista panorámica de la Fm. Mulichinco en el área de río Salado. Nótese las características estrato-decrecientes de la unidad. Se indican aproximadamente la ubicación de los contactos con las fms Vaca Muerta y Agrio.

Overview of the Mulichinco Formation in the Rio Salado area. Note the thinning-upward arrangement of the unit. The approximate locations of contacts with the Vaca Muerta and Agrio Formations are shown.

Figura 4 Figure 4

Cuadro estratigráfico para el intervalo Calloviano - Hauteriviano, entre el arroyo Picún Leufú y el cerro Mulichinco, en el oeste de la Provincia del Neuquén. Redibujado de Gulisano et al., 1984.

Stratigraphic chart for the late Callovian - Hauterivian interval, between arroyo Picún Leufú and cerro Mulichinco, in the western Neuquén Province. Redrawn after Gulisano et al., 1984.

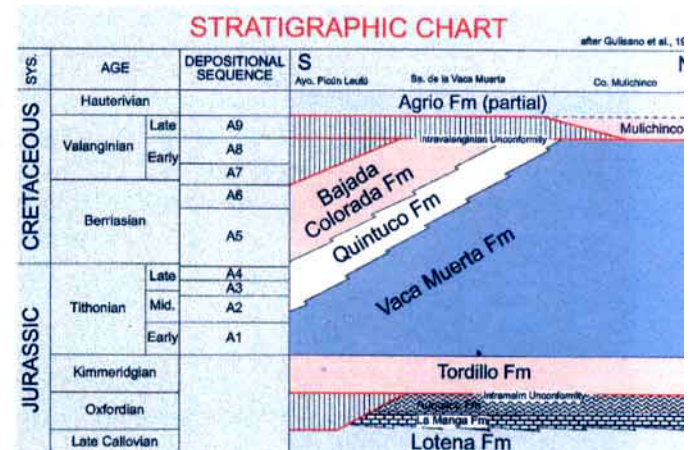
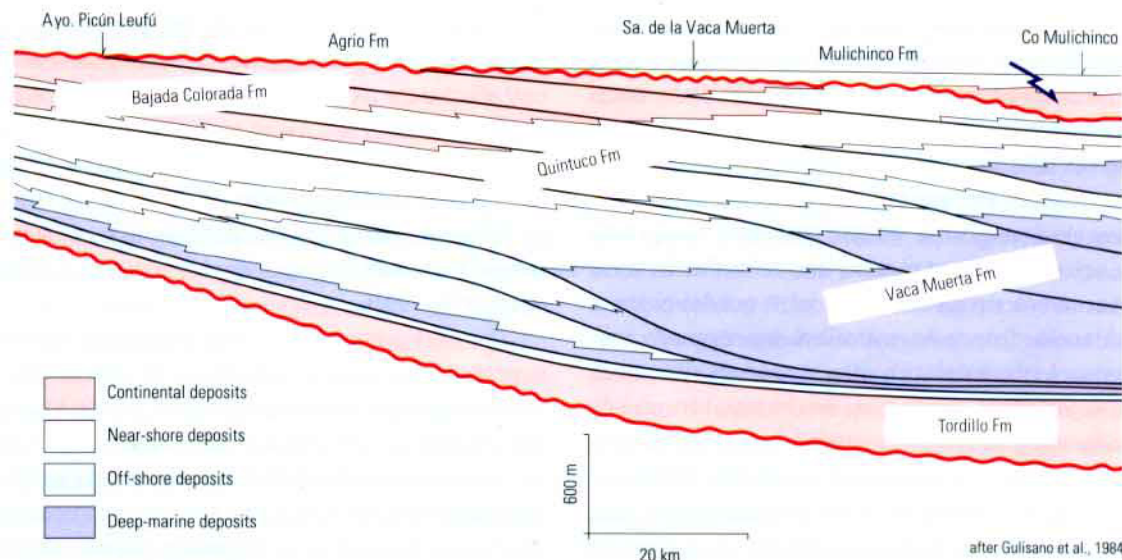


Figura / Figure 5

Esquema estratigráfico para el intervalo Kimmeridgiano - Valanginiano entre el arroyo Picun Leufu y el cerro Mulichinco. Redibujado de Gulisano et al., 1984

Stratigraphic chart for the Kimmeridgian - Valanginian interval, between arroyo Picun Leufu and cerro Mulichinco. Redrawn after Gulisano et al., 1984



after Gulisano et al., 1984

Figura / Figure 6

Síntesis de los principales tipos de facies sedimentarias reconocidas en la Fm. Mulichinco.

Se muestran sus supuestas relaciones genéticas dentro de un cortejo de facies vinculado con avenidas fluviales catastróficas. Los procesos de difusión (por olas o mareas) mostrados en el sector inferior derecho de la figura ocurren posteriormente al evento de deposición principal. Modificado de Zavala et al., en prensa.

Review of the main types of sedimentary facies recognized in the Mulichinco Formation. Presumed genetic relations within a facies tract related to catastrophic flooding. Wave- or tide-diffusion processes (right, bottom) occur after the main depositional event. Modified after Zavala et al., in press.

sobre uno de los principales reservorios de la Cuenca Neuquina, la Formación Mulichinco (Weaver, 1931). Esta unidad se habría originado por un episodio de desecamiento total de la cuenca de un tipo similar a los descritos precedentemente. Dicha continentalización fue sucedida por una progresiva influencia marina, que se hace más evidente hacia el techo de la unidad.

La Formación Mulichinco

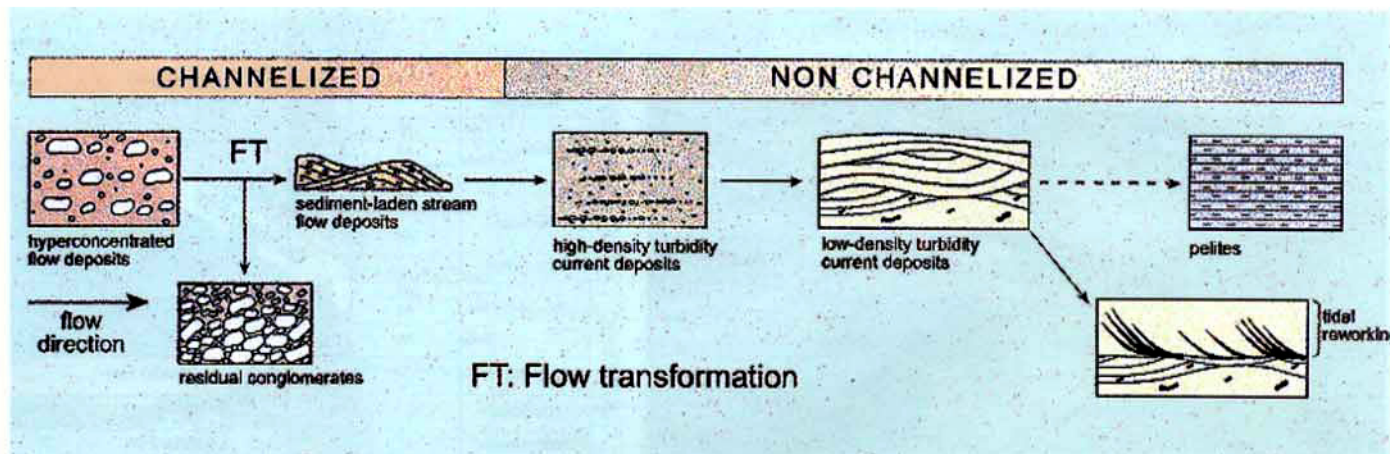
Esta unidad se compone por conglomerados, areniscas y pelitas de colores verdes y rojos, las que en algunos sectores contienen restos de madera silicificada y fauna marina (Fig. 3). Su contenido en fósiles de amonitas y posición estratigráfica sugieren que esta unidad se habría acumulado durante el Valanginiano tardío (Leanza, 1973 ; Gulisano et al., 1984). Los espesores reconocidos para la Formación Mulichinco son sumamente variables, pudiendo superar los 500 m.

En su localidad tipo (cerro Mulichinco, Fig. 1) esta unidad se dispone discordantemente sobre pelitas de plataforma de la Formación Vaca Muerta (Weaver, 1931), siendo cubierta en contacto neto por las pelitas marinas con fauna del Hauteriviano de la base de la Formación Agrio (Weaver, 1931).

Las características parcialmente continentales (fluviales)

gradation cycle corresponding to the base of the Mendoza Group (Kimmeridgian-early Valanginian) (Figure 4). Thus, the use of Mulichinco Formation was restricted to the clastic deposits overlying the Intravalanginian unconformity (Gulisano et al., 1984), whereas the continental deposits having the Vaca Muerta and Quintuco Formations as genetic-equivalents in the southern part of the basin were later recognized as Bajada Colorada Formation (using Roll's old terminology, 1939) (Figure 5). Furthermore, according to these authors, the Mulichinco Formation would have been originated because of a fall in sea level. Therefore, its deposits would correspond to the sequence A9 proposed by such authors (Figure 4), which is related to the Middle Mendoza Mesosequence (Legarreta and Gulisano, 1989).

