

# **Estratigrafía secuencial de sistemas deltaicos en cuencas de antepaís: ejemplos de Sant Llorenç del Munt, Montserrat y Roda (Paleógeno: cuenca de antepaís surpirenaica)**

Miguel López Blanco

**ADVERTIMENT.** La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX ([www.tesisenxarxa.net](http://www.tesisenxarxa.net)) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

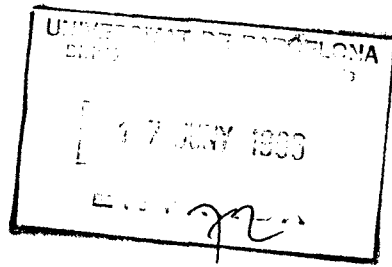
**ADVERTENCIA.** La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR ([www.tesisenred.net](http://www.tesisenred.net)) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

**WARNING.** On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX ([www.tesisenxarxa.net](http://www.tesisenxarxa.net)) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.



UNIVERSITAT DE BARCELONA

Departament de Geologia Dinàmica,  
Geofísica i Paleontologia



Facultat de Geologia  
Zona Universitària de Pedralbes  
Tel. 402 13 76  
Fax 402 13 40  
08071 Barcelona

## ESTRATIGRAFIA SECUENCIAL DE SISTEMAS DELTAICOS EN CUENCAS DE ANTEPAIS: EJEMPLOS DE SANT LLORENÇ DEL MUNT, MONTSERRAT Y RODA (Paleógeno, cuenca de antepaís surpirenaica)

Memoria ralaizada por Miguel LÓPEZ BLANCO en el  
Departament de Geologia Dinàmica, Geofísica i Paleontologia de la  
Facultad de Geologia de la Universidad de Barcelona, dirigida por los  
doctores Mariano Marzo Carpio, del mencionado departamento y  
Luís Pomar Goma del Departament de Ciencies de la Terra de la  
Universitat de les Illes Balears, para optar al grado de Doctor en  
Geología.

Barcelona, Junio de 1996

Los directores:

Mariano Marzo Carpio

Luis Pomar Goma

El doctorando, Miguel López Blanco

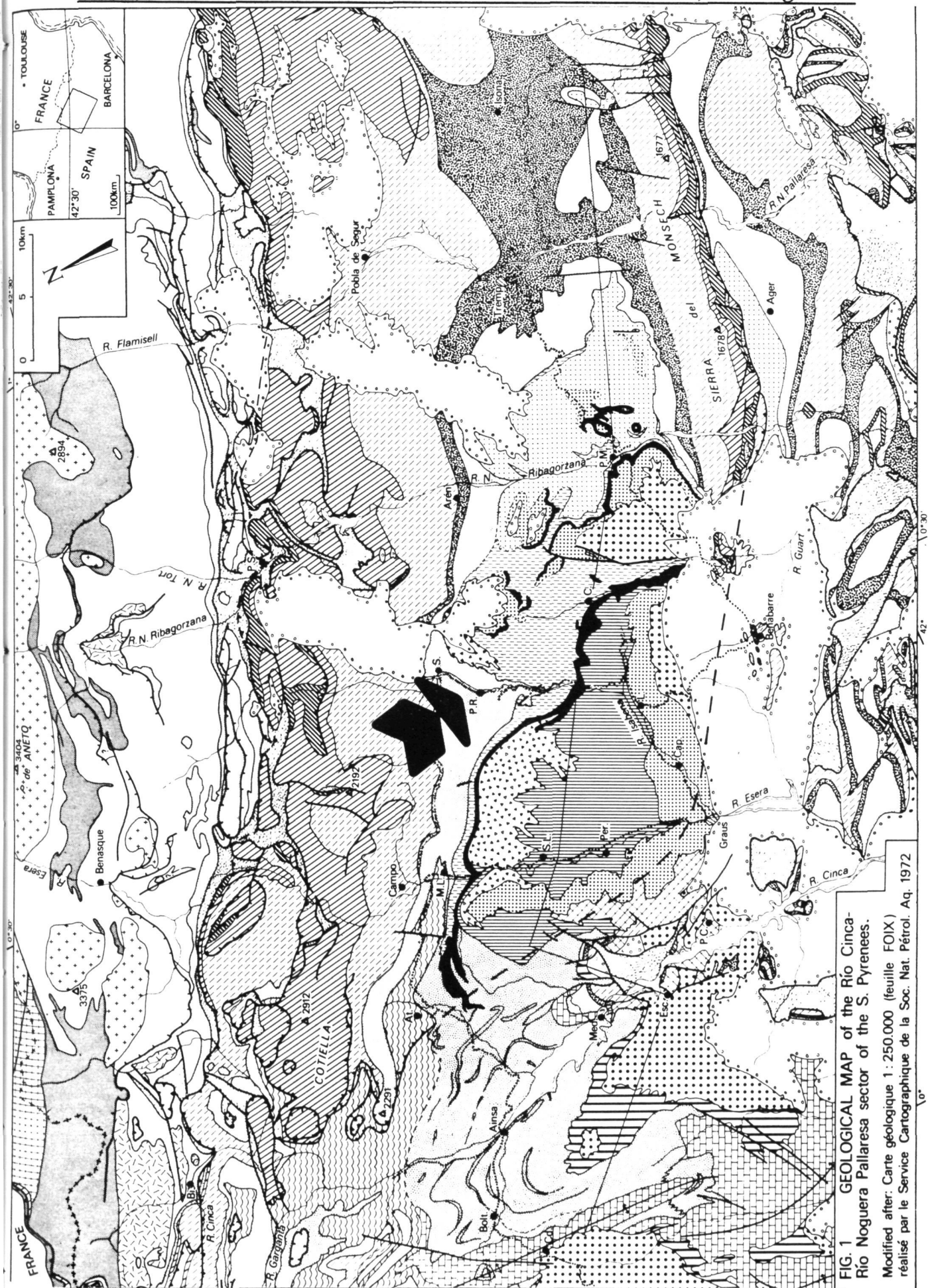


FIG. 1 GEOLOGICAL MAP of the Rio Cinca-Río Noguera Pallaresa sector of the S. Pyrenees. Modified after: Carte géologique 1 : 250.000 (feuille FOIX) réalisé par le Service Cartographique de la Soc. Nat. Pétr. Aq. 1972

