Depósitos de tormenta en un frente deltaico. Jurásico medio de la cuenca neuquina, República Argentina

LUIS A. SPALLETTI

Centro de Investigaciones Geológicas. Calle 1 n.º 644, La Plata (1900). República Argentina.

Resumen: En la región de Chacaico (sur de la provincia del Neuquén, República Argentina) se presenta bien expuesto el pasaje gradual entre las formaciones Los Molles y Lajas (Grupo Cuyo, Jurásico medio). A partir del análisis de litofacies y de sus asociaciones se han definido tres tramos en la zona de transición y se han interpretado los procesos y los ambientes sedimentarios. El tramo inferior (parte media a superior de la Formación Los Molles) está constituido por una sucesión de lutitas y margas oscuras (facies F) con intercalaciones arenosas. En las areniscas se reconocen dos facies: S1, con capas planas (S1h), monticulares (S1hcs) y con óndulas de olas (S1r); y S2, con capas macizas y lineaciones subestratales. El tramo inferior se interpreta como formado por procesos de decantación en un ambiente sublitoral, con esporádicos flujos orbitales y gravitacionales inducidos por tormentas. En esta sección se han hallado restos de reptiles marinos del Bajociano temprano. El tramo medio (parte superior de la Formación Los Molles) se compone de grauwacas (wackes) y fangolitas limosas masivas con abundante bioturbación y concreciones ammonitíferas (facies S3). También aparecen intercalaciones de las facies S1 (arenitas con óndulas de olas) y de capas gruesas y masivas de lumaquelas (facies Cq). El tramo medio se atribuye a un ambiente de "shoreface" inferior, en el que prevaleció la sedimentación por olas de buen tiempo y de tormentas. El tramo superior (parte baja de la Formación Lajas) muestra alternancia de facies arenosas: S3 y S4, la última con estructuras de capa plana (S4h) y de bajo ángulo; también aparecen niveles de lumaquelas (facies Cq). El ambiente corresponde a un "shoreface" superior, con sedimentación traccional por corrientes inducidas por el oleaje en condiciones de alta energía. La zona de transición Los Molles-Lajas se considera parte de un episodio progradacional de gran escala. Específicamente corresponde al frente de un sistema deltaico destructivo con dominio de la acción del oleaje, cuya línea de costa se orientaba de NE a SO, paralela al borde de cuenca. Los restos fósiles, tanto de vertebrados como de invertebrados, concentrados en determinados niveles estratigráficos de la Formación Los Molles, representan intervalos condensados que son útiles para definir límites de secuencias de tercer orden en sucesiones dominadas por depósitos de grano fino.

Palabras clave: Sedimentología, Depósitos de tormenta, Frente deltaico, Jurásico medio, Cuenca neuquina, Argentina.

Abstract: The transition between Los Molles and the Lajas Formations (Middle Jurassic) is exposed along the eastern flank of the Chacaico anticline (southern Neuquén Province, Argentina). On the basis of a detailed facies analysis, the transition zone has been divided in three sections. The lower section (middle to upper part of Los Molles Formation) is composed of dark shales and marls (facies F) with two main types of sandstone intercalations: S1 (plane-bedded, hummocky cross-bedded and wave-rippled sandstones) and S2 (massive sandstones with sole marks). This section is interpreted as offshore deposits dominated by fall-out processes, and with episodic storm-induced orbital and gravitational flows. Lower Bajocian reptiles have been discovered in the offshore dark shales and marls of the lower section. Couplets of massive, bioturbated wackes and mudstones (facies S3) with sporadic occurrences of S1 and coquina beds (facies Cq), characterize the middle section (top of Los Molles Formation), for which a distal shoreface environment is suggested. The upper section (lower part of the Lajas Formation) is characterized by alternances of bioturbated and plane-bedded sandstones (facies S3 and S4), interpreted as the deposits of a wave-dominated upper shoreface environment. The Lajas-Los Molles transition zone is interpreted as a part of a large-scale progradational deltaic succession. It was deposited at the delta front environment during the development of a wave-dominated destructive phase. The concentration of both vertebrate and invertebrate remains in restricted intervals of the lower section (offshore environment) has been used to define condensed horizons, and to establish the basal transgressive boundaries of third order depositional sequences.

Keywords: Sedimentology, Storm induced flows, Delta front, Neuquén basin, Argentina.

Luis A. Spalletti. (1995): Depósitos de tormenta en un frente deltaico. Jurásico medio de la cuenca Neuquina, República Argentina. *Rev. Soc. Geol. España*, 8 *(3): 261-272.*

Durante el Jurásico, el borde occidental (Pacífico) de Gondwana, entre las actuales latitudes de 35° y 39° sur, estuvo sometido a condiciones de subducción con la generación de un arco magmático ensiálico (cf. Riccardi, 1983). Más hacia el este, fenómenos de marcada extensión, produjeron la rotación y subsidencia de diversos bloques basamentales (Uliana *et al.*, 1989), con el consecuente desarrollo de una depresión de trasarco conocida

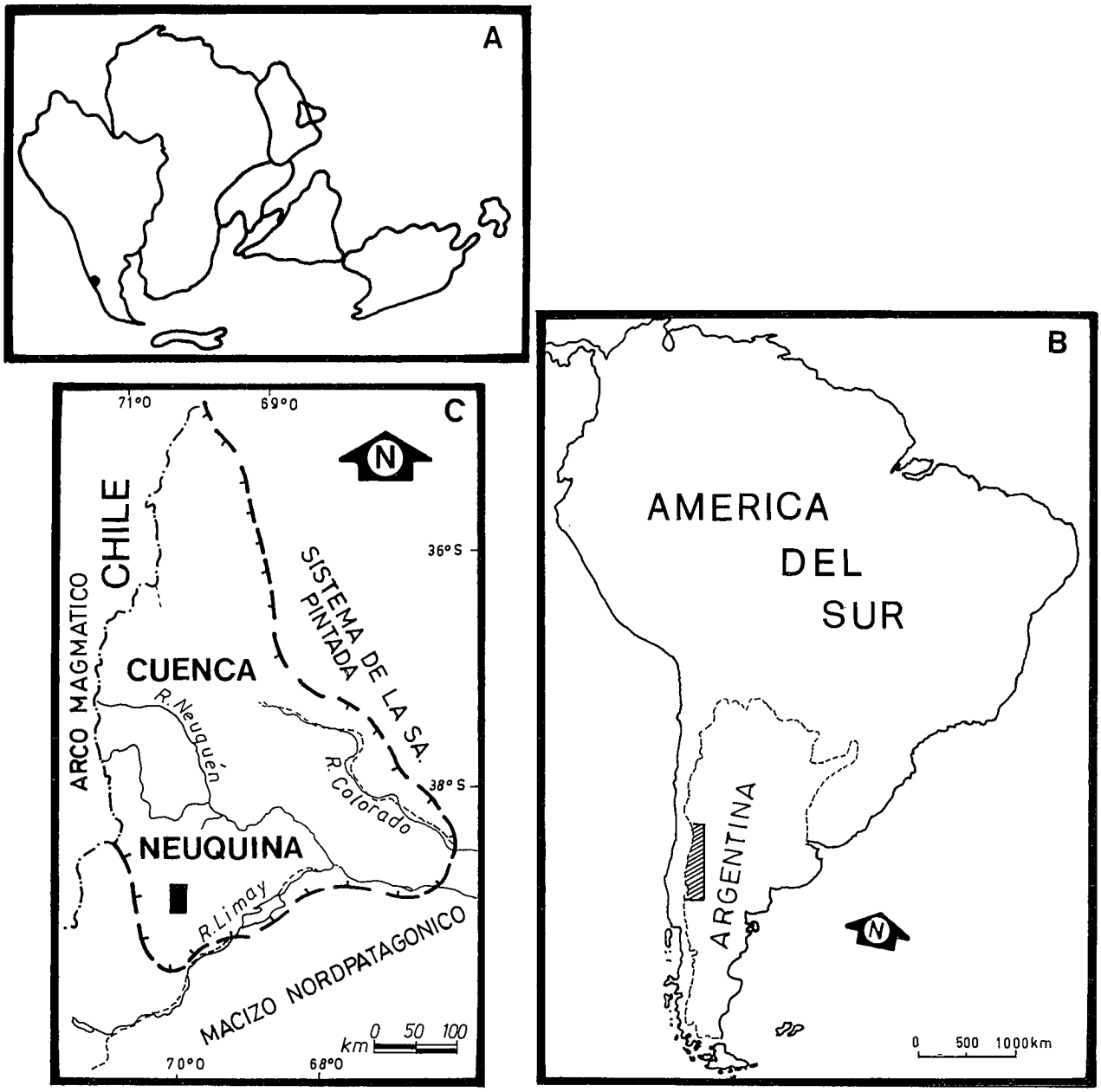

Figura 1.- Mapas de ubicación de la región estudiada.

como cuenca Neuquina (Figura 1).