This study concentrated on the analysis of the internal architecture and sedimentology of this unit from a high-resolution sequence-stratigraphic perspective. Special attention has been focused on the determination of allocyclic (external) controls on sedimentation (such as tectonic activity sea-level changes) in order to gain overall knowledge of the development of the unit. Since allocyclic controls affect sedimentation irrespective of local factors, the results of this study could be extrapolated in order to understand how the unit behaves in the subsurface.



de algunos tramos de la Formación Mulichinco motivaron que el uso de esta unidad fuera en un principio extendido para las capas continentales pre-hauterivianas de naturaleza eminentemente continental reconocidas en el sector sur de la cuenca (sub-cuenca Picún Leufú). Gulisano *et al.* (1984), en un trabajo sumamente esclarecedor, establecieron un nuevo contexto estratigráfico para la Formación Mulichinco, desvinculándola definitivamente del ciclo de progradación clástica correspondiente a la base del Grupo Mendoza (Kimmeridgiano -Valanginiano temprano) (Fig. 4). De esta manera, el uso de Formación Mulichinco quedó restringido para los depósitos clásticos localizados por encima de la discordancia Intravalanginiana (Gulisano *et al.*, 1984) mientras que los depósitos continentales genéticamente equivalentes a las formaciones Vaca Muerta y Quintuco en el sector sur de la cuenca han sido posteriormente reconocidos como Formación Bajada Colorada (utilizando una antigua denominación de Roll, 1939) (Fig. 5). Estos autores interpretaron asimismo que la Formación Mulichinco se habría originado como consecuencia de una caída del nivel del mar, correspondiendo por lo tanto sus depósitos a la secuencia A9 de dichos autores (Fig. 4), relacionada con la Mesosecuencia Mendoza Media (Legarreta y Gulisano, 1989).

El presente estudio estuvo orientado a analizar la sedimentología y arquitectura interna de esta unidad desde el punto de vista de la estratigrafía secuencial de alta resolución. Se ha prestado particular atención en la determinación de controles alocíclicos (externos) en la sedimentación (como actividad tectónica y cambios en el nivel del mar) con el objetivo de arribar a un conocimiento integral del desarrollo de la unidad. Dado que los controles alocíclicos afectan la sedimentación independientemente de los factores locales, los resultados de este estudio podrían extrapolarse para entender el comportamiento de la unidad en el subsuelo.

Las tareas de campo comprendieron la descripción de 12 secciones estratigráficas de detalle del total de la unidad, totalizando un espesor estratigráfico de 3.460m. Estas secciones se distribuyen a lo largo de una extensión de más de 200km., entre la Sierra de la Vaca Muerta y algo al norte de Chos Malal (Fig. 1).

Field work involved the description of 12 detail stratigraphic sections of the entire unit for a total stratigraphic thickness of 3,460m. These sections are distributed along more than 200km, between Sierra de la Vaca Muerta and northern Chos Malal (Figure 1).

Description and interpretation of the main types of sedimentary facies associations

The degree of reliability of sequence stratigraphy works based on field data could be not better than the basic knowledge of facies associations and proper appraisal of the meaning of their bounding surfaces. For this reason, following is a short description of the main characteristics of the most common sedimentary facies and their hydrodynamic interpretation. For further details on the characteristics of facies types under consideration, see Mutti *et al.* (1996). Figure 6 lists the main types of facies and their lateral relationships (modified after Zavala *et al.*, in press).

Coarse-grained fluvial facies associations

This facies associations consists of a great variety of pebbly sandstone and conglomerate layers often exhibiting erosive bases and an irregular to tabular geometry. These facies are best developed in the southwestern part of the study area (arroyo Quintuco, cerro Mocho, bajada Carrizo and Trahuncura sections, Figure 1) and are progressively replaced by finer facies toward the northeast. The most common facies associations correspond to high-density flows related to catastrophic flooding, which show a progressive dilution towards internal zones.

Hyperconcentrated flow facies (HCF)

These facies consist of massive matrix-supported conglomerate layers up to 1 m thick with rounded clasts of lithic materials surrounded by a coarse-grained sand matrix (Figure 7). These facies are related to hyperconcentrated flows (transitional flows from plastic to fluid rheologies), which would move as inertial laminar flows (also

Figura 7 Figure 7

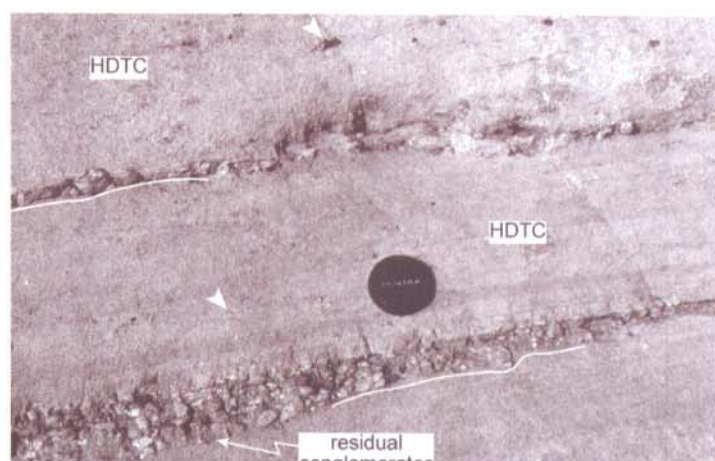
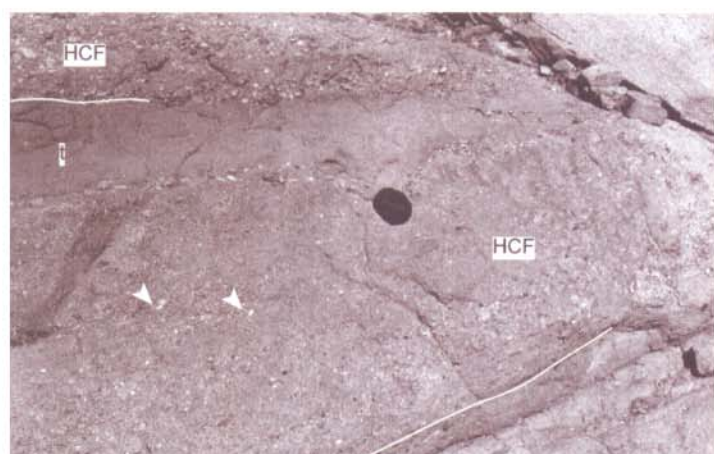
Vista de depósitos relacionados con flujos hiperconcentrados (HCF). Note las características masivas; y la presencia de clastos líticos dispersos dentro de una matriz de arena gruesa (flechas). Sobre el banco principal se reconocen niveles arenosos más finos en contacto neto, posiblemente relacionados a la cola (t) del flujo gravitativo.

View of deposits related with hyperconcentrated flows (HCF). Note their massive characteristics and the occurrence of lithic clasts "floating" in a coarse-grained sand matrix (arrows). Finer sand beds with a sharp contact are recognized on the main bank, which may be related to the tail (t) of the gravity flow.

Figura 8 Figure 8

Detalle de facies de conglomerados residuales, vinculadas a la transformación de un flujo hiperconcentrado en una corriente de turbidez de alta densidad (HDT). Note las características clasto sostén del depósito residual, y la presencia de pequeños clastos en la capa superior (flechas).

Detailed residual conglomerate facies related with transformation of a hyperconcentrated flow into a high-density turbidity current (HDT). Note the clast-support nature of the residual deposit and the occurrence of small clasts in the upper layer (arrows).



Descripción e interpretación de los principales tipos de asociaciones de facies sedimentarias

El grado de confiabilidad de los trabajos de estratigrafía secuencial basado en datos de terreno no puede ser mejor que el conocimiento básico de las asociaciones de facies y la correcta valoración del significado de sus superficies de contacto. Debido a esto, se presenta a continuación un resumen de las principales características de las facies sedimentarias más comunes y su correspondiente interpretación hidrodinámica.

Mayores detalles acerca de las características de los tipos de facies considerados pueden encontrarse en Mutti et al. (1996). La figura 6 muestra una síntesis de los tipos principales de facies y sus relaciones laterales (modificada de Zavala et al., en prensa).