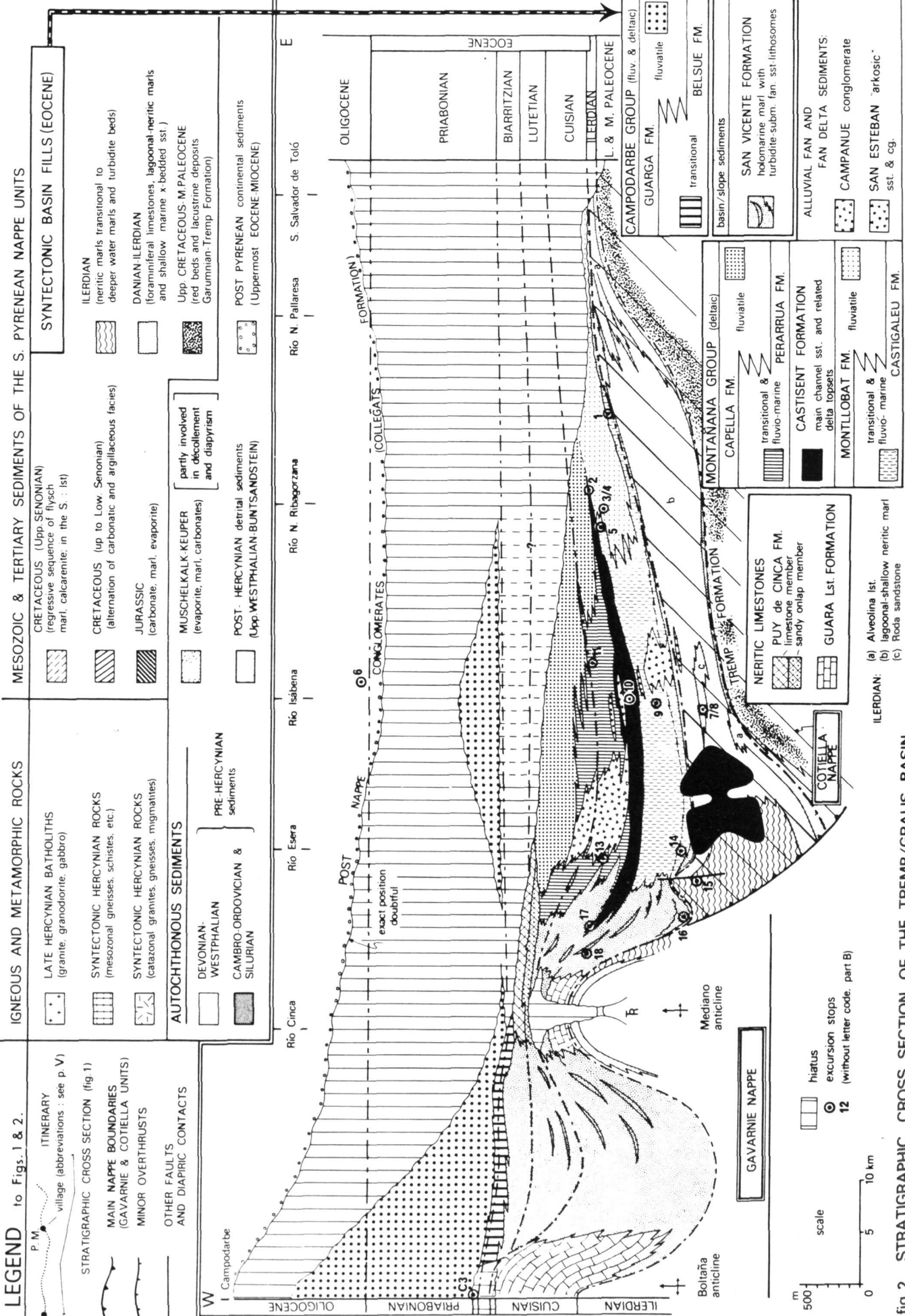
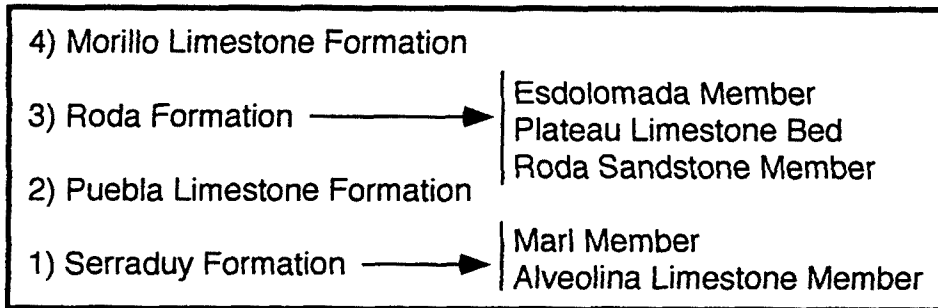


fig.2 STRATIGRAPHIC CROSS SECTION OF THE TRESP/GRAUS BASIN

**Figura R.10.** Corte lito- y cronoestratigráfico de la cuenca de Graus-Tremp (Nijman y Nio, 1972). La flecha indica la posición de la Arenisca de Roda.  
*Litho- and chronostratigraphic cross section of the Graus-Tremp basin (Nijman and Nio, 1972). The arrow indicates the location of the Roda Sandstone.*

La subdivisión estratigráfica de la cuenca paleógena de Graus-Tremp en la zona del valle del Isábena ha sido establecida por Mey *et al.*, (1968) y Schaub (1973) y modificada posteriormente por Nijman y Nio (1975) y Cuevas *et al.*, (1985) quienes reconocen cuatro formaciones en el Eoceno marino del Valle del Isábena. (Tabla I).



**Tabla I.** Subdivisión litoestratigráfica de la cuenca de Graus-Tremp en el valle del Isábena según Cuevas *et al.*, (1985).

*Lithostratigraphic subdivision of the Graus-Tremp basin in the Isábena valley, after Cuevas et al., (1985).*

Para los autores citados, esta sucesión estratigráfica refleja una alternancia de episodios de estabilidad e inestabilidad tectónica. Los períodos de estabilidad se corresponderían con la deposición de carbonatos de plataforma somera (Calizas de Alveolinas, Calizas de la Puebla y Calizas de Morillo). Los períodos de inestabilidad vendrían registrados por:

a) un aumento brusco de la subsidencia que da lugar al "ahogo" de los complejos arrecifales de Berganuy e Iscles (pertenecientes al miembro de Calizas de Alveolinas) y la deposición del miembro margoso de la formación de Serraduy;

b) la aparición de grandes cantidades de aportes clásticos de naturaleza arcósica durante la sedimentación de la Formación de Roda.