Entre el Jurásico temprano y el Jurásico medio, la cuenca Neuquina estuvo casi enteramente dominada por condiciones marinas que dieron lugar a un registro cercano a los 2.500 m de espesor denominado Grupo Cuyo (Dellapé *et al.*, 1978). En el sector austral de la depresión, el Grupo Cuyo muestra en conjunto clara tendencia progradacional (Figura 2), ya que sobre lutitas negras, turbiditas y debritas de ambientes mesobatiales y neríticos (Formación Los Molles) se disponen areniscas de plataforma marina somera (Formación Lajas) y por último capas rojas continentales (Formación Challacó). Hacia el centro de cuenca, el Grupo Cuyo culmina con una sección carbonático-evaporítica denominada Formación Tábanos.

El estudio de la zona de contacto entre las formaciones Los Molles y Lajas presenta un gran interés científico por su riqueza en restos de vertebrados marinos y por las características de los depósitos sedimentarios. Este tramo estratigráfico ha sido analizado a escala de detalle en una de las regiones donde los afloramientos son de muy buena calidad (Sierra de Chacaico). Las secciones estudiadas (Figura 3) forman parte del flanco oriental de una estructura anticlinal cuyo eje, de rumbo aproximado NNE-SSO, se ubica a lo largo de los arroyos Charahuilla-Chacaico-Los Molles. Un poco más al norte, esta estructura gira bruscamente hacia el este, y el eje anticlinal coincide en sentido amplio con la traza del río Picún Leufú.

El trabajo de campo consistió en el levantamiento de cuatro perfiles (Figura 3) a escala de detalle (1:100) y con muestreo sistemático de sedimentitas y restos fósiles. La caracterización facial se efectuó a partir de atributos litológicos (textura y composición, con control petro-

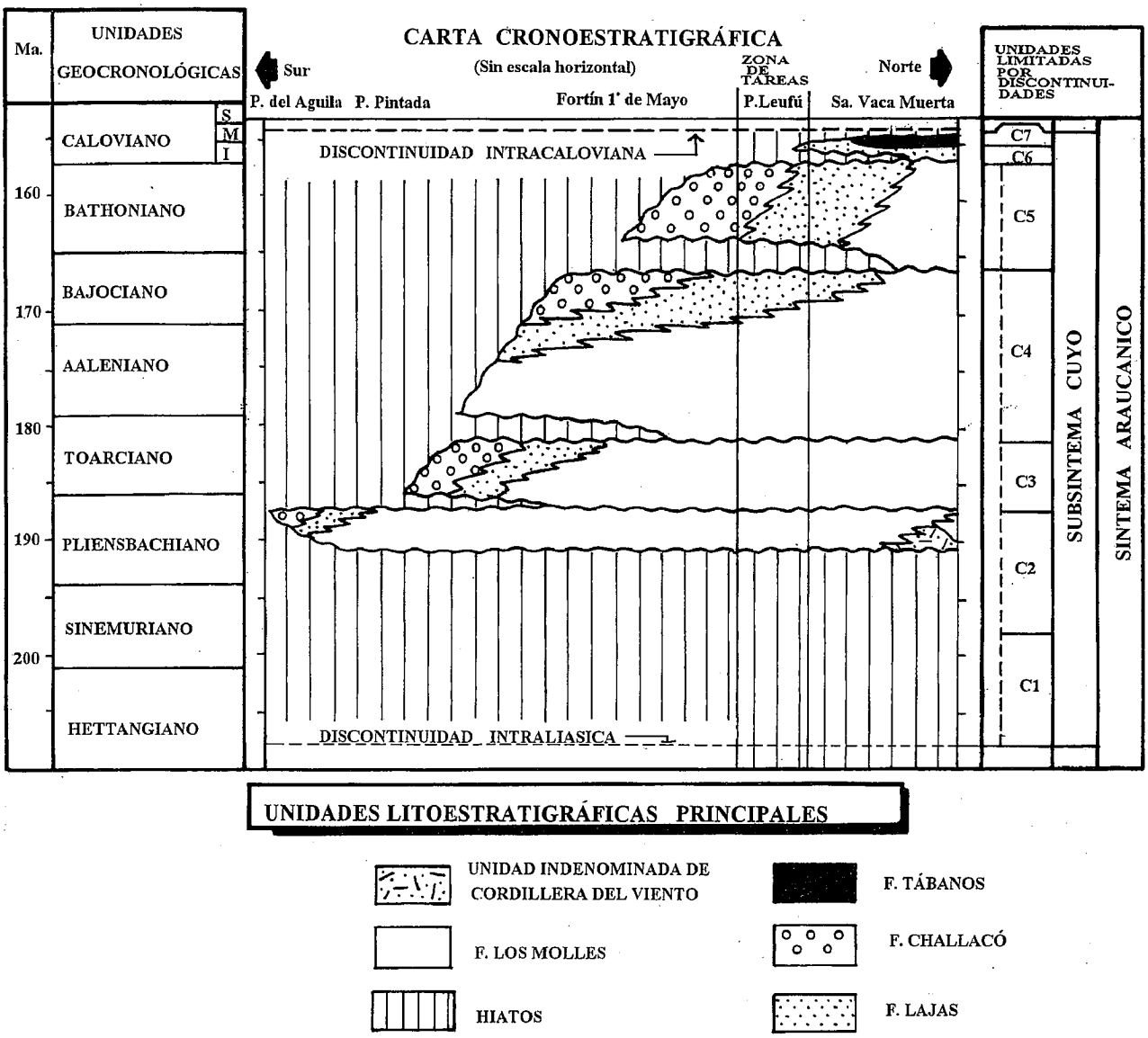

Figura 2.- Esquema cronoestratigráfico y unidades limitadas por discontinuidades del Jurásico inferior y medio en el flanco sur de la Cuenca Neuquina (tomado de Riccardi y Gulisano, 1990). Nótese la disposición progradacional general de las unidades de roca del Subsintema Cuyo.

gráfico por vía microscópica), espesores de los cuerpos sedimentarios y estructuras mecánicas y biogénicas. Sobre la base de la proporción (espesores relativos) y el ordenamiento vertical de las facies sedimentarias, se definieron varios tramos con sus correspondientes asociaciones de facies que permitieron esbozar un modelo conceptual sobre los procesos y ambientes que controlaron el desarrollo sedimentario en la zona de transición Los Molles-Lajas. Conviene destacar que, desde el punto de vista paleontológico, en la sección correspondiente a la parte superior de la Formación Los Molles fueron hallados los primeros plesiosaurios, cocodrilos y nuevos ictiosaurios de edad Bajociano de la cuenca Neuquina y de América del Sur (Spalletti *et al.*, 1994).

Estratigrafía clásica y secuencial del Grupo Cuyo

El Grupo Cuyo (Dellapé *et al.*, 1978) es una de las unidades estratigráficas que ha despertado el interés de numerosos investigadores de la cuenca Neuquina, por su gran desarrollo regional, el importante espesor sedimentario, la extraordinaria riqueza en restos fósiles y su valor económico como generador y reservorio de hidrocarburos. Sobre la base de muy diversos y exhaustivos trabajos paleontológicos, se ha podido determinar que este conjunto sedimentario comprende el lapso Hettangiano a Caloviano medio (Riccardi y Gulisano, 1990).

El ciclo sedimentario del Grupo Cuyo está limitado en su base y techo por discordancias regionales (Gulisano, 1981; Orchuela y Ploszkiewicz, 1984; Gulisano *et al.*, 1984). Su discontinuidad basal corresponde a la fase intraliásica o Charahuilla previa (Stipanicic, 1969) y la desarrollada a techo a los movimientos intracalovianos (Dellapé *et al.*, 1978).

En el sector austral de la cuenca Neuquina, y particularmente en el área de la Sierra de Chacaico, el Grupo Cuyo suma unos 1.200 m de espesor (Zavala , 1994) y –como se muestra en la Figura 2– su acumulación se habría iniciado en el Pliensbachiano (cf. Legarreta y Gulisano, 1989; Leanza, 1990; Riccardi y Gulisano, 1990).