Asociaciones de facies fluviales gruesas

Integran esta asociación de facies una gran variedad de capas de conglomerados y areniscas conglomerádicas, las que a menudo presentan bases erosivas y una geometría irregular a tabular. Estas facies tienen su principal desarrollo en el sector suroeste del área de estudio (Secciones de arroyo Quintuco, cerro Mocho, bajada Carrizo y Trahuncura, Fig. 1) siendo progresivamente reemplazadas por facies más finas hacia el noreste. Las asociaciones de facies más comunes corresponden a flujos de alta densidad relacionados a avenidas fluviales catastróficas, los que muestran una progresiva dilución hacia zonas internas.

Facies de Flujos hiperconcentrados (HCF)

Se componen por capas masivas de conglomerados matrix-sostén, de hasta 1 metro de potencia, con clastos redondeados de materiales líticos inmersos en una matriz de arena gruesa (Fig. 7). Estas facies se relacionan a flujos hiperconcentrados (transicionales entre las reologías plástica y fluida), los que se moverían como flujos laminares inerciales (también conocidos como flujos granulares, Mutti et al., 1999).

known as granular flows, Mutti et al., 1999).

Conglomerate residual facies (CgRF)

This facies corresponds to clast-supported conglomerates up to 1.5m thick. According to field relationships, this facies can be related to the progressive dilution of an hyperconcentrated flow and its transformation into a high-density turbidity current (Figure 8). Within this framework, coarser fractions are segregated from the original flow and accumulated as a residual deposit.

Sediment laden stream flow facies (SLSF)

It consists of sand dunes ranging in thickness from 0.10 to 0.80m, with tabular planar and trough cross-stratification (Figure 9). These dunes are characterized by the presence of scattered rounded clasts of lithic materials up to 1cm in size. The different sets often show climbing arrangements (climbing dunes), which is indicative of traction-related high settling rates from the original flow. According to field relationships, this facies often fills irregular erosive depressions (or channels). Therefore, it is related to large-scale turbulence under subaerial conditions corresponding to sediment laden flows (in the sense of Mutti et al., 1996).

Shelfal sandstone lobes facies associations

This association consists of a great variety of coarse- to fine-grained sandstones with slightly irregular to tabular geometries. According to field relationships, these facies are laterally related to the above-described high-density fluvial facies. Occurrence of hummocky cross-stratification (which is indicative of combined flows), marine fauna, and evidence of wave and tidal action on the top of some layers suggests deposition in a subaqueous environment, which corresponds to a delta front of river-delta systems (Mutti et al., 1996). The delta front of these systems displays geometries which differ considerably from those of "classic" deltas (Gilbert type). Since the related fluvial flows consist of high-density water/sediment mixtures, upon entering water bodies they move as un-

Figura / Figure 9

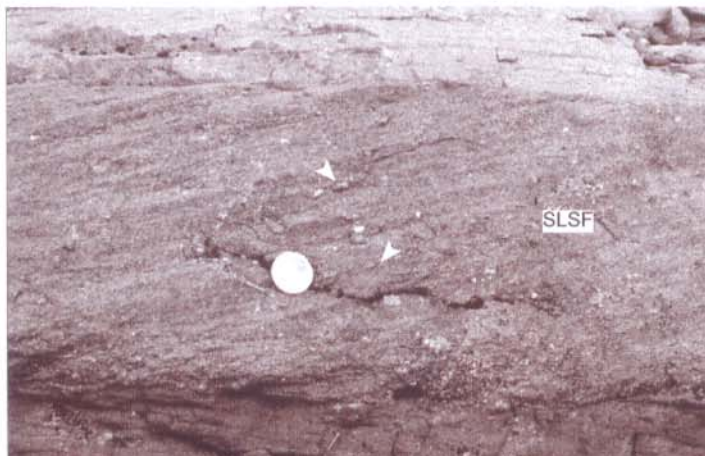
Vista de las características principales de facies relacionadas a corrientes saturadas de sedimento (SLSF), relacionadas a tracción/decantación en zonas canalizadas afectadas por turbulencia de gran escala. Note la presencia de clastos dispersos en las láminas frontales (flechas).

View of the main characteristics of facies related with sediment laden stream flows (SLSF) associated with traction/settling in channelized zones affected by large-scale turbulence. Note the occurrence of scattered clasts in fore sets (arrows).

Figura / Figure 10

Capas masivas tabulares interpretadas como lóbulos arenosos de plataforma (frente deltaico). La presencia de clastos de arcilla (flecha) dentro del depósito sugiere su vinculación con corrientes de turbidez de alta densidad.

Tabular massive layers interpreted as shelfal sandstone lobes (delta front). The occurrence of clay chips (arrow) within the deposit suggests their relation with high-density turbidity currents.



Facies de conglomerados residuales (CgRF)

Esta facies corresponde a conglomerados clasto sostenidos, con espesores de hasta 1,5 metros. Relaciones de campo permiten vincular esta facies con la progresiva dilución de un flujo hiperconcentrado y su transformación en una corriente turbidítica de alta densidad (Fig. 8). En este contexto, las fracciones más gruesas son segregadas del flujo original y acumuladas como un depósito residual.

Facies de corrientes saturadas de sedimentos (SLSF)

Se integra por dunas de arenas de entre 0,10 y 0,80m., con estratificación entrecruzada tabular planar y en artesa (Fig. 9). Estas dunas se caracterizan por la presencia en las láminas frontales de clastos líticos redondeados dispersos de hasta 1cm de diámetro. A menudo los distintos sets muestran una disposición "escalante" (*climbing dunes*) indicando altas tasas de decantación desde el flujo original asociadas a tracción. Relaciones de campo muestran a menudo que esta facies se encuentra rellenando depresiones erosivas irregulares (o canales), por lo que se vincula a turbulencia de gran escala en condiciones subaéreas, y relacionada a corrientes saturadas de sedimento (*sediment laden stream flow*, en el sentido de Mutti et al., 1996).

Asociaciones de facies de lóbulos arenosos de plataforma

Esta asociación se compone por una amplia variedad de facies de areniscas gruesas a finas, con geometrías algo irregulares a tabulares. Relaciones de terreno sugieren que estas facies se vinculan lateralmente a las facies fluviales de alta densidad canalizadas descritas precedentemente. La presencia en algunas capas de estratificación entrecruzada de tipo *hummocky* (indicativa de flujos combinados), fauna marina y evidencias de acción de ola y mareas en el techo de las capas sugieren la depositación en un medio subacuático, correspondiendo a un frente deltaico de sistemas de tipo river-delta (Mutti et al., 1996). El frente deltaico de estos sistemas presenta geometrías que difieren substancialmente de aquellas de los deltas "clásicos" (tipo Gilbert). Dado que las corrientes fluviales relacionadas se

derflows and may travel over a long distance causing significant erosion of the substrate. The resulting deposits display a predominantly tabular geometry which is similar to that of real turbidites. This has often led to describe these layers as shelf turbidites or tempestites (the latter being incorrectly assigned to storm deposits). Shelfal sandstone lobes are associated with high- and low-density turbidity currents and may be generally analyzed using criteria of study applicable to turbidite layers.

High-density turbidite current facies (HDTCT)

These facies consist of tabular to irregular beds which may be more than 2m thick (Figure 10). Internally, they are massive or less frequently involve anisotropic HCS or traction sheets towards the base. This facies is characterized by the occurrence of small gravel (up to 0.5cm) and clay clasts "floating" inside fine- to medium-grained sandstones. The occurrence of this facies commonly suggests (1) events of limited magnitude and duration, (2) shortage of fine materials in the flow with a resulting increase in internal friction, or (3) presence of topographic barriers across its path, which would hinder complete transformation of flow into more diluted turbidity currents.

Low-density turbidite current facies (LDTCT)

These facies consist of normal graded tabular sandstone beds displaying anisotropic and isotropic *hummocky* cross-stratification (HCS) (Figures 11 and 12). These facies represent the distal units of clastic deposition in fluvio-deltaic systems dominated by catastrophic flooding since they grade, towards the basin, into a monotonous succession of mudstones. These facies are best developed in the central parts of the study area (arroyo Pichi Neuquén section, Figure 1) where their total thickness is over 150m.

Evidence of wave- and tide- diffusion processes

Notwithstanding the fact that most coarse clastic deposits of the Mulichinco Formation are related to flooding and their equivalent deposits on the shelf, evidence of rework

Figura / Figure 11

Niveles con estratificación entrecruzada de tipo *hummocky* isotrópica, en depósitos de lóbulos arenosos de plataforma. La tapa de la cámara sugiere la escala.

Layers exhibiting isotropic *hummocky* cross-stratification in shelfal sandstone lobe deposits. Lens cover for scale.

Figura / Figure 12

Vista de capas con estratificación entrecruzada de tipo *hummocky* anisotrópica cerca de la base. Dirección de paleocorriente de derecha a izquierda. La lapicera (círculo) de escala.