Según Cuevas *et al.*, (1985), la sedimentación de la formación de Roda ha estado precedida y seguida por dos episodios de estabilidad tectónica (Calizas de la Puebla y de Morillo). Por el contrario, el modelo deposicional de la Formación de Roda habría estado fuertemente condicionado por movimientos tectónicos, los que no sólo habrían favorecido los aportes de grandes cantidades de arenas arcósicas sino que también habrían sido responsables de su compleja distribución de facies. La Formación Roda comprende dos miembros separados por un nivel guía trazable a lo largo de 15 kilómetros (Tabla I).

**Figura R.11.** Mapa geológico de la cuenca de Graus-Tremp (Serra-Kiel *et al.*, 1993), elaborado a partir de datos de Fonnesu (1984), Samsó (1988) y Tosquella (1988). La flecha indica la posición de la Arenisca de Roda.

*Geologic map of the Graus-Tremp basin (Serra-Kiel, 1993) after data from Fonnesu (1984), Samsó (1988) and Tosquella (1988). The arrow indicates the location of the Roda Sandstone.*

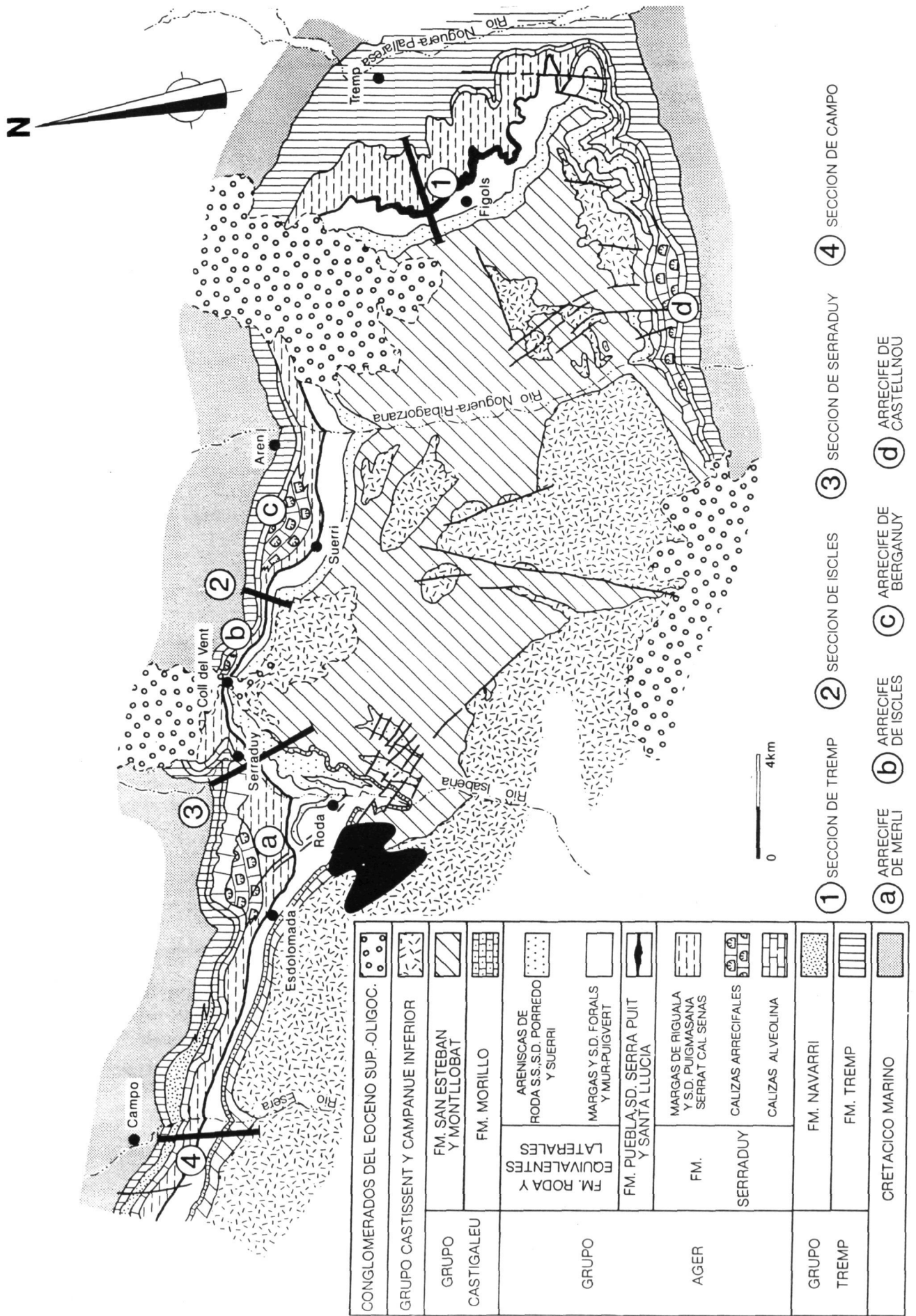
En un estudio posterior, Yang y Nio (1989) utilizan como base el esquema litoestratigráfico de la Tabla I y reconocen un nuevo nivel guía carbonático ("El Villar Limestone bed") intercalado en el miembro de Esdolomada (Tabla II). Yang y Nio (1989) proponen, sin ningún tipo de justificación bioestratigráfica, una tentativa de correlación de la sucesión litoestratigráfica con los ciclos de tercer orden y las curvas eustáticas de Haq *et al.* (1988).

Samsó (1988) y Tosquella (1988) reconocen una serie de secuencias deposicionales ("sensu" Vail *et al.*, 1977) en los sedimentos eocenos de la región comprendida entre los valles del Isábena y Ésera. Según estos autores, la "Secuencia de Roda" estaría situada sobre la "Secuencia de Ager" y bajo la "Secuencia de Sant Esteve del Mall". Esta "Secuencia de Roda" sería equivalente a la parte superior de la "Secuencia de Figols" (Fonnesu, 1983; Mutti *et al.* 1985) y al "Sistema de depósito de Suerri" (Fonnesu, 1983), definido entre Coll de Vent y el río Noguera Ribagorzana. La subdivisión litoestratigráfica de la "Secuencia de Roda" propuesta por Tosquella (1988) y las equivalencias de esta subdivisión con la propuesta por Yang y Nio (1989) figuran en la Tabla II. Tosquella (1988) hace una subdivisión litoestratigráfica informal definida por una serie de cuerpos arenosos a los que se asignaron las últimas letras del abecedario (V, W, W', X, Y y Z).