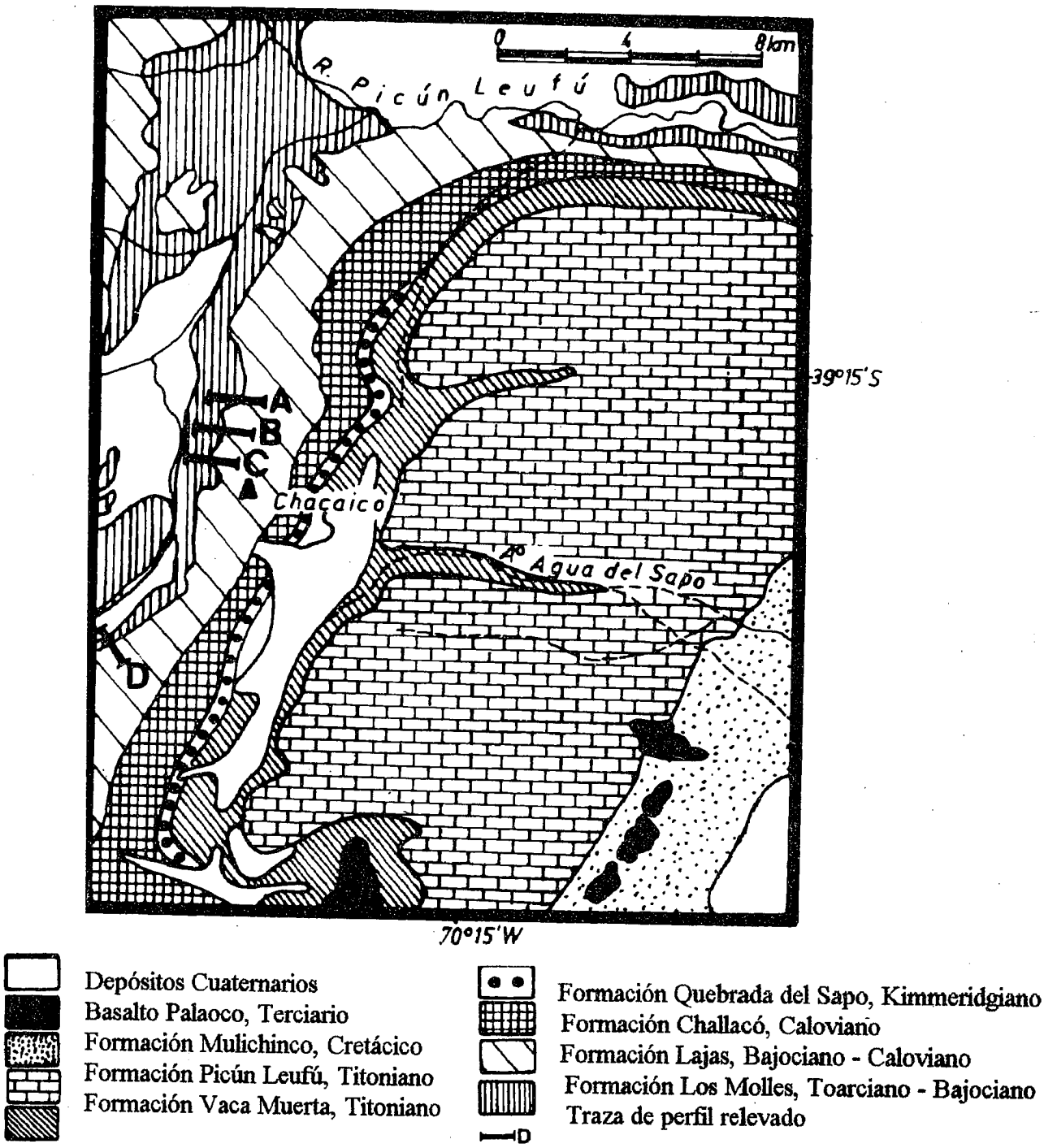

Figura 3.- Mapa geológico de la región estudiada, según Leanza (1990).

En virtud de su escala temporal, y sobre la base de los criterios de jerarquización propuestos por Vail et al. (1977) y Haq *et al.* (1987), las rocas que componen el Grupo Cuyo se asignan a un superciclo sedimentario, al que Legarreta y Gulisano (1989) y Riccardi y Gulisano (1990) denominaron, respectivamente, Mesosecuencia o Subsintema Cuyo (Figura 2).

La escala y cantidad de secuencias deposicionales que componen este subsintema no están aún definidas con certeza. Para los autores recientemente mencionados, de un total de siete secuencias deposicionales o miosintemas (C1 a C7), en el sector austral de la cuenca Neuquina aparecen sólo seis (Figura 2); como se aprecia en dicha ilustración los miosintemas poseen distinto rango temporal, variable entre 1 Ma y 15 Ma, por lo que –en el sentido de Mitchum y van Wagoner (1991)– pueden vincularse con ciclos de segundo y tercer orden.

Por su parte, en un estudio sobre afloramientos del Grupo Cuyo ubicados en una región más restringida de la cuenca Neuquina austral (y que involucra a nuestra área de estudio), Zavala (1994) ha podido definir únicamente cuatro de estas secuencias (véase sector de Picún Leufú en la Figura 2) a las que denomina JC4, JC5, JC6 y JC7 y que asigna a ciclos de tercer orden; subdivide

además a la primera de ellas en cinco secuencias de cuarto orden con una organización progradacional. Este autor considera que las secuencias se han desarrollado bajo el control de fenómenos eustáticos, aunque también ha ponderado la influencia de la tectónica local en la conformación de algunos límites inter-secuenciales.

Rasgos generales de la zona de transición entre las formaciones Molles y Lajas: asociaciones de facies, procesos y ambientes sedimentarios

El contacto entre las formaciones Los Molles y Lajas es marcadamente transicional y –según Gulisano *et al.* (1984), Legarreta y Gulisano (1989) y Leanza (1990)– también diacrónico, pues se extiende desde el Bajociano medio al Caloviano inferior (Figura 2). Volkheimer (1973) definió con claridad el carácter gradual de este contacto estratigráfico en la Sierra de Chacaico, y caracterizó a la zona de transición como Formación Cura Niyeu (véase Tabla I).

La fauna de ammonites hallada en la parte superior de la Formación Los Molles en la región de Chacaico corresponde a la Zona de Emileia giebeli, por lo que de acuerdo a Riccardi y Gulisano (1990), el intervalo estratigráfico que involucra a la transición Los Molles-Lajas se asigna al Miosintema C4 (Bajociano).

Desde el punto de vista sedimentológico, a lo largo de toda la región de estudios es posible reconocer tres tramos que pueden hacerse equivalentes a otros tantos intervalos estratigráficos (Tabla I). El tramo inferior pertenece a la Formación Los Molles típica y está constituida predominantemente por rocas pelíticas oscuras. El tramo medio, que se puede asimilar al tope de la Formación Los Molles o a la base de la Formación Cura Niyeu, según el criterio estratigráfico que se siga, está compuesta por una sucesión dominante de areniscas masivas con evidencias de bioturbación muy intensa. Finalmente, el tramo superior constituye el intervalo cuspidal de la Formación Cura Niyeu o bien la base de la Formación Lajas y se caracteriza por la interestratificación de areniscas con estratificación plana y/o de baja inclinación junto a areniscas masivas bioturbadas.

1. Tramo inferior de la zona de transición

Está constituido en forma absolutamente dominante por lutitas y margas oscuras (facies F, Tabla II) que aparecen en paquetes entre 2 y más de 4 m de espesor (Figura 4) y que contienen abundantes fragmentos vegetales dispersos en todo su espesor. En determinados niveles contienen restos de invertebrados, muchos de ellos encerrados en nódulos carbonáticos subesféricos, y de vertebrados marinos (peces, ictiosaurios, plesiosaurios y cocodrilos marinos). La facies F corresponde a depósitos clásticos formados por decantación a partir de suspensiones en aguas marinas desprovistas de la acción de corrientes de fondo. La riqueza en materia orgánica de los finos y el bajo nivel de bioturbación son indicativos de condiciones anaeróbicas a disaeróbicas en la interfase sedimentaria (Winn *et al.*, 1987), que fueron inapropiadas para la proliferación de organismos bentónicos.