Layers exhibiting anisotropic *hummocky* cross-stratification near the base. Paleocurrent direction from right to left. The scale pen for scale.



componen por mezclas de agua y sedimento de alta densidad, al entrar en cuerpos de agua se mueven como corrientes de fondo (o *underflows*), pudiendo viajar por grandes distancias y producir una substancial erosión sobre el substrato. Los depósitos resultantes muestran principalmente una geometría tabular, similar a aquella de las verdaderas turbiditas. Este hecho ha motivado que estas capas sean frecuentemente descritas como turbiditas de plataforma o tempestitas (esta última con una asignación errónea a depósitos de tormenta). Los lóbulos arenosos de plataforma se relacionan a corrientes de turbidez de alta y baja densidad, y pueden ser analizados en general utilizando criterios de estudio de capas turbidíticas.

Facies de flujos turbidíticos de alta densidad (HDTIC)

Se componen por bancos tabulares a irregulares, con espesores que pueden superar los dos metros (Fig. 10). Internamente se presentan masivos, o menos frecuentemente con HCS anisotrópicos o carpetas de tracción hacia la base. Caracterizan a esta facies la presencia de pequeñas gravas (hasta 0,5cm) y clastos de arcilla "flotando" dentro de areniscas finas a medias. La presencia de esta facies comúnmente sugiere (1) eventos de pequeño volumen y duración, (2) déficit de materiales finos en el flujo, con un correspondiente aumento de la fricción interna, o (3) presencia de barreras topográficas en su trayectoria, hecho que dificultaría la completa transformación del flujo en corrientes de turbidez más diluidas.

Facies de flujos turbidíticos de baja densidad (LDTIC)

Se integran por bancos tabulares de arenisca con gradación normal y estratificación entrecruzada de tipo *hummocky* (HCS) de tipo anisotrópico e isotrópico (Figs. 11 y 12). Estas facies representan los términos distales de la depositación clástica en sistemas fluvio-deltaicos dominados por avenidas fluviales, ya que gradan hacia zonas internas a una monótona sucesión de pelitas. El mayor desarrollo de este tipo de facies se reconoce en zonas centrales del área de estudio (sección arroyo Pichi Neuquén, Fig. 1) donde muestran un espesor total de más de 150m.

by normal marine processes, particularly waves and tides, is commonly noticed on the top of some graded layers. It should be noted that whereas deposition of fluvio-deltaic systems related to flooding occurs in a relatively instantaneous fashion, diffusion processes act during quiescence periods of the main depositional system. Evidence of tidal rework comprises sigmoidal cross-stratification layers of varying thicknesses which show diurnal and monthly cyclicity. These layers are usually arranged with a sharp erosive base on beds related to high-density flows (Figures 6 and 13). Wave reworking process, in turn, are characterized by the occurrence of truncated wave ripple layers (characteristic of the shoreface) intercalated between gravity flow deposit (Figure 14).

Sequence stratigraphy of the Mulichinco Formation

Correlation of the described stratigraphic sections, which is largely supported by physical criteria, facies analysis, and the existence of some markers (e.g. appearance, first appearance of tidal evidences) allowed to recognize the occurrence of six depositional sequences within the Mulichinco Formation (Zavala, 1999) known as M1 to M6 (Figure 15). Sequence boundaries are often associated with major truncations which become more evident from physical correlation. From these truncations, which sometimes coincide with changes in sedimentology, three intervals can be recognized within the unit, each corresponding to sequences M1 and M2, M3 to M5, and M6.

Lower interval (sequences M1 and M2)

Figure 16 shows a detailed correlation of sequences M1 and M2, between arroyo Quintuco and arroyo Pichi Neuquén. These sequences were deposited in fluvio-lacustrine systems (fan-deltas and river-deltas) dominated by catastrophic flooding. Proximal facies outcrop north of Las Lajas (arroyo Quintuco, cerro Mocho and cerro Mulichinco, Figure 1) where they are less than 90m thick. Greatest thicknesses were recognized in the Naunaucó-Pichi Neuquén

Figura / Figure 13

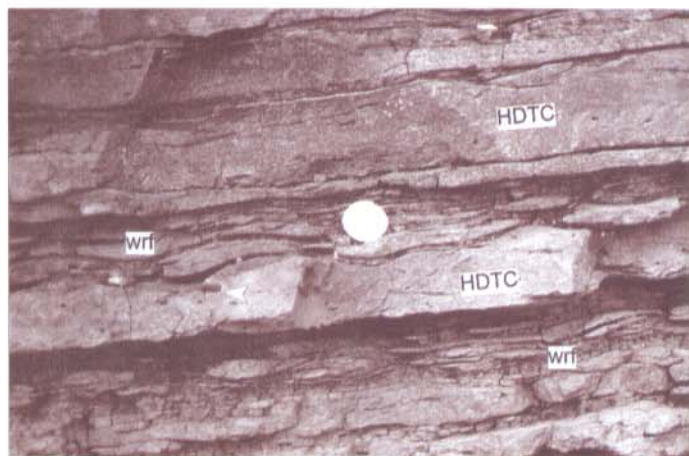
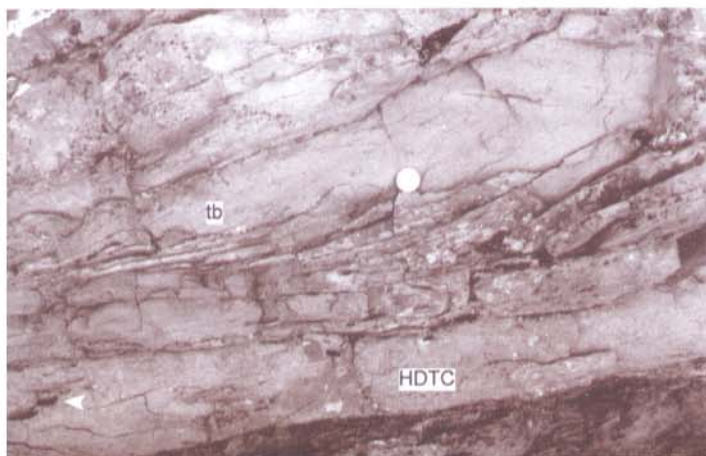
Detalle de evidencias de acción de mareas al techo de depósitos de naturaleza gravitativa (HDTIC). Note la presencia de clastos de arcilla en el depósito inferior (flecha) y las características de los paquetes mareales (tb). Una moneda de escala.

Evidences of tidal action on top of deposits gravity flow (HDTIC). Note the occurrence of clay chips in the lower deposit (arrow) and the characteristics of tidal packages (tb). A for scale coin.

Figura / Figure 14

Particular de depósitos gravitativos (HDTIC) afectados por procesos de difusión de ola (wrf). Note la presencia de clastos de arcilla dentro de los niveles gravitativos (flecha).

Gravity flow deposits (HDTIC) affected by wave diffusion processes (wrf). Note the occurrence of clay chips within gravity flow layers (arrow).



Evidencias de procesos de difusión por olas y mareas

Si bien gran parte de los depósitos clásticos gruesos de la Formación Mulichinco se vinculan a avenidas fluviales y sus depósitos equivalentes en la plataforma, es común observar en el techo de algunas capas gradadas la presencia de evidencias de retrabajo por parte de procesos marinos normales, especialmente olas y mareas. Cabe destacar que mientras la depositación de los niveles fluvio-deltaicos relacionados a avenidas fluviales ocurre de manera relativamente instantánea, los procesos de difusión actúan durante los períodos de calma del sistema deposicional principal.

Las evidencias de retrabajo por mareas comprenden niveles con estratificación entrecruzada sigmoidal de distinto espesor, las que muestran ciclicidad de tipo diurno y mensual. Estas capas corrientemente se disponen con base neta-erosiva sobre bancos relacionados a flujos de alta densidad (Figs. 6 y 13). El retrabajo de ola, por su parte, se caracteriza por la presencia de niveles con ondulitas truncadas de ola (característicos del *shoreface*) intercalados dentro de depósitos de naturaleza gravitativa (Fig. 14).