TOSQUELLA (1988)	YANG Y NIO (1989)
Nivel de Eroles	Morillo Limestone Formation
Complejo detrítico superior	Esdolomada Member
	— El Villar Limestone bed
	Esdolomada Member
Formación areniscas de Roda	— Plateau Limestone bed
	Roda Sandstone Member
Nivel de La Puebla	Puebla Limestone Formation

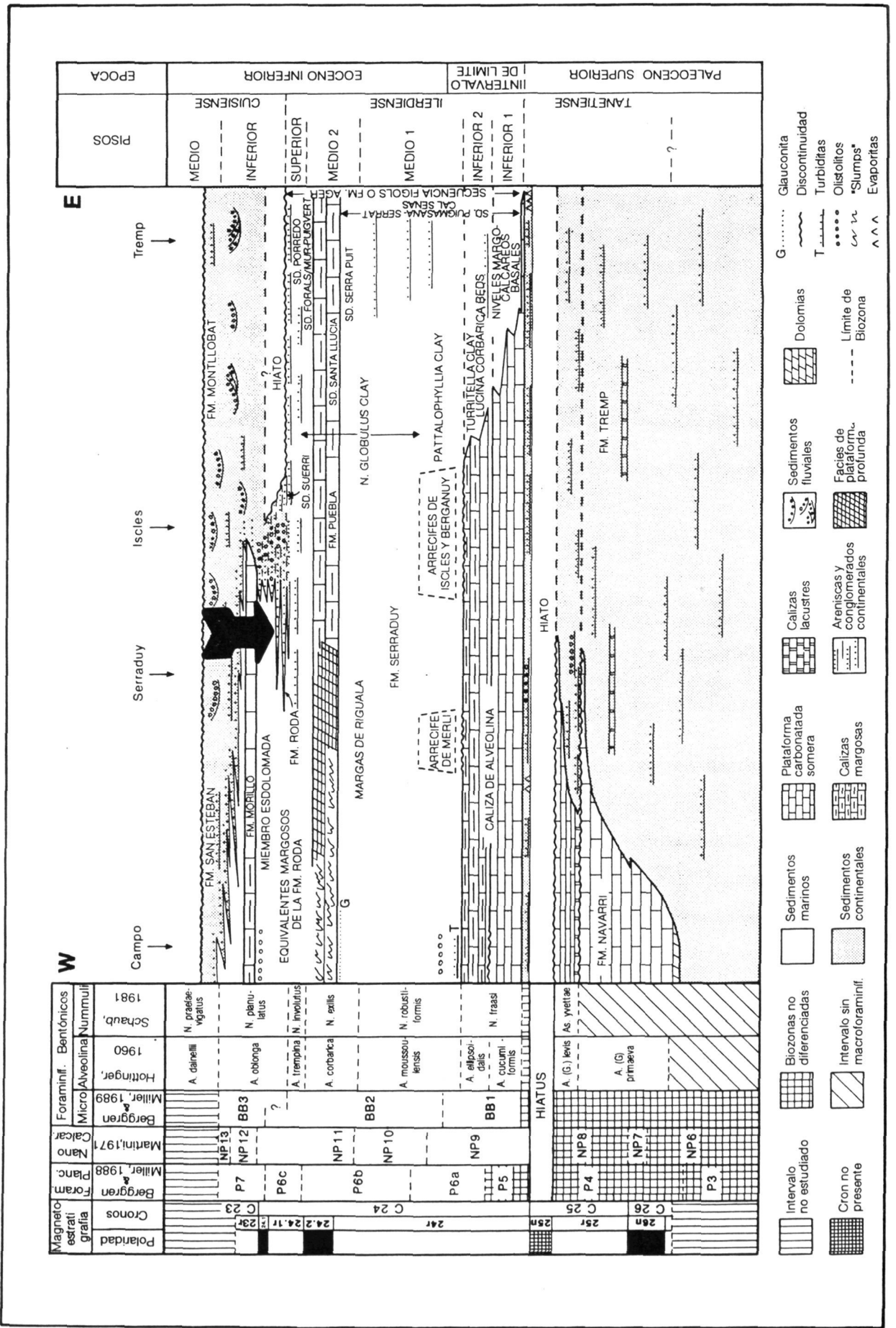
**Tabla II.** Equivalencias entre las subdivisiones estratigráficas de la "secuencia de Roda" propuestas por Tosquella (1988) y Yang & Nio (1989).

*Equivalences between the stratigraphic subdivisions of the "Roda sequence" proposed by Tosquella (1988) and Yang & Nio (1989).*



CONGLOMERADOS DEL EOCENO SUP.-OLIGOC.		
GRUPO CASTISSENT Y CAMPANUE INFERIOR		
GRUPO CASTIGALEU	FM. SAN ESTEBAN Y MONTLOBAT	
	FM. MORILLO	
GRUPO	FM. RODA Y EQUIVALENTES LATERALES	
	MARGAS Y S.D. PORREDO Y SUERRI	
	MARGAS Y S.D. FORALS Y MURPUIGVERT	
AGER	FM. PUEBLA S.D. SERRA PUIT Y SANTA LLUCIA	
	FM.	
	SERRADUY	
GRUPO TREMP	MARGAS DE RIGUALA Y S.D. PUIGMASANA SERRAT CAL SENAS	
	CALIZAS ARRECIFALES	
	CALIZAS ALVEOLINA	
GRUPO TREMP	FM. NAVARRI	
	FM. TREMP	
CRETACICO MARINO		

- 1 SECCION DE TREMP      2 SECCION DE ISCLES      3 SECCION DE SERRADUY      4 SECCION DE CAMPO  
 a ARRECIFE DE MERLI      b ARRECIFE DE ISCLES      c ARRECIFE DE BERGANUY      d ARRECIFE DE CASTELLNOU



EPOCA	PALEOCENO SUPERIOR		EOCENO INFERIOR	
	TANENTENSE	INTERVALO DE LIMITE	ILERDENSE	CUISIENSE
PISOS	---	---	MEDIO 1	MEDIO
	---	---	MEDIO 2	INFERIOR
	---	---	SUPERIOR	---