TRAMO	UNIDAD ESTRATIGRAFICA		LITOLOGIA
	Volkheimer (1973)	Leanza (1990)	
Superior	Tope Fm Cura Niyeu	Base Fm Lajas	Interestratificación de areniscas con estr. planas y areniscas masivas bioturbadas.
Medio	Base Fm Cura Niyeu	Tope Fm Los Molles	Predominio de areniscas limosas masivas con intensa bioturbación.
Inferior	Fm Los Molles		Pelitas oscuras dominantes

Tabla I.- Tramos definidos en la zona de transición entre las formaciones Los Molles y Lajas (Jurásico medio. Cuenca Neuquina austral).

Intercalados en esta sucesión pelítica, aparecen bancos delgados de areniscas líticas ricas también en feldespatos con abundante cemento calcáreo (que gradan hasta areniscas calcáreas), entre los que pueden reconocerse dos facies sedimentarias: S1 y S2 (Tabla II, Figura 4).

La facies S1 se caracteriza por areniscas con variadas estructuras mecánicas internas, entre las que se encuentran estratificación gradada normal (S1gr), estratificación plana (S1h), laminación monticular (S1hcs) y laminación ondulítica (por agradación de óndulas de olas asimétricas y simétricas, S1r). Junto a estos rasgos aparecen con frecuencia estructuras de replegamiento (convolute) y en platos (dish), producidas por escape de fluidos, así como intervalos masivos con icnofósiles de superficie e internos. La base de las capas arenosas es generalmente erosional, a veces con calcos de flujo y también con estructuras de carga. Los cuerpos de la facies S1 varían en espesor entre 0,15 m y 1,8 m, y se presentan con una organización multiepisódica, reconociéndose ciclos que refle-

Tabla II.- Facies sedimentarias de la zona de transición entre las formaciones Los Molles y Lajas.

CODIGO DE FACIES	LITOLOGIA	ESTRUCTURAS	OTROS RASGOS	INTERPRETACION
F	Lutitas y margas oscuras	Fisilidad y laminación. Nódulos carbonáticos	Abundantes restos de vegetales, de invertebrados y de reptiles marinos.	Depósitos de decantación suspensiva *(offshore)*. Los niveles con fósiles representan a intervalos condensados.
S1	Areniscas lítico-feldespáticas	S1 (gr): gradada normal. S1 (h): estr. de capa plana. S1 (r): óndulas de olas. S1 (hcs): laminación monticular.	Cuerpos con base erosional. Organización multiepisódica y granodecreciente. Estr. de escape de fluidos.	Depósitos de olas. Flujos orbitales desde supercríticos a subcríticos
S2	Areniscas lítico feldespáticas	S2 (m): masivas.	Cuerpos delgados, base erosional. Lineaciones subestratales o marcas de base producidas por objetos *(tool marks)*.	"Turbiditas" de baja densidad producidas por corrientes de retorno *(rip)* debidas a tormentas *(storn surges)*.
S3	Grauwacas líticas y pelitas limosas	Masivas. Variadas y múltiples bioturbaciones. Concreciones ammonitíferas.	Cuerpos espesos, a veces granodecrecientes. Retrabajo de olas en el techo.	Depósitos de retrabajamiento por olas de tormenta. Cara de playa inferior *(lower shoreface)*.
S4	Arenitas lítico-feldespáticas	S4 (h): estratificación plana. S4 (1): estratificación de bajo ángulo.	Cuerpos de base neta, plana, no erosional.	Depósitos tractivos de olas de alta energía en cara de playa superior *(upper shoreface)*.
Cq	Lumaquelas (coquinas).	Estructura masiva. Conchas retrabajadas y fábrica caótica.	Base erosional. Organización granodecreciente.	Tempesticas proximales producidas por corrientes gravitacionales someras.

jan decrecimiento progresivo en la energía de los agentes sedimentarios.

Los rasgos presentes en los cuerpos arenosos de la facies S1 permiten vincularlos con la acción de olas (Cf. Bourgeois, 1980, 1983; Brenchley *et al.*, 1986; Craft y Bridge, 1987). Si bien varios autores han supuesto que la Formación Los Molles se ha generado en aguas profundas (dominio de pelitas oscuras, presencia de turbiditas), la aparición de esta facies en la región de Chacaico resulta indicativa de aguas marinas no muy profundas, al menos para la parte más alta de la unidad. Las estructuras monticulares (HCS) y las óndulas simétricas sugieren flujos orbitales o de olas oscilatorias, de energía variable desde supercrítica a subcrítica (cf. Myrow y Southard, 1991). Las capas con óndulas de olas asimétricas reflejarían flujos subcríticos pero menos profundos, del tipo de las olas traslacionales (Spalletti, 1986); mientras tanto, las areniscas con capas planas se asocian con la acción de olas en condiciones de muy alta energía (Myrow y Southard, 1991).

Las secuencias granodecrecientes y dinámico-decrecientes, constituidas –cuando están completas– por capas gradadas, seguidas por estratificación plana, monticular (HCS) y finalmente óndulas de olas (ciclos S1gr-h-hcs-r, o BPHX, Walker *et al.*, 1983), o por algunos de estos términos –cuando incompletas– permiten deducir que las areniscas de esta facies se produjeron esencialmente durante el desarrollo de tormentas (Dott y Bourgeois, 1982; Walker *et al.*, 1983; Myrow y Southard, 1991), en la zona de transición entre el ambiente circalitoral (offshore) e infralitoral (nearshore), por encima de la base de olas de tormentas (Swift *et al.*, 1983; Walker, 1985; Macdonald, 1986).

Las bioturbaciones epichnias y endichnias de las areniscas reflejan el oportunismo de los organismos para colonizar el sustrato arenoso formado por las tormentas a esas profundidades. A la vez, es posible apreciar que los eventos de tormentas produjeron una esporádica oxigenación de la interfase que –como se mencionara– estuvo casi permanentemente dominada por condiciones anaeróbicas a disaeróbicas.

La facies S2 está integrada por cuerpos arenosos masivos (S2m) muy delgados (no superan los 15 cm), con