Estratigrafía secuencial de la Formación Mulichinco

La correlación de las secciones estratigráficas descriptas, apoyada en gran medida por criterios físicos, de análisis de facies, y la existencia de niveles guía (e.g. la primera aparición de evidencias de acción de mareas), permitió reconocer dentro de la Formación Mulichinco la existencia de seis secuencias deposicionales (Zavala, 1999), denominadas como M1 a M6 (Fig. 15). Los límites de secuencia a menudo se encuentran asociados a importantes truncaciones,



Foto / Photo:

Fm. Mulichinco,
Localidad Río Salado

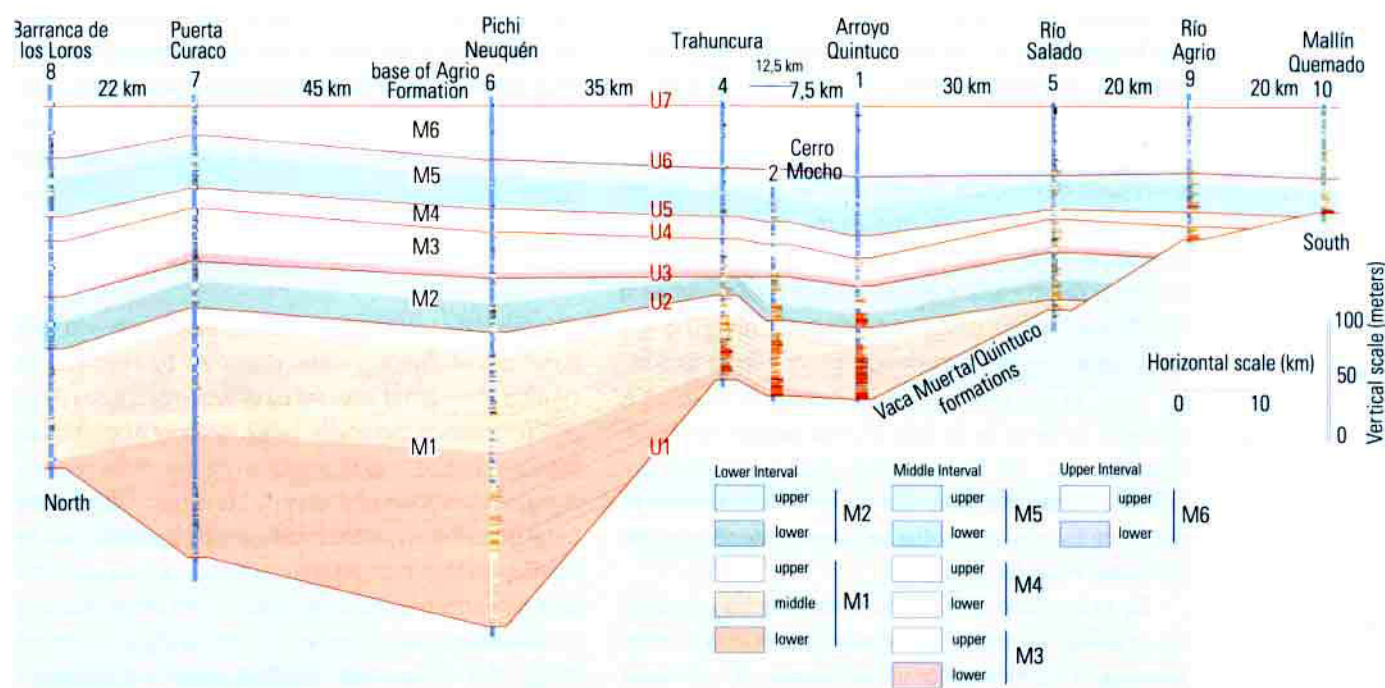
Mulichinco Formation,
Río Salado locality

zone (263m, Figure 16). Such area could therefore account for the main depocenter. Paleocurrents and facies relations indicate a fluvial supply from the southwest, the deposits of which would accumulate in a restricted and elongated depression trending approximately north-south. This depression would have been bounded by relative topographic highs occurring east of the Cordón del Salado (occurrence of this high to the east is clearly suggested in Figure 17) and toward the north in the Chos Malal zone (Figure 15). Likewise, a topographic high is apparent to the south since these basal sequences do not reach the zone north of Sierra de la Vaca Muerta (Mallín Quemado section, Figure 15). It should be noted that neither marine fauna nor evidence of tidal action is found to occur in the lower interval. Therefore, it is tentatively assigned to a fluvio-lacustrine origin. Both sequence M1 and sequence M2 generally show an overall thinning- and fining-upward arrangement and are internally composed of fining-upward elemental sequence stacking varying in thickness from 8 to 12m in proximal zones (Figure 18). These elemental sequences consist

Figura / Figure 15

Corte estratigráfico de la Fm. Mulichinco en el centro-oeste del Neuquén, entre Mallín Quemado y Barranca de los Loros (192 km). Para la ubicación de las secciones ver Fig. 1.

Stratigraphic section of the Mulichinco Formation in west-central Neuquén, between Mallín Quemado and Barranca de los Loros (192 km). See Figure 1 for location of sections



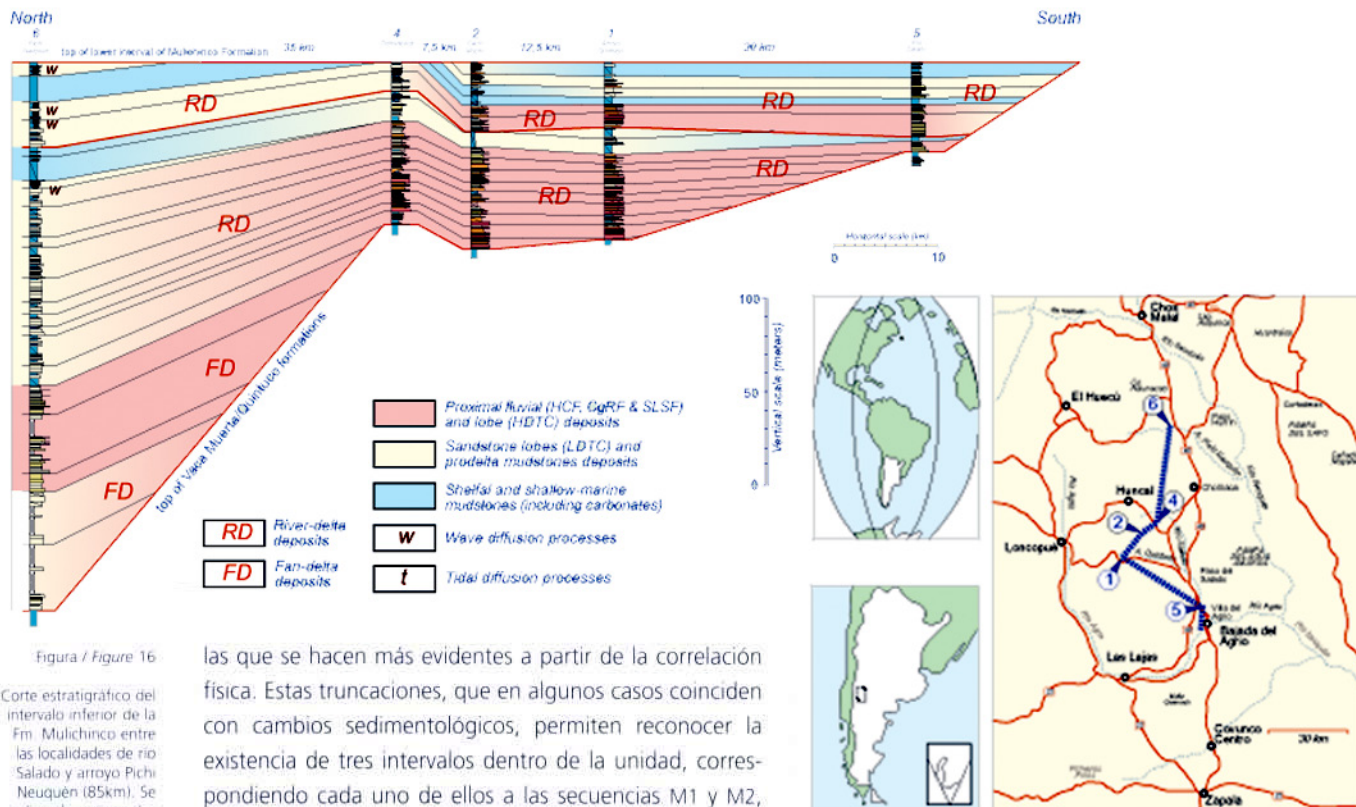


Figura / Figure 16

Corte estratigráfico del intervalo inferior de la Fm. Mulichinco entre las localidades de río Salado y arroyo Pichi Neuquén (85km). Se indican los principales tipos de facies y elementos deposicionales. Las paleocorrientes indican una proveniencia del suroeste.

Stratigraphic section of the lower interval of the Mulichinco Formation between Rio Salado and arroyo Pichi Neuquén localities (85 km). Main facies types and depositional elements are indicated. Paleocurrents suggest a from the southwest provenance.

las que se hacen más evidentes a partir de la correlación física. Estas truncaciones, que en algunos casos coinciden con cambios sedimentológicos, permiten reconocer la existencia de tres intervalos dentro de la unidad, correspondiendo cada uno de ellos a las secuencias M1 y M2, M3 a M5 y M6.