Magnetoestratigráfica	Cronos	Foraminif. Bentónicos
Polardad	C 23	Schaub, 1981
Bergren & Planc, 1988	P 7	Micro Alveolina Nannulium
Miller, 1988	NP 12	1960
Martin, 1971	NP 13	Hottinger, 1960
Nano Calcar	NP 11	Miller, 1989
Bergren & Calcar	NP 10	Bergren, 1989
Miller, 1989	NP 9	Miller, 1989
Bergren & Planc, 1988	NP 8	Miller, 1989
Miller, 1988	NP 7	Miller, 1989
Bergren & Planc, 1988	NP 6	Miller, 1989
Miller, 1988	NP 5	Miller, 1989
Bergren & Planc, 1988	NP 4	Miller, 1989
Miller, 1988	NP 3	Miller, 1989
Bergren & Planc, 1988	NP 2	Miller, 1989
Miller, 1988	NP 1	Miller, 1989

- Glauconita
- Discontinuidad
- Turbiditas
- Olistolitos
- "Slumps"
- Evaporitas
- Dolomias
- Sedimentos fluviales
- Facies de platform, profunda
- Calizas lacustres
- Areniscas y conglomerados continentales
- Plataforma carbonatada somera
- Calizas margosas
- Sedimentos marinos
- Sedimentos continentales
- Biozonas no diferenciadas
- Intervalo sin macroforaminif.
- Intervalo no estudiado
- Cron no presente
- Limite de Biozona



**Figura R.12.** Cuadro general cronoestratigráfico del Paleoceno superior-Eoceno inferior de la cuenca de Graus-Tremp (Serra-Kiel *et al.*, 1993). La flecha indica la posición de la Arenisca de Roda. *Chronostratigraphic diagram of the Upper Paleocene-Lower Eocene deposits from the Graus-Tremp basin (Serra-Kiel et al., 1993). The arrow indicates the location of the Roda Sandstone.*

### 3.2) CRONOESTRATIGRAFIA

La cronoestratigrafía de la zona estudiada se basa en trabajos de tipo bioestratigráfico y magnetoestratigráfico.

Basándose en el estudio de la fauna de Alveolinas y Nummulites, Samsó y Tosquella (1988) proponen las atribuciones cronoestratigráficas que se reflejan en la Tabla III, asignando una edad de Ilerdiense superior, base del Cuisiense o Cuisiense a la Arenisca de Roda.

Nivel de Eroles Complejo detrítico Superior	Cuisiense inferior
Formación de Areniscas de Roda	Ilerdiense superior, base del Cuisiense o Cuisiense
Nivel de la Puebla	Parte superior del Ilerdiense medio

**Tabla III.** Cronoestratigrafía de la Formación Areniscas de Roda y formaciones supra e infrayacentes según Samsó y Tosquella (1988).  
*Chronostratigraphy of the Roda Sandstone Formation and surrounding formations after Samsó & Tosquella (1988).*

Mutti *et al.* (1988) subdividen el relleno eoceno de la cuenca da Graus-Tremp en seis alogrupos, dentro de cada uno de los cuales se incluye una asociación compleja de secuencias de depósito ("sensu" Van Wagoner *et al.*, 1988). Según Mutti *et al.* (1988), la formación Areniscas de Roda pertenece a la "Secuencia deposicional de Figols 2 (FG2)" dentro del Grupo de Figols. Este grupo comprendería sedimentos depositados entre 53 y 51,5 Ma (Mutti *et al.*, 1988).

Puigdefàbregas y Souquet (1986) incluyen la formación Areniscas de Roda en el "Ciclo tectonosedimentario TE" y concretamente en la "Secuencia deposicional TE2 (Corones-Figols)" de edad Ilerdiense superior-Ypresiense inferior.

Según Serra-Kiel *et al.*, (1994) y en base a estudios magnetoestratigráficos y bioestratigráficos, la Formación Roda (Arenisca de Roda + Complejo detrítico superior) junto con la Caliza de la Puebla se habría depositado entre finales del Ilerdiense medio 2 y el Cuisiense inferior (Crones 23.r, 24.1 y 24.2n), en un lapso de tiempo algo superior al millón de años.

Tosquella (1995) asigna una edad de Ilerdiense medio 2 a la Caliza de la Puebla, basándose en el reconocimiento de las biozonas de *Alveolina corbárica*

de Hottinger (1960) y de *Nummulites exilis-Assilina leymeriei* de Schaub (1981). Para la parte baja de la Arenisca de Roda se propone una edad de Ilerdiense superior, en base a la existencia de las biozonas de *Nummulites involutus-Assilina pomeroli* de Schaub (1981). A los cuerpos superiores del tramo estudiado de la Arenisca de Roda se les asigna una edad Cuisiense inferior, ya que la asociación faunística hallada es representativa de la base de las biozonas de *Nummulites planulatus-Assilina placentula* de Schaub (1981).

Bentham y Burbank (1996), a partir de un perfil magnetoestratigráfico y basandose en la edad Cuisiense de la parte media de la sección de Roda propuesta por Puigdefàbregas *et al.*, (1989), correlacionan su sección con la escala temporal de polaridad magnética de Hartland *et al.*, (1990). Según esta correlación la Caliza de la Puebla tendría una edad de 54,6 Ma y la Caliza de Murillo de 53,3 Ma. La Arenisca de Roda, junto con la caliza de La Puebla comprenderían toda la magnetozona C24.2n y la 24.1r de Hartland *et al.*, (1990). Estos autores estiman la duración de la Arenisca de Roda en unos 600.000 años (entre ~54,3 y 53,7 Ma).

El presente estudio sólo se trata la parte inferior de la Formación Roda; correspondiente al "Roda sandstone Member" de Cuevas *et al.* (1985) y a la Formación de Areniscas de Roda de Tosquella (1988).

Estos materiales se habrían depositado durante los crones 24.1r y 24.2n de acuerdo con la interpretación de Serra-Kiel *et al.*, (1994) y Bentham y Burbank (1996). Pertenecen a la parte alta del Ilerdiense medio 2, al Ilerdiense superior y a la base del Cuisiense inferior (Serra-Kiel *et al.*, 1994).

## 4) ANALISIS DE FACIES

La Arenisca de Roda se caracteriza por estar formada por seis cuñas arenosas (U, V, W, X, Y y Z, de Samsó y Tosquella, 1988 y López Blanco et al., 1990) que se interdigitan con facies margosas marinas (figuras R.13, R.14 y R.15). Dentro de estas cuñas se han diferenciado dos grupos de depósitos diferentes; unos que indican una progradación del sistema hacia la cuenca (regresivos) y otros que marcan episodios de no progradación y expansión de las condiciones marinas (transgresivos).