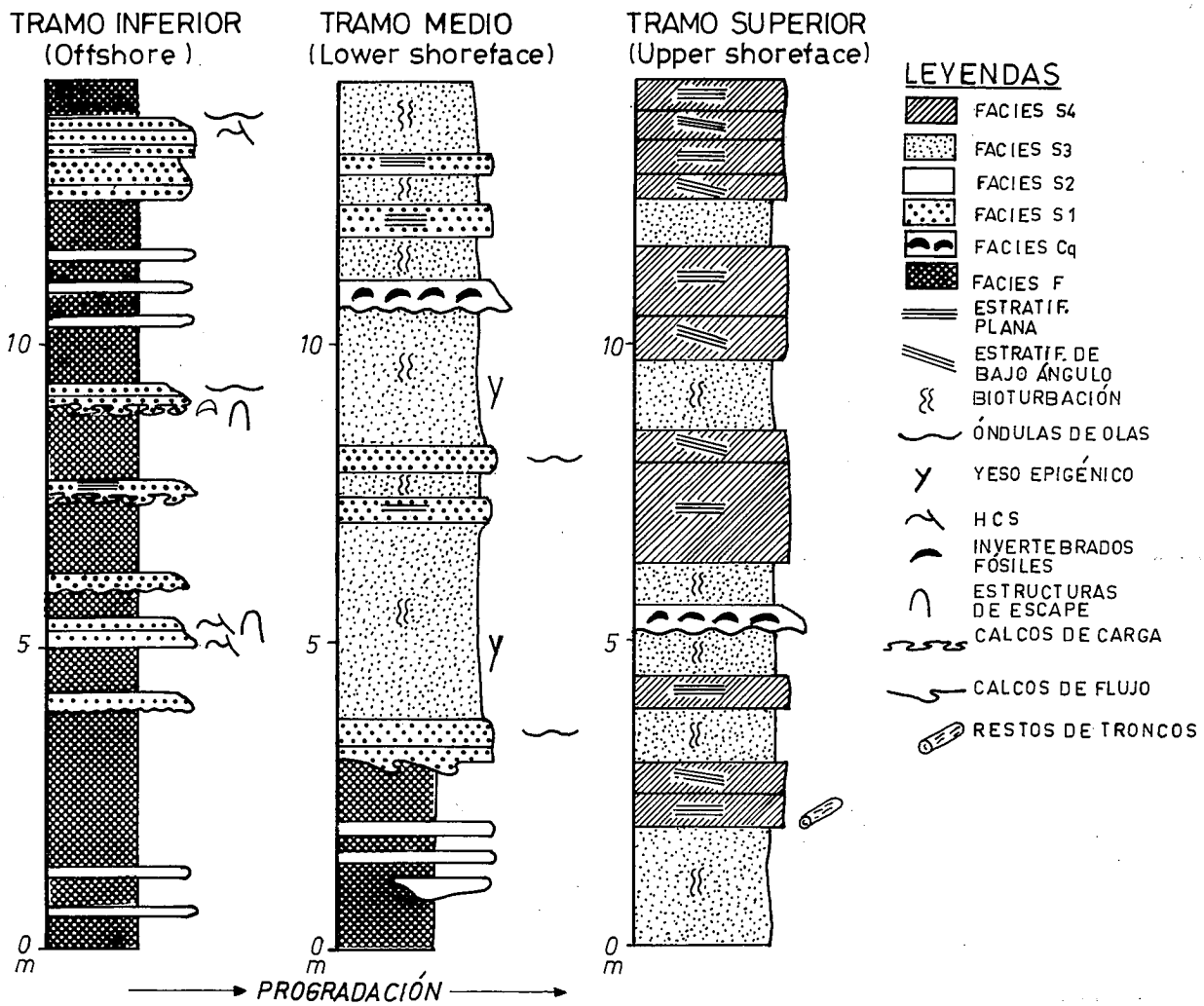

Figura 4.- Perfiles parciales que muestran el desarrollo de las facies y asociaciones de facies en cada uno de los tramos definidos en la zona de transición entre las formaciones Los Molles y Lajas.

base neta erosional, a veces con calcos de carga pequeños y también con delicadas lineaciones subestratales de los tipos calcos de surco, de roce y de punzamiento. Algunos de estos cuerpos arenosos contienen restos poco retrabajados de esponjas y anémonas.

Estas areniscas S2 (Tabla II) son muy semejantes en sus atributos a las turbiditas de grano fino o de muy baja densidad (Cf. Stow y Shanmugam, 1980; Pickering *et al.*, 1986). Si bien se considera aquí que se han formado por corrientes gravitacionales diluidas, por su asociación con las facies F y S1 es posible vincularlas también con la acción de tormentas (storm surges, Walker, 1984). En este caso, los sedimentos se habrían acumulado en ambiente circalitoral, de mayor profundidad que el inferido para la facies S1, y serían el resultado de corrientes turbulentas de retorno que circulan por debajo del tren de olas de tormentas (Walker, 1985), representando a la zona más distal en que estos violentos episodios se manifiestan sobre el sustrato (véase Tabla III).

2. *Tramo medio de la zona de transición*

Como se ilustra en la Figura 4, en él aparece una sucesión bastante homogénea de grauwacas (wackes) líticas hasta pelitas muy limosas (facies S3, Tabla II) caracterizadas sobre todo por su extraordinaria masividad y también por la abundancia de fragmentos vegetales, venas de yeso epigenético, variadas bioturbaciones y la esporádica aparición de niveles concrecionales ricos en ammonites. A modo de intercalaciones de hasta 50 cm de espesor se encuentran arenitas masivas y/o lajosas con óndulas de olas al techo, asimilables a la facies S1, y niveles tabulares y lenticulares de lumaquelas gruesas, masivas, con restos de invertebrados fragmentados y dispuestos en forma caótica (facies Cq, Tabla II). Tanto las arenitas como las lumaquelas muestran abundantes estructuras de bioturbación.

Este conjunto de sedimentitas se considera originado en la zona más profunda del ambiente infralitoral o cara de playa inferior (distal nearshore - lower shoreface), en virtud de la litología de la asociación y las intercalaciones de facies S1 (Tabla III). La geometría y textura de las coquinas permite sugerir que se trata de cuerpos formados en condiciones de alta energía de olas, por lo que se vinculan al retrabajo por tormentas (Cf. con las tempestitas de Aigner, 1982 y Allen, 1984).

Debe destacarse que resulta muy dificultoso inferir los mecanismos de acumulación de las areniscas de la fa-

Tabla III.- Síntesis sobre las características, procesos de acumulación y sistemas deposicionales de la zona de transición Los Molles - Lajas.

TRAMO	ASOCIACION DE FACIES	PROCESOS DE ACUMULACION	AMBIENTE SEDIMENTARIO SISTEMA DEPOSICIONAL	MODELO CONCEPTUAL
Superior	S3 - S4 - Cq	Sedimentación por olas traslatorias en condiciones alternantes de alta y moderada energía. Tempestitas proximales.	Cara de playa superior. *(Upper shoreface).* Dominio de tormentas.	DELTA DESTRUCTIVO CON DOMINIO DE OLAS. FRENTE DELTAICO.
Medio	S1 - S3 - Cq	Sedimentación por flujos orbitales super a subcríticos. Acción de olas traslatorias y oscilatorias. Depósitos tempestíticos.	Cara de playa inferior. *(Lower shoreface).* Dominio de tormentas.	
		Base de olas de buen tiempo		
Inferior	F - S1 - S2	Alternancia de procesos de decantación suspensiva con corrientes orbitales y gravitacionales *(storm surges).*	Circalitoral entre base de olas de buen tiempo y de tormenta.	LINEA DE COSTA ORIENTADA NE-SO. DIRECCION DE PROGRADACION HACIA EL NO.
		Base de olas de tormenta		
	F - S2	Decantación suspensiva. Intercalación de "turbiditas" de baja densidad producidas por corrientes de retorno *(rip currents).*	Circalitoral por debajo de la base de olas de tormenta.	

cies S3 que predominan notoriamente en esta sección (Figura 4); ello es debido a la intensa bioturbación postdeposicional que condujo a la destrucción de las estructuras primarias y a una profunda mezcla de los materiales detríticos, que se pone en evidencia por la madurez textural muy pobre madurez textural de estas rocas. Con todo, estos atributos son una clara indicación de las condiciones aptas permanentes del fondo para la proliferación orgánica, lo que contrasta marcadamente con lo observado para la sección inferior.

3. Tramo superior de la zona de transición

Este tramo (Figura 4) se caracteriza por importantes espesores de areniscas masivas con fragmentos vegetales y trozos de troncos aislados (facies S3), que se diferencian de las de la sección media por su mayor granulometría y textura algo más "limpia". Aparecen aquí frecuentes intercalaciones de arenitas con estructura interna de estratificación plana (facies S4h, Tabla II) o de muy bajo ángulo de inclinación (facies S4l, Tabla II). En algunos perfiles, el tramo superior está representado por la marcada alternancia entre cuerpos de S3 y S4. Como bancos aislados pueden encontrarse capas de lumaquelas (facies Cq) interpretadas como tempestitas (Aigner, 1982) por mostrar evidencias de erosión en la base de los cuerpos, por sus conchas muy retrabajadas y por incluir intraclastos dispuestos caóticamente en el seno de una base arenosa con tendencia granodecreciente.

La presente asociación de facies (Tabla III, Figura 4) ha sido acumulada en un ambiente infralitoral somero o de cara de playa superior (upper shoreface). Las estructuras primarias de las arenitas S4 sugieren predominio de sedimentación traccional por oleaje en condiciones de elevada energía dinámica (Myrow y Southard, 1991). Las evidencias de bioturbación intensa reflejan un sustrato oxigenado, muy apto para la proliferación de organismos bentónicos. Por otra parte, la textura gruesa y las estructuras internas de la facies de lumaquelas (Cq, Tabla II) son en un todo semejantes a las de niveles de tempestitas proximales (Cf Allen, 1984), y darían testimonio de la existencia de corrientes gravitacionales someras inducidas por tormentas.

El techo del tramo superior está indicado por la aparición de las asociaciones típicas de la Formación Lajas (véase Gasparini y Spalletti, 1993). Si bien la consideración en detalle de esta unidad escapa a los alcances del presente trabajo, al sólo efecto de completar el panorama estratigráfico y paleoambiental, conviene destacar que -a diferencia de la zona de transición- en la Formación Lajas aparecen parasecuencias muy bien definidas (Spalletti, 1992). Estas parasecuencias, entre 10 m y más de 30 m de

espesor, están constituidas por niveles heterolíticos, areniscas masivas bioturbadas, areniscas con estratificación plana y HCS, lumaquelas delgadas y –fundamentalmente– sandwaves o cuerpos amalgamados de areniscas con estratificación entrecruzada. Estos sets presentan numerosas discontinuidades internas, frecuentes sigmoides y una organización en bundles o en paquetes arenosos limitados por planos-pausa de material pelítico. Por su escala vertical, es posible vincular estas parasecuencias con las secuencias que Zavala (1994) considera formadas por ciclos de cuarto orden. De acuerdo a lo manifestado por Gasparini y Spalletti (1993), en estos conjuntos de la Formación Lajas se refleja una creciente importancia de los procesos de sedimentación mareales, aunque siempre asociados con la acción de olas de buen tiempo y de tormentas.