Intervalo inferior (secuencias M1 y M2)

En la Fig. 16 se observa una correlación detallada de las secuencias M1 y M2, entre arroyo Quintuco y arroyo Pichi Neuquén. Estas secuencias se depositaron en sistemas fluvio-lacustres (fan-deltas y river-deltas) dominados por avenidas fluviales catastróficas. Las facies proximales afloran al norte de Las Lajas (arroyo Quintuco, cerro Mocho y cerro Mulichinco, Fig. 1) donde presentan un espesor menor a los 90 metros. Los espesores máximos fueron reconocidos en la zona de Naunaucó-Pichi Neuquén (263m, Fig. 16), por lo que dicha área podría corresponder al depocentro principal. Las paleocorrientes y las relaciones de facies indican una zona de aporte fluvial localizada al suroeste, cuyos depósitos se acumularían en una depresión restringida y elongada de dirección aproximadamente norte - sur. Esta depresión habría estado limitada por altos topográficos relativos localizados algo al este del cordón del Salado (la presencia de este alto al este se insinúa claramente en la Fig. 17) y en la zona de Chos Malal hacia el norte (Fig 15). De la misma manera se evidencia un alto topográfico hacia el sur, ya que estas secuencias basales no alcanzan el norte de la Sierra de la Vaca Muerta (sección de Mallín Quemado, Fig. 15). Cabe destacar que en el intervalo inferior no se ha reconocido fauna marina ni evidencias de acción de mareas, por lo que tentativamente se le asigna un origen fluvio-lacustre.

Tanto la secuencia M1 como la M2 muestran en general un arreglo general estrato y grano decreciente, e internamente se componen por un apilamiento de secuencias

of channelized residual conglomerates and HCF deposits which grade upwards into coarse-grained sandstones related to SLSF, and unchannelized tabular sandstones lobes deposited by LDTC ending with lacustrine mudstones (Figure 19) on top. Each sequence generally involves a clear cyclicity with forestepping and backstepping intervals similar to those described by Legarreta and Uliana (1998). In internal positions, these cycles are expressed as a cyclic stacking of shelfal sandstone lobes separated by conspicuous mudstone layers. This high-frequency cyclicity is interpreted to be related with increased fluvial discharge followed by a progressive decrease in the supply volume and concentration. The latter would be related to a complex climate/tectonics interaction. The conceptual internal development for an elemental sequence is shown in the schema of Figure 20.

Middle interval (sequences M3 to M5)

This interval consists of sandstones, mudstones and, to a lesser extent, conglomerates deposited by fluvio-marine systems (river-delta) affected by diffusion processes (Figure 21). Towards the north, beach systems of clastic and bioclastic nature tend to predominate over delta systems. A major truncation of sequence M2 is recognized in the basal discontinuity of the middle interval, which could be partially related with tectonic activity since an anticlinal structure affecting the lower interval and being sealed by the middle interval occurs in Trahuncura (Figure 1). In addition, this discontinuity marks a significant paleo-geo-

elementales granodecrecientes con un espesor de entre 8 a 12m. en zonas proximales (Fig. 18). Estas secuencias elementales se integran por conglomerados residuales y depósitos de HCF (canalizados) los que pasan hacia arriba a areniscas gruesas relacionadas a SLSF, culminando con lóbulos arenosos tabulares (no canalizados) depositados por LDTC, y pelitas lacustres (Fig. 19). En general cada secuencia muestra una clara ciclicidad, con pulsos de avance y retroceso (*forestepping - backstepping*) del sistema deposicional similares a los descritos por Legarreta y Uliana (1998). En zonas internas, estos ciclos se expresan como apilamientos cíclicos de lóbulos arenosos de plataforma separados por importantes niveles pelíticos. Se interpreta que esta ciclicidad de alta frecuencia estaría relacionada a un aumento de la descarga fluvial, seguida por una progresiva disminución en el volumen y concentración de los aportes, este último relacionado a una compleja interacción entre clima y tectónica. En el esquema de la Fig. 20 se observa el desarrollo interno conceptual para una secuencia elemental.

Intervalo medio (secuencias M3 a M5)

Este intervalo se integra por areniscas, pelitas y en menor medida conglomerados depositados por sistemas fluvio marinos (*river-delta*), afectados por procesos de difusión (Fig. 21). Hacia el sector norte tienden a predominar los sistemas de playa de naturaleza clástica y bioclástica por sobre los sistemas deltaicos. En la discontinuidad basal del intervalo medio se reconoce una importante truncación de la secuencia M2, la que en parte podría relacionarse a actividad tectónica, ya que en Trahuncura (Fig. 1) se observa una estructura anticlinal que afecta al intervalo inferior y es sellada por el intervalo medio. Esta discontinuidad marca asimismo un cambio paleogeográfico importante en la cuenca, ya que las secuencias del intervalo medio presentan una distribución areal mucho mayor, y se inician con claras evidencias de acción de mareas (Fig. 13). Otro cam-



Foto / Photo:
Fm. Mulichinco
Localidad Rio Salado.
Mulichinco Formation
Rio Salado locality.

graphic change in the basin since the middle interval sequences exhibit a considerably wider areal distribution and begin with clear indications of tidal action (Figure 13). Another significant change occurs in the location of supply areas since in the study area contributions begin to predominate from the south and, to a lesser extent, from the north and east with related flows of less magnitude than those from the lower interval. Progressive

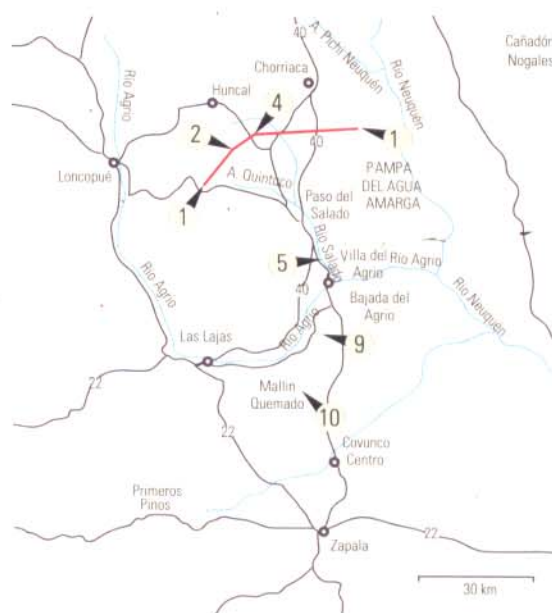


Figura / Figure 17
Corte estratigráfico de la Fm. Mulichinco entre las localidades de arroyo Quintuco y cordón del Salado-Mula (37km). Note el adelgazamiento del intervalo inferior (secuencias M1 y M2) hacia el este del área de estudio. Por referencias ver Fig. 15.

Stratigraphic section of the Mulichinco Formation between arroyo Quintuco and cordón del Salado-Mula localities (37 km). Note thinning of the lower interval (sequences M1 and M2) towards the east of the study area. See Figure 15 for references.

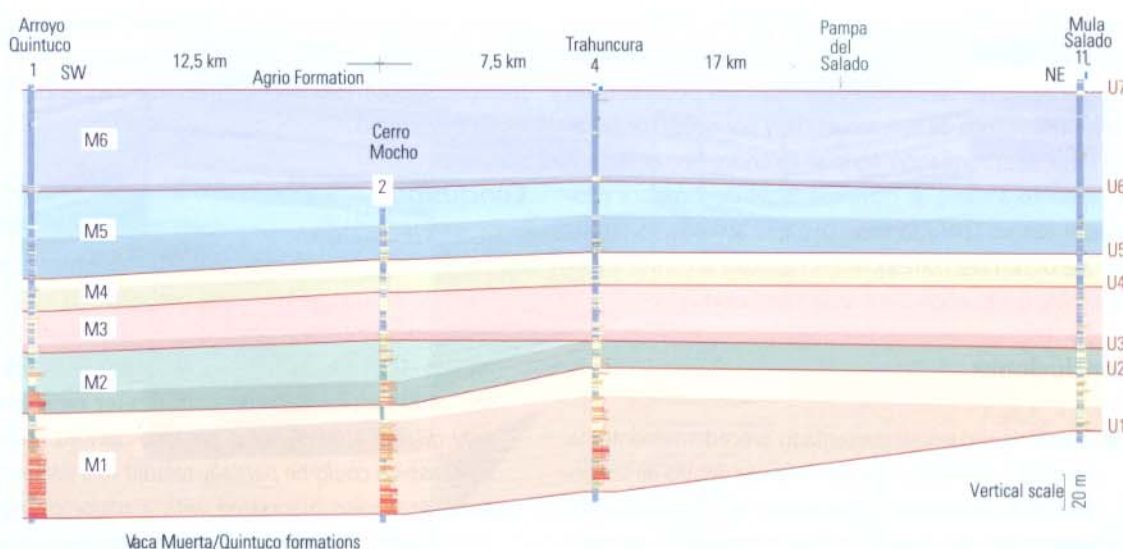




Figura / Figure 18

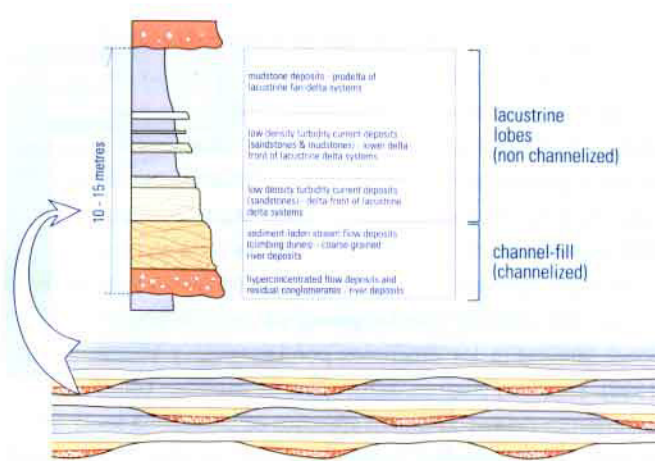
Vista del desarrollo de campo de las secuencias elementales reconocidas en el intervalo inferior de la Fm. Mulichinco. En el ángulo superior derecho de la fotografía se muestra un esquema de dichas secuencias, donde se evidencian las características grano y estrato decrecientes de las mismas. Sección 3, Bajada Carrizo.