La Arenisca de Roda ha recibido diversas interpretaciones ambientales durante las últimas décadas.

Van Eden (1970) interpretó los depósitos arenosos como depositados en un ambiente de barra litoral.

Nio (1976) considera la Arenisca de Roda como un complejo de "sandwaves" depositado en un contexto de tipo transgresivo.

Fonnesu (1983) define el complejo de Suerri (equivalente lateral de la Arenisca de Roda) como un complejo deltaico en el que se incluyen depósitos fluviales de llanura deltaica, de frente deltaico y "sandwaves".

Yang y Nio (1989) asumen un modelo deposicional de delta de flujo y refluo (ebb-tidal delta) con un desarrollo de los sucesivos lóbulos en dirección SE-NW. Nio y Yang (1991) muestran un modelo que implica la existencia de dos áreas fuente diferenciadas, una al NW y otra al SE, donde se desarrollaría un gran estuario con "tidal point bars".

En la síntesis sobre la Arenisca de Roda efectuada por Yupaudjian (1984) se incluye una figura inédita de Puigdefàbregas en la que se interpreta esta formación como aparatos de abanico costero progradantes hacia el SW, con estructuras de "sandwave" producto de un retrabajamiento mareal en las zonas más distales. Esta interpretación general de un complejo de abanico costero con área fuente al NE y retrabajamiento mareal en las zonas distales (SE-NW), es apoyada por los trabajos posteriores de Tosquella (1988) y López Blanco et al. (1990 y 1991).

En el presente trabajo se considera la arenisca de Roda como un complejo de abanico costero con influencia mareal, en el que se han diferenciado seis asociaciones de facies diferentes (figs. R.14 y R.15), si bien no todas se encuentran en todos los niveles estratigráficos.

**Figura R.13.** Mapa geológico de la Arenisca de Roda donde se muestran las principales unidades arenosas.

*Geological map of the Roda sandstone where the main sandy units are represented.*

Estas son:

- facies aluviales y de llanura deltaica (PD)
- facies lagunares o de bahía (L)
- facies de frente deltaico-"nearshore" (FDC, FDR y N)
- facies de "sandwaves" (SW)
- facies de "offshore" (P)
- facies de plataforma carbonática (PC)

(Ver figura R.16)

### 4.1) FACIES ALUVIALES Y DE LLANURA DELTAICA

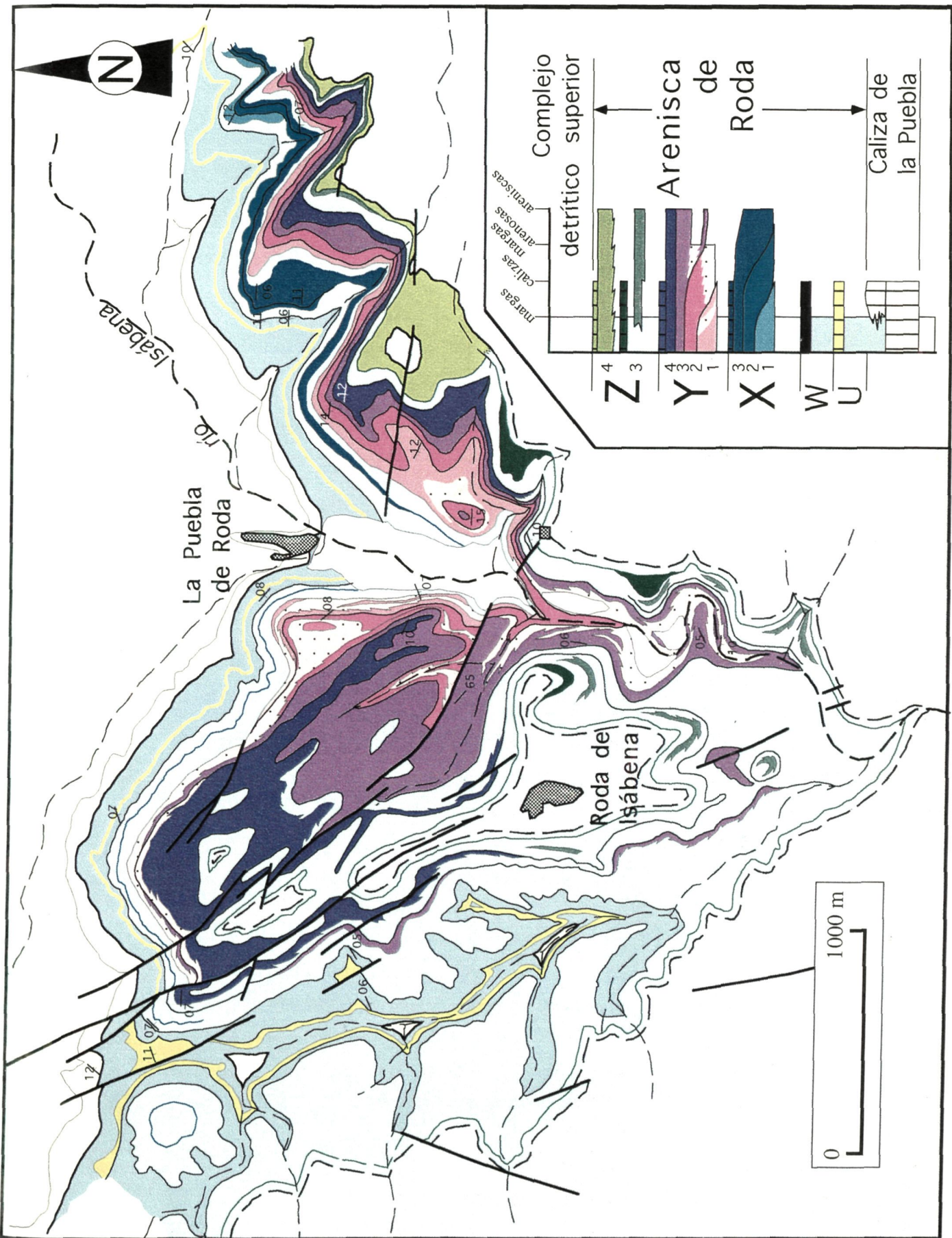
El cinturón de facies aluviales de llanura deltaica se sitúa hacia las zonas más proximales del sistema, en los alrededores de "Coll de Vent" y el Barranco de Codoñeras (Fig. R 16).