Sistemas deposicionales, paleogeografía y síntesis ambiental

De acuerdo con el ordenamiento general progradacional del Grupo Cuyo, las características sedimentológicas y la organización secuencial de las formaciones Los Molles y Lajas, el modelo conceptual de deposición corresponde a un sistema deltaico (Volkheimer, 1973; Rosenfeld y Volkheimer, 1979; Volkheimer *et al.*, 1984; Gulisano y Hinterwimmer, 1986; Spalletti, 1988; Legarreta y Gulisano, 1989). Refiriéndose a la Formación Lajas en la región de Chacaico, Gasparini y Spalletti (1993) han destacado al respecto el predominio de los procesos de cuenca (mareas y olas) sobre los fluviales en el mencionado sistema. Estos autores indican además que hacia la base de la unidad, el modelo deposicional tuvo las características de un delta altamente destructivo dominado por olas (véase Tabla III y Figura 5).

El modelo conceptual de delta destructivo, válido para el techo de la Formación Los Molles y la base de la Formación Lajas, se puede completar con un esbozo paleogeográfico basado en datos faciales y de paleocorrientes (Smith y Spalletti, 1995). Sobre esa base, se interpreta que los márgenes de costa y de la pendiente deltaica tuvieron una orientación NE-SO, paralela a la del flanco sudeste de la cuenca Neuquina, y que la dirección de

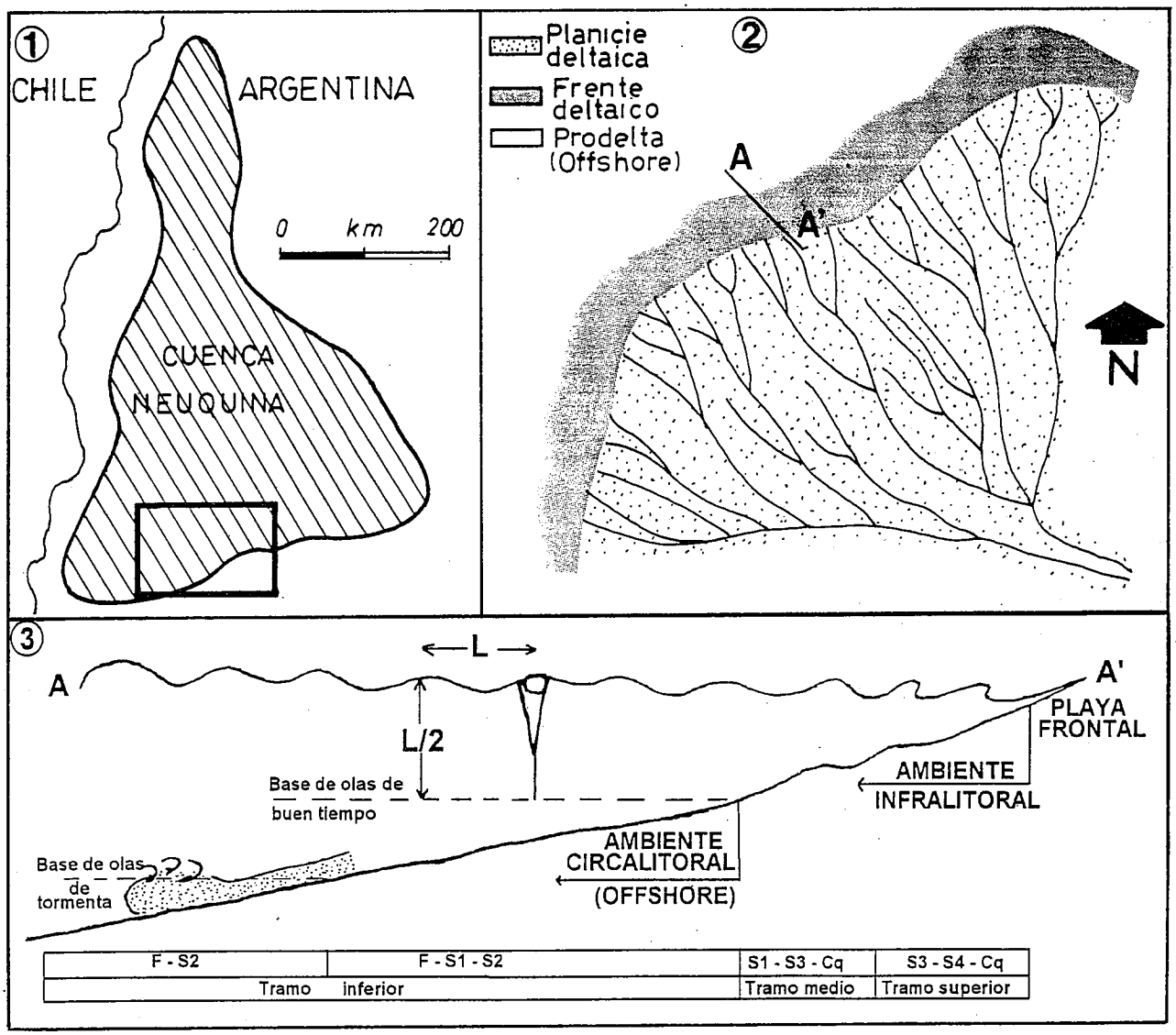

Figura 5.- 1: Localización del modelo deposicional propuesto en la cuenca Neuquina. 2: Modelo conceptual general y orientación del sistema deltaico con respecto al flanco sudeste de la cuenca Neuquina. 3: Modelo conceptual del frente deltaico con dominio de olas (modificado de Walker, 1985). La sección A-A' corresponde a la traza que se muestra en 6.2.

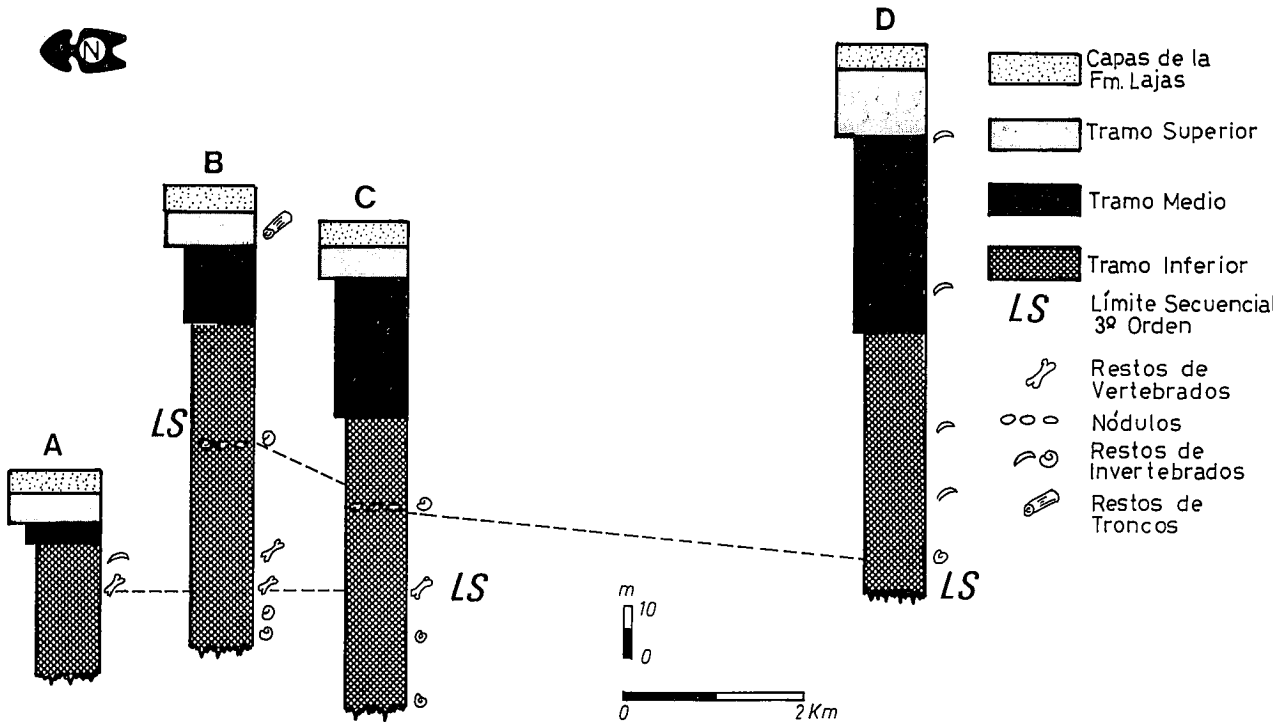

Figura 6.- Sección estratigráfica orientada según el rumbo deposicional. Correlaciones basadas en límites de secuencias de tercer orden definidas en el tramo inferior de la zona de transición a partir de intervalos condensados. La localización de los perfiles puede apreciarse en la figura 3.

progradación era de SE a NO (Tabla III; Figura 6). Según Smith y Spalletti (1995), las corrientes turbidíticas que operaron a mayor profundidad que la pendiente deltaica se disponían axialmente, es decir paralelas al borde de cuenca.