Field characteristics development of elemental sequences recognized in the lower interval of the Mulichinco Formation. A schema of such sequences is shown at the top right-hand corner of the photograph. Note their thinning- and fining-upward arrangements. Section 3, Bajada Carrizo.

Figura / Figure 19

Esquema deposicional para las secuencias elementales del intervalo inferior de la Fm. Mulichinco. Cada secuencia elemental se inicia con facies fluviales gruesas canalizadas a las que siguen facies más finas no canalizadas, evidenciando una progresiva disminución en el volumen de los aportes clásticos.

Depositional model for the elemental sequences of the lower interval of the Mulichinco Formation. Each elemental sequence begins with channelized coarse-grained facies followed by unchannelized finer facies, which shows a gradual decrease in clastic supply.



bio importante ocurre en la localización de las áreas de aporte, ya que en la zona de estudio comienzan a predominar aportes desde el sur y en menor medida del norte y este, con flujos relacionados de mucho menor magnitud que los del intervalo inferior. La disminución progresiva en la actividad de los sistemas fluvio-deltaicos dominados por avenidas resulta en un incremento de los procesos de difusión por olas y mareas (Figs. 13 y 14). Hacia el sector norte del área de estudio (Rahueco, Chacay Melehue, Puerta Curaco y Barranca de los loros, Fig. 1), sobre lo que fuera un alto relativo en tiempos del intervalo inferior, el accionar del oleaje se torna muy importante, generando típicas sucesiones clásticas de *shoreface / foreshore* (Fig. 21). En esta última zona, adquieren importancia los niveles de calizas bioclásticas, a menudo muy disturbados por la acción de ola, constituyendo verdaderos *cheniers*.

Intervalo superior (secuencia M6)

Al igual que el intervalo medio, la discontinuidad basal del intervalo superior muestra evidencias de truncación en la sucesión precedente. En el área de estudio, el intervalo superior se caracteriza mayormente por pelitas distales y en menor medida areniscas y conglomerados. Los sistemas fluvio-marinos tienen poca importancia, predominando los depósitos afectados por olas y mareas. El intervalo superior es el que presenta la mayor extensión regional, ya que su espesor persiste incluso en las secciones más australes (Sección 10 en la Fig. 15). Al tope de esta secuencia, y por debajo de la caliza basal de la Formación Agrio se reconoce frecuentemente un banco arenoso de playa con facies de *shoreface* y *foreshore* con un contacto basal bastante abrupto. Es probable que dicho nivel corresponda en realidad al cortejo transgresivo de la secuencia basal de la Formación Agrio.

Conclusiones

- El análisis secuencial presentado precedentemente ha permitido diferenciar por primera vez dentro de la Formación Mulichinco la existencia de seis secuencias deposicionales (M1 a M6), las que internamente se com-

decrease in the activity of flood dominated fluvio deltaic systems results in an increase in wave- and tide- diffusion processes (Figures 13 and 14). Towards the northern part of the study area (Rahueco, Chacay Melehue, Puerta Curaco, and Barranca de los Loros, Figure 1), wave action upon what used to be a relative high in times of the lower interval becomes intensive and gives rise to typical *shoreface / foreshore* clastic successions (Figure 21). In the latter zone, bioclastic limestone layers which are often highly disturbed by wave action become more significant and make up genuine "*cheniers*".

Upper interval (Sequence M6)

As is the case with the middle interval, the basal discontinuity of the upper interval provides indications of truncation in the older succession. In the study area, the upper interval is characterized mostly by distal mudstones and sandstones and conglomerates. Fluvio-marine systems are of little importance and wave- and tide-deposits are predominant. The upper interval is the one exhibiting the greatest regional extent since its thickness is maintained even in the southernmost sections (Section 10 in Fig. 15). On top of this sequence, and below the basal limestones of the Agrio Formation, a beach sandy bed with *shoreface* and *foreshore* facies and a fairly sharp basal contact is often recognized. This may in fact correspond to the transgressive systems tract of the basal sequence of the Agrio Formation.

Conclusions

- Based on the above-discussed sequence stratigraphic analysis, six depositional sequences (M1 to M6) were differentiated for the first time in the Mulichinco Formation. Such sequences, which are internally composed of elemental sequences of a lower order, generally display a fining- and thinning-upward arrangement which could be partially related to a progressive basin expansion associated with a major change in the location of supply areas. As an example, the arro-

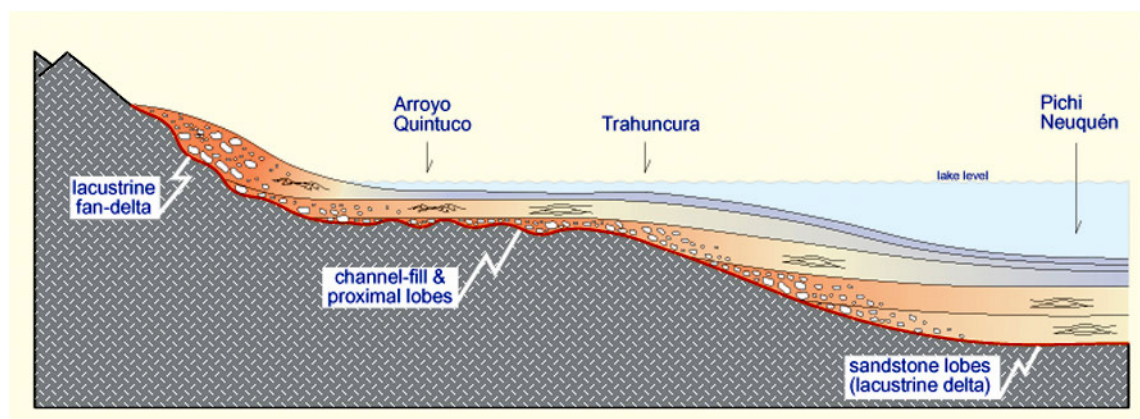


Figura / Figure 20

Modelo deposicional para el desarrollo interno de una secuencia elemental idealizada del intervalo inferior (M1 y M2) de la Fm. Mulichinco. Cada secuencia elemental es el resultado de un ciclo de avance-retroceso (forestepping-backstepping) del sistema deposicional. Note el diacronismo entre la deposición de los lóbulos arenosos y el relleno de las zonas canalizadas proximales.

Depositional model for the internal development of an idealized elemental sequence of the lower interval (M1 and M2) of the Mulichinco Formation. Each elemental sequence is the result of a forestepping-backstepping cycle of the depositional system. Note the diachronism between the deposition of sandstone lobes and the fill of channelized proximal zones.

ponen por secuencias elementales de un orden menor. Dichas secuencias presentan en general un arreglo grano y estrato decreciente, el que podría relacionarse en parte a una progresiva expansión de la cuenca asociada a un cambio importante en la localización de las áreas de aporte. A modo de ejemplo, el área de arroyo Quintuco (sección 1 en Fig. 21) es proximal para el intervalo inferior (con aporte del suroeste), pero se convierte en un área media a distal para los intervalos medio y superior (con aportes del sur, norte y este).

- Los tres intervalos reconocidos muestran una progresiva expansión del área de acumulación, traslapando las unidades anteriores (formaciones Vaca Muerta y Quintuco) por sobre la discordancia Intravalanginiana. De esta manera, el intervalo inferior se habría depositado en una fosa alargada norte-sur, de dimensiones relativamente reducidas y controlada por la existencia de altos topográficos en la cuenca.
- Las evidencias sedimentológicas y estratigráficas sugieren que el intervalo inferior de la Formación Mulichinco, en el área de estudio, se habría depositado en un medio continental correspondiente a un sistema fluvio-lacustre dominado por avenidas fluviales catastrófi-

yo Quintuco (section 1 in Figure 21) is a proximal area for the lower interval (with supply from the southwest) but becomes a middle to distal area for the middle and upper intervals (with supplies from the south, north, and east).