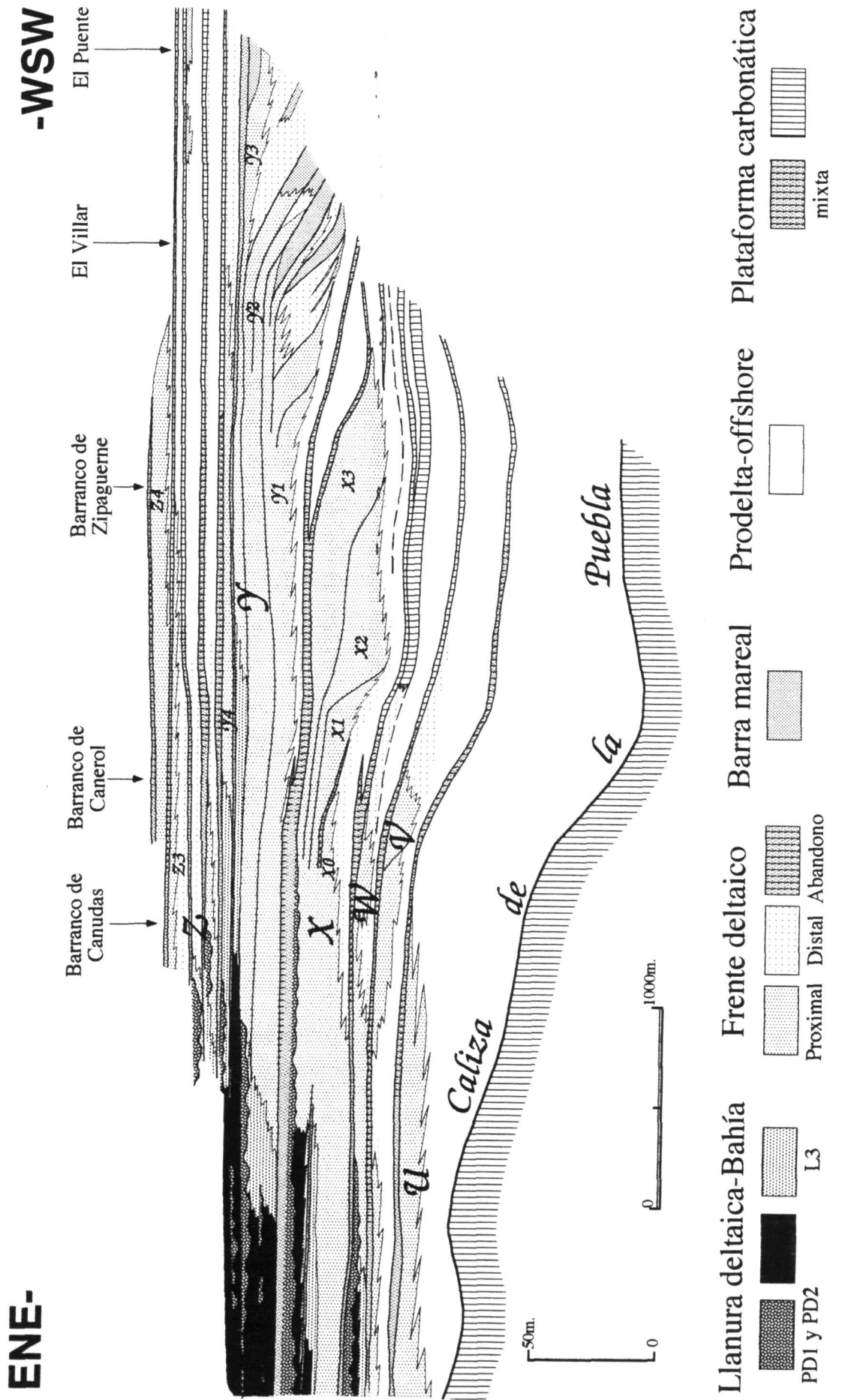
Se han diferenciado tres facies principales.

PD1) Areniscas arcóscicas de grano grueso, mal seleccionadas y de aspecto masivo que pueden presentar un contenido elevado de matriz arcillosa y cantos dispersos bien rodados (Foto 5, Lámina VII) y localmente muy abundantes. Ocasionalmente muestran un moteado versicolor y contienen restos carbonosos, así como fragmentos de fauna marina poco profunda. También existen cuerpos tabulares de conglomerados "clast -supported" ricos en matriz arenosa, sin orientación interna y con base neta. Todos estos cuerpos son tabulares, con una potencia hemimétrica-métrica y una base neta (en ocasiones erosiva).

Se interpretan como el producto de flujos catastróficos del tipo "debris flow" no cohesivo, emplazados subaerea o subacuáticamente.

PD2) Cuerpos canaliformes de espesor hemimétrico a métrico, formados por areniscas de grano grueso, conglomerados, o ambos tipos de material (Foto 4, Lámina VII). Los cantos de los conglomerados suelen estar bien redondeados y las areniscas pueden mostrar burrows verticales. Los cuerpos canaliformes presentan una base erosiva y pueden mostrar una tendencia granodecreciente. Internamente pueden presentar una apariencia masiva o estratificación cruzada de gran escala originada por migración de barras. Localmente se observan conjuntos de cuerpos canaliformes amalgamados.





**Figura R.14.** Corte geológico de la Arenisca de Roda entre Coll de Vent y el puente de Roda (basado en la correlación de 18 perfiles estratigráficos) donde se muestran los principales cinturones de facies y unidades arenosas.  
*Geological cross-section of the Roda Sandstone (based on the correlation of 18 stratigraphic logs) where the main facies belts and sandy units are represented.*

Esta facies se asimila a depósitos de relleno de canal que, en vista del contexto con influencia marina en el que se encuentran pueden interpretarse como canales distributarios.

PD3) Areniscas margosas con moteados versicolores, frecuentes nódulos carbonatados y paleosuelos incipientes (Foto 3, Lámina VII). Representan depósitos palustres o de llanura de inundación sometidos a procesos edáficos. Estos procesos llegan a afectar depósitos de claro origen marino, lo que indicaría la existencia de períodos de emersión de los mismos.