En este contexto, la zona de transición Los Molles-Lajas presenta a los depósitos del frente deltaico correspondientes a los medios circalitoral e infralitoral (Tabla III; Figura 5). Como resultado del fenómeno de progradación deltaica, la sección inferior de la zona de transición está constituida por las asociaciones de facies más profundas del frente deltaico, caracterizadas por depósitos de decantación y de flujos gravitacionales y orbitales vinculados con tormentas (Figuras 4 y 5; Tabla III). Por su parte, el tramo superior de la transición se asigna a ambientes infralitorales someros, de cara de playa superior (upper shoreface), en la que prevalecen depósitos traccionales de alta energía afectados por intensos procesos de bioturbación (Figuras 4 y 5; Tabla III).

Consideraciones adicionales sobre el análisis secuencial

La zona de transición entre las formaciones Los Molles y Lajas es una parte importante del ciclo sedimentario constituido por la totalidad del Grupo Cuyo. En particular, este tramo estratigráfico de marcada tendencia progradacional (Figura 6) constituye una secuencia que por su espesor y escala temporal se puede jerarquizar como un miosintema o ciclo de segundo orden (Figura 2).

Desde el punto de vista de la estratigrafía secuencial, resulta difícil distinguir la presencia de ciclos de alta frecuencia en la mencionada secuencia deposicional. Ello es debido fundamentalmente a la monotonía en textura y al grano súmamente fino de los depósitos, en especial los que caracterizan al tramo inferior de la zona de transición (Formación Los Molles).

Como se ha indicado con anterioridad, en dicho tramo suelen aparecer intercalaciones de depósitos arenosos (facies S1 y S2) sobre sutiles irregularidades o superficies de erosión; sin embargo, se considera que dichos cuerpos no pueden emplearse para definir límites secuenciales por resultar de procesos eminentemente autocíclicos (tempestitas). En tal sentido, y siempre para el tramo inferior de la zona de transición, se ha podido establecer que los restos fósiles se localizan preferencialmente en dos niveles bien definidos, separados por 15 a 30 m de espesor estratigráfico (Figura 6). El nivel fosilífero más bajo contiene restos bien preservados de plesiosaurios e ictiosaurios, en asociación con ammonites y otros invertebrados. El superior está definido por una caliza con Balanus sp. y un paquete de lutitas negras con abundantes nódulos carbonáticos ammonitíferos.

Se interpreta aquí que ambos niveles representan a intervalos condensados relacionados con episodios de "inundación" marina. Estos intervalos condensados constituyen un rasgo conspicuo de estas secciones dominadas por depósitos de grano muy fino, y pueden por tanto ser empleados para definir secuencias deposicionales en paleoambientes relativamente profundos (Figura 6), siempre que se adopte el criterio de utilizar a las superficies transgresivas como límites de tales secuencias (Galloway, 1989). Sobre la base de su espesor, las secuencias definidas pueden considerarse ciclos de tercer orden e involucrarían lapsos del orden de 1 a 2 Ma (Mitchum y van Wagoner, 1991).

De lo anteriormente expuesto se puede concluir que así como ocurre con los invertebrados, los vertebrados marinos también se concentran en determinados niveles que se pueden vincular con intervalos estratigráficos condensados (cf. Spalletti *et al.*, 1994). Estos intervalos han resultado útiles para la delimitación de secuencias en depósitos marinos como los de la Formación Los Molles, en los que predominan las sucesiones homogéneas de grano fino.

Conclusiones

1.- En la zona de transición entre las formaciones Los Molles y Lajas (Jurásico medio de la cuenca Neuquina, Argentina occidental), y a partir de la textura, composición y estructuras sedimentarias, se definen cuatro facies de areniscas (S1, S2, S3 y S4), una de lutitas y margas oscuras (F) y otra de lumaquelas (Cq).

2.- Esta zona de transición estratigráfica puede dividirse en tres tramos: inferior, medio y superior. El tramo inferior (parte media-superior de la Formación Los Molles) está caracterizado por dos asociaciones de facies: en su base depósitos de decantación suspensiva (F) junto a "turbiditas" (S2) de baja densidad depositadas por debajo de la base de olas de tormenta y atribuidas a corrientes de retorno; en su parte más alta, depósitos pelíticos (F) junto a areniscas generadas por corrientes orbitales (S1) y gravitacionales (S2), interpretados como acumulaciones entre las bases de olas de buen tiempo y de tormentas. El tramo medio (tope de la Formación Los Molles) se compone predominantemente de grauwacas masivas (S3) con intercalaciones de areniscas con óndulas de olas (S1) y de lumaquelas (Cq); esta asociación se asigna a un ambiente de "lower shoreface" con depósitos de olas traslatorias y oscilatorias super a subcríticas junto a sedimentos tempestíticos. Por último, el tramo superior (correspondiente a la base de la Formación Lajas) está constituido por facies arenosas y de lumaquelas interpretadas como depósitos de "upper shoreface" producidos por olas traslatorias de tormentas (de alta hasta moderada energía). Hacia arriba, la mayor parte de la Formación Lajas está compuesta por parasecuencias de areniscas e intervalos heterolíticos en las que predominan los rasgos de sedimentación mareal, asociados con acción de olas de buen tiempo y de tormentas.

3.- En conjunto, el Grupo Cuyo es interpretado como un sistema deltaico en el que prevalecen los procesos de cuenca (mareas, olas) sobre los fluviales. En este contexto, la zona de transición Los Molles-Lajas responde a un modelo de delta destructivo con acción de olas, línea de costa orientada de sudoeste a noreste y dirección de progradación hacia el noroeste. Como resultado de la citada progradación el tramo inferior está constituido por depósitos profundos del frente deltaico y el superior por acumulaciones de ambientes someros ("upper shoreface") formados en condiciones de elevada energía y afectados por bioturbación intensa.

4.- La zona de transición Los Molles-Lajas se considera en el rango de los ciclos de segundo orden o miosintemas. En ella resulta difícil reconocer ciclos de mayor frecuencia, por la granulometría fina de los depósitos y porque los cuerpos arenosos se asignan a procesos autocíclicos (tempestitas). Sin embargo, la existencia de dos intervalos condensados que representan episodios de "inundación" marina o superficies transgresivas, han permitido trazar límites de secuencias genéticas (Galloway, 1989) de tercer orden (1-2 Ma). Así, el reconocimiento de intervalos condensados, que se caracterizan por niveles ricos en restos de invertebrados y vertebrados marinos, se considera de utilidad para delimitar secuencias genéticas en paleoambientes relativamente profundos dominados por la sedimentación de rocas pelíticas y margosas.

Este trabajo ha sido financiado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) de la República Argentina, PID 3006200/88. El autor agradece muy especialmente, la colaboración del Dr. A.C. Riccardi (Facultad y Museo de La Plata) por la determinación bio y cronoestratigráfica de la fauna de ammonites. Hace también expreso reconocimiento a los Dres. Mariano Marzo y Ferrán Colombo por las valiosas sugerencias efectuadas al revisar la versión original del trabajo.

Referencias:

Aigner, T. (1982): Calcareous tempestites: storm-dominated stratification in Upper Muschelkalk Limestones (Middle Trias, SW Germany). In: Cyclic and Event Stratification (G. Einsele y A. Seilacher, Eds.), Springer, New York: 180-198.

Allen, J. (1984): Sedimentary Structures. Their Character and Physical Bases. Elsevier, Amsterdam. Developments in Sedimentology 30, Volume II, 663 pp.