- The three recognized intervals show a progressive expansion of the accumulation area, onlapping older units (Vaca Muerta and Quintuco formations) above the Intravalanginian unconformity. Thus, the lower interval would have been deposited in a relatively limited north-south deep controlled by the occurrence of topographic highs in the basin.
- Sedimentologic and stratigraphic evidences suggest that the lower interval of the Mulichinco Formation, in the study area, would have been deposited in a continental environment corresponding to a fluvio-lacustrine system dominated by catastrophic flooding. The marine connection only becomes apparent from the middle interval where there are clear indications of tidal action.
- Field evidence supports probable development of tectonic activity before and during the deposition of the Mulichinco Formation. Therefore, further studies should be conducted in order to evaluate the influen-

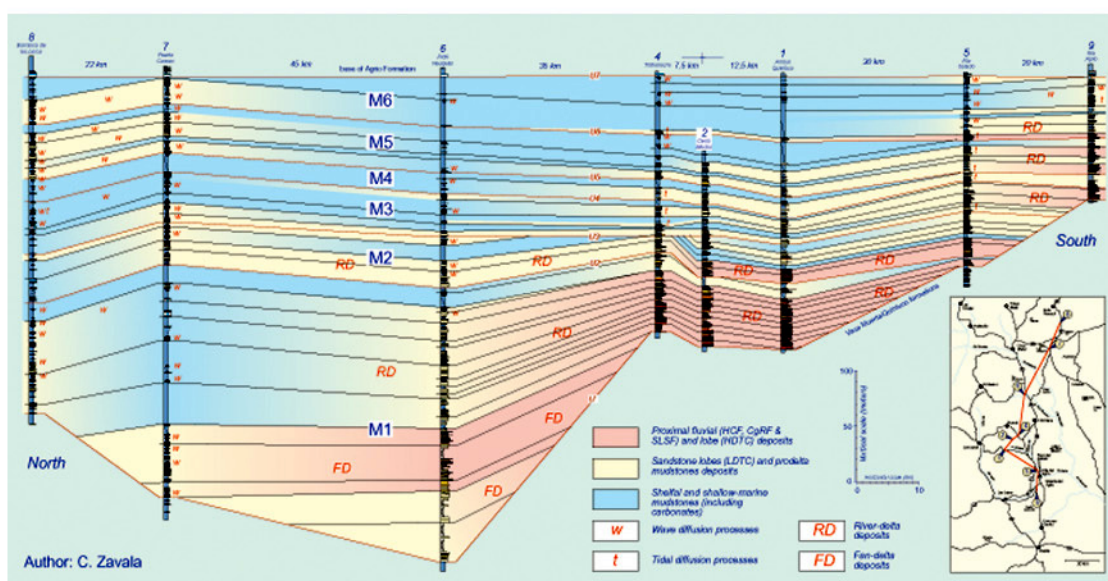


Figura / Figure 21

Corte estratigráfico de la Fm. Mulichinco entre las localidades de río Agrio y Barranca de los Loros (172 km). Se indican los principales tipos de facies dentro de cada una de las secuencias reconocidas.

Stratigraphic section of the Mulichinco Formation between Rio Agrio and Barranca de los Loros localities (172 km). The main types of facies within each recognized sequence are illustrated.

cas. La conexión marina solo se torna evidente a partir del intervalo medio, donde se reconocen claras señales de acción de las mareas.

- Evidencias de campo avalan la posible existencia de actividad tectónica antes y durante la depositación de la Formación Mulichinco, por lo que se hacen necesarios nuevos estudios para evaluar la incidencia de la tectónica y las variaciones eustáticas en el control de los cambios relativos del nivel del mar reconocidos en la sucesión, así como el verdadero significado de la discordancia Intravalanginiana.

Agradecimientos

Gran parte de los trabajos de campo que sustentan este estudio fueron realizados durante 1997 en cumplimiento de un convenio suscrito entre la Fundación de la Universidad Nacional del Sur (Bahía Blanca) y TOTAL AUSTRAL. El autor agradece a los directivos de TOTAL AUSTRAL por la autorización a publicar parte de los resultados del estudio de terreno. Asimismo, quiero agradecer al CONICET y al Departamento de Geología de la Universidad Nacional del Sur por el gran apoyo brindado. ■

ce of tectonics and eustatic changes on the control of the relative changes in sea level recognized in the succession as well as the true meaning of the Intravalanginian unconformity.

Acknowledgements

Many field works supporting this study were performed throughout 1997 under an agreement entered into by and between the Fundación de la Universidad Nacional del Sur (Bahía Blanca) and TOTAL AUSTRAL. The author thanks TOTAL AUSTRAL management for permission to partially publish field survey findings. He also wishes to express his appreciation to the CONICET and the Departamento de Geología of the Universidad Nacional del Sur for their strong support. ■

Referencias bibliográficas / Bibliography

- Di Lena, J.P., Marchese H.G. y Blocky, R., 1989. Evaluación de rocas generadoras en la Cca. Neuquina. 1° Congreso Nacional de Exploración de Hidrocarburos, 1, 311-343. Mar del Plata, Argentina.
- Gulisano, C.A. y Gutierrez Pleimling, A.R., 1995. *The Jurassic of the Neuquén Basin. a) Neuquén Province*. Secretaría de Minería de la Nación. Publicación N° 158, 1-111.
- Gulisano, C.A., Gutierrez 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 del Neuquén. IX Congreso Geológico Argentino, Actas 1, 221-235.
- 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.
- Legarreta, L. y Gulisano, C.A., 1989. Análisis estratigráfico secuencial de la Cuenca Neuquina (Triásico superior-Terciario inferior). En: Cuenas sedimentarias argentinas. Chelbi, G.A. y Spalletti, L.A. eds. Serie Correlación Geológica N° 6, 221-243. Instituto Superior de Correlación Geológica, Universidad Nacional de Tucumán.
- Legarreta, L. & Uliana, M.A., 1998. Anatomy of hinterland depositional sequences: Upper Cretaceous fluvial strata, Neuquén Basin, West-Central Argentina. Shanley, K.W. and McCabe P.J., eds. Relative role of Eustasy, Climate and Tectonism in Continental Rocks. Spec. Publ. Soc. Econ. Paleont. Miner., 59, 83-92.
- Mpodozis, C. & Ramos, V., 1989. The Andes of Chile and Argentina. Ericksen, G.E., Cañas Pinochet, M.T. & Remenund, J.A. eds. Geology of the Andes and its relation to hydrocarbon and mineral resources. Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Earth Sciences series v.11, Houston, Texas, USA.
- Mutti, E., Davoli, G., Tinterri, R. and Zavala C., 1996. The importance of ancient fluvio-deltaic systems dominated by catastrophic flooding in tectonically active basins. *Memorie di Scienze Geologiche*, Università di Padova, v. 48, 233-291.
- Mutti, E., Gulisano, C.A. & Legarreta, L., 1994. Anomalous Systems Tracts Stacking Patterns within Third Order Depositional Sequences (Jurassic-Cretaceous Back-Arc Neuquen Basin, Argentina Andes). In Posamentier, H.W. and Mutti E. (Convs), Second High-Resolution Sequence Stratigraphy Conference, June 20-27, 1994 Abstract Book, pp. 137-143, Tremp.
- Mutti, E., Mavilla, N., Angella, S. and Fava LL., 1999. An introduction to the analysis of ancient turbidite basins from an outcrop perspective. AAPG Continuing Education Course Note 39, 1-98. Tulsa.
- Roll, A., 1939. La Cuenca de los Estratos con Dinosaurios al sur del Río Neuquén. Informe Inédito. Y.P.F.
- Veiga, R., Lara, M.E. y Bruveris, P., 1999. Distribución de hidrocarburos sobre el margen externo en una cuenca de tras-arco. Ejemplos en la Cuenca Neuquina, Argentina. Boletín de Informaciones Petroleras (tercera época) v. 60, 142-164.
- Weaver, C.E., 1931. Paleontology of the Jurassic and Cretaceous of West Central Argentina. Memoir University of Washington, 1, Seattle.
- Zavala, C., 1999. Análisis estratigráfico de la Formación Mulichinco (Valanginiano) en el centro-oeste de la Cuenca Neuquina, Provincia del Neuquén. XIV Congreso Geológico Argentino. Actas 1, pp. 77.
- Zavala C., Azúa G., Freije H., y Ponce J., en prensa. Los sistemas fluvio-deltaicos del Grupo Curamalal (Paleozoico Inferior). Cuenca Paleozoica de Ventania, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina. Vol. 54, nro 1.