Bourgeois, J. (1980): A transgressive shelf sequence exhibiting hummocky stratification: the Cape Sebastian Sandstone (Upper Cretaceous), southwest Oregon. Journal of Sedimentary Petrology, 50: 681-702.

Bourgeois, J. (1993): Hummocks -Do they grow? (Abs.). American Association of Petroleum Geologists, Bulletin 67: 428.

Brenchley, P.; Romano, M. y Gutiérrez-Marco, J. (1986): Proximal and distal hummocky cross-stratified facies on a wide Ordovician shelf in Iberia. In: Shelf Sands and Sandstones (R. Knight. y J. McLean, Eds.), Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir II: 241-255.

Craft, J. y Bridge, J. (1987): Shallow-marine sedimentary processes in the Late Devonian Catskill Sea, New York State. Geological Society of America, Bulletin 98: 338-355.

Dellapé, D.; Mombrú, C.; Pando, G.; Riccardi, A.; Uliana, M. y Westermann, G.(1978): Edad y correlación de la Formación Tábanos en Chacay Melehue y otras localidades de Neuquén y Mendoza. Obra del Centenario del Museo de La Plata, V (Paleontología): 81-105.

Dott, R. y Bourgeois, J. (1982): Hummocky stratification: significance of its variable bedding sequences. Geological Society of America, Bulletin 93: 663-680.

Gasparini, Z. y Spalletti, L. (1993): First Callovian plesiosaurs from the Neuquén basin, Argentina. Ameghiniana, 30: 245-254.

Gulisano, C. (1981): El ciclo Cuyano en el norte de Neuquén y sur de Mendoza. VIII Congreso Geológico Argentino, Actas III: 579-592.

Gulisano, C.; Gutiérrez Pleimling, A. y Digregorio, R. (1984): Esquema estratigráfico de la secuencia jurásica del oeste de la provincia del Neuquén. IX Congreso Geológico Argentino, Actas II: 236-259.

Gulisano, C. y Hinterwimmer, G. (1986): Facies deltaicas del Jurásico medio en el oeste del Neuquén. Boletín de Informaciones Petroleras (1986): 2-31.

Haq, B.; Hardenbol, J. y Vail, P. (1987): Chronology of fluctuating sea level since the Triassic. Science, 235: 1156-1167.

Leanza, H. (1990): Estratigrafía del Paleozoico y Mesozoico anterior a

los movimientos intermálmicos en la comarca del cerro Chachil, provincia del Neuquén. Revista Asociación Geológica Argentina, 45: 272-299.

Legarreta, L. y Gulisano, C. (1989): Análisis estratigráfico secuencial de la Cuenca Neuquina (Triásico superior - Terciario inferior). In: Cuencas Sedimentarias Argentinas (G. Chebli y L. Spalletti, Eds.), Serie Correlación Geológica 6: 221-243. Tucumán.

Macdonald, D. (1986): Storm-generated sandstone beds from the Upper Cretaceous of south Chile and their regional significance. Revista Geológica de Chile, 28-29: 69-76.

Mitchum, R. y Van Wagoner, J. (1991): High frequency sequences and their stacking patterns: sequence-stratigraphic evidence of high-frequency eustatic cycles. Sedimentary Geology, 70: 131-160.

Myrow, P. y Southard, J. (1991): Combined-flow model for vertical stratification sequences in shallow marine storm-deposited beds. Journal of Sedimentary Petrology, 61: 202-210.

Orchuela, I. y Ploszkiewicz, V. (1984): La Cuenca Neuquina. IX Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 163-188.

Pickering, K.; Stow, D.; Waltson, M. y Hiscott, R. (1986): Deep-water facies, processes amd models: a review and classification scheme for modern and ancient sediments. Earth Science Reviews, 23: 75-174.

Riccardi, A. (1983): The Jurassic of Argentina and Chile. In: The Phanerozoic Geology of the World (M. Moullade y A. Nairn, Eds.), II, Mesozoic B: 201-263. Elsevier, Amsterdam.

Riccardi, C. y Gulisano, C. (1990): Unidades limitadas por discontinuidades. Su aplicación al Jurásico andino. Revista Asociación Geológica Argentina, 45: 346-364.

Rosenfeld, U. y Volkheimer, W. (1979): Types of paleoenvironments of the middle Jurassic Lajas Formation (Neuquén Basin, Argentina). Proceedings IV International Gondwana Symposium: 238-247. Delhi.

Smith, R. y Spalletti, L. (1995): Erosional, depositional and post- depositional features of a turbidite channel-fill: Jurassic of the Neuquén basin, Argentina. In: Atlas of Deep Water Environments: Architectural Style in Turbidity Systems (K. Pickering, R. Hiscott, N. Kenyon, F. Ricci Lucchi. y R. Smith, Eds.), Chapman and Hall, London: 162-166.

Spalletti, L. (1986): Nociones sobre Transporte y Depositación de Sedimentos Clásticos. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Serie Técnica y Didáctica , 13, 102 pp. La Plata.

Spalletti, L. (1988): Planicies deltaicas, secuencias de facies y cambios en el nivel de base. II Reunión Argentina de Sedimentología, Actas: 255-259.

Spalletti, L. (1992): Cuenca Neuquina Austral. Guía general de campo, IV Reunión Argentina de Sedimentología, 40 pp.

Spalletti, L.; Gasparini, Z. y Fernández, M. (1994): Facies, ambientes y reptiles marinos de la transición entre las formaciones Los Molles y Lajas (Jurásico medio), Cuenca Neuquina, Argentina. Acta Geológica Leopoldensia, 39/1, 15: 329-344.

Stipanicic, P. (1969): El avance de los conocimientos del Jurásico argentino a partir del esquema de Groeber. Revista Asociación Geológica Argentina, 24: 367-388.

Stow, D. 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.

Swift, D.; Figuereido, A.; Freeland, G. y Oertel, G. (1983): Hummocky cross-stratification and megaripples: a geological double standard?. Journal of Sedimentary Petrology, 53: 1295-1317.

Uliana, M.; Biddle, K.y Cerdán, J. (1989): Mesozoic extension and the formation of Argentine sedimentary basins. In: Extensional Tectonics and Stratigraphy of North Atlantic Margins (A. Tankard y H. Balkwill, Eds.), American Association of Petroleum Geologists, Memoir 46: 599-614.

Vail, P.; Mitchum, R.; Todd, R.; Widmier, J.; Thompson, S.; Sangree, J., Bubb, J. y Hatlelid, W. (1977): Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 26: 49-212.

Volkheimer, W. (1973): Palinología estratigráfica del Jurásico en la Sierra de Chacai Co y adyacencias (Cuenca Neuquina, República Argentina). 1. Estratigrafía de las formaciones Sierra Chacai Co (Pliensbachiano), Los Molles (Toarciano, Aaleniano), Cura Niyeu (Bayociano) y Lajas (Caloviano inferior). Ameghiniana, 10: 105-129.

Volkheimer, W.; Scafati, L y Rosenfeld, U. (1984): Caracterización palinológica y sedimentológica de una secuencia regresiva y transgresiva en el Jurásico medio de la Cuenca Neuquina (Argentina). Memoria III Congreso Latinoamericano de Paleontología: 165-174.

Walker, R. (1984): Facies Models. 2nd. edition. Geoscience Canada, Reprint Series 1: 317 pp. Toronto.

Walker, R. (1985): Geological evidence for storm transportation and deposition on ancient shelves. In: Shelf Sands and Sandstone Reservoirs (R. Tillman, D. Swift y R. Walker, Eds.), SEPM Short Course Note, Series 13: 243-302. Tulsa.

Walker, R.; Duke, W. y Leckie, D. (1983): Hummocky stratification: significance of its variable bedding sequence: discussion. Geological Society of America, Bulletin 94: 1245-1249.

Winn, R.; Bishop, M. y Gardner, P. (1987): Shallow-water and substorm-base deposition of Lewis Shale in Cretaceous Western Interior seaway, south-central Wyoming. American Association of Petroleum Geologists, Bulletin 71: 859-881.

Zavala, C. (1994): High-resolution sequence stratigraphy in the Middle Jurassic Cuyo Group, South Neuquén Basin, Argentina. 4th International Congress on Jurassic Stratigraphy and Geology, Abstracts: 58, Mendoza, Argentina.

Manuscrito recibido el 21 de Febrero de 1995
Aceptado el manuscrito revisado el 7 de Agosto de 1995