#### 4.2) FACIES LAGUNARES O DE BAHIA

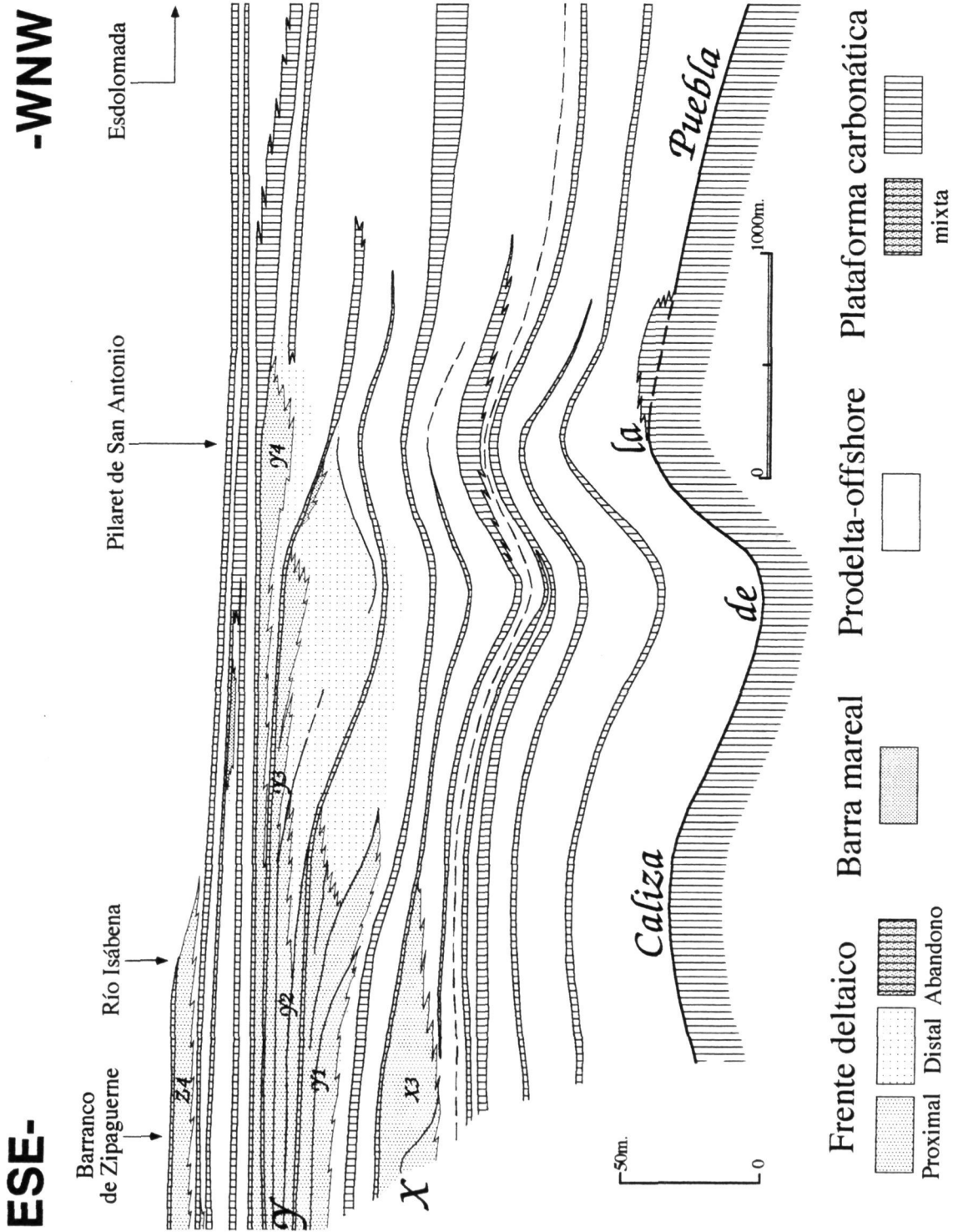
El segundo cinturón de facies a tratar es el de laguna o bahía. Estos depósitos se sitúan, tanto vertical como horizontalmente, entre facies de llanura deltaica y facies arenosas de frente deltaico-“nearshore”.

Se han diferenciado 3 facies principales.

L1) Secuencias grano y estratocrecientes, esencialmente arenosas y de no más de dos metros de potencia (Fotos 1, 2 y 4, Lámina VII). Éstas comienzan con alternancias de areniscas y margas, acabando con areniscas e incluso conglomerados. Dichas secuencias se sitúan sobre margas y bajo depósitos de relleno de canal y/o “debris flow”. Las areniscas que integran el grueso de cada secuencia consisten en capas de espesor centimétrico-decimétrico, que pueden ser masivas o pueden presentar estratificación cruzada, laminación paralela, estructuras de tipo “flaser”, ripples de corriente y oscilación así como burrows verticales. El contenido fósil consiste en alveolinas, bivalvos, gasterópodos algunos nummulites y restos vegetales. Ocasionalmente se observa nodulización por cementación carbonática diferencial así como pavimentos de cantos (facies L2).

Estas secuencias negativas han sido interpretadas como el resultado de la progradación de pequeños frentes deltaicos en zonas protegidas y someras (bahías o lagunas).

L2) Pavimentos de cantos que ocasionalmente presentan perforaciones producidas por moluscos litófagos e incrustaciones de ostreidos. Éstos





**Figura R.15.** Corte geológico de la Arenisca de Roda, entre el barranco de Zipagueme (Coma el Cuervo) y Esdolomada (basado en la correlación de 9 perfiles estratigráficos) mostrando los principales cinturones de facies y unidades arenosas.

*Geological cross-section of the Roda Sandstone (based on the correlation of 9 stratigraphic logs) showing the main facies belts and sandy units.*

pavimentos pueden encontrarse intercalados en el seno de cualquiera de las facies anteriormente descritas (tanto de llanura deltaica como lagunares).

Se pueden interpretar como el producto del retrabajamiento de éstas, principalmente, por medio del oleaje u otras corrientes costeras.

L3) Margas y limos grises (a veces versicolores) afectados por un grado de bioturbación variable (Foto 2, Lámina VII). Pueden intercalar una proporción variable de arenas, siendo éstas más importantes hacia el SW (zonas teóricamente más distales). En las margas se puede encontrar fauna (más bien escasa) de valvulinas, pequeños rotálidos, amphistegínidos, *Rhabdomina*, pequeños *nummulites*, gasterópodos, ostrácodos de concha lisa y bivalvos. Cuando la proporción de arenas es considerable (hacia el SW) encontramos restos fósiles más abundantes y variados (nummulites, alveolínidos, gasterópodos, briozoos, ostreídos, teredos y otros bivalvos). Muy localmente y en estas facies más arenosas se pueden observar acumulaciones de cantos y vestigios de estratificación cruzada de tipo "through".

Esta facies ha sido interpretada como depósitos de zonas costeras relativamente protegidas (bahías o lagunas) de baja energía, con salinidad marina y con materia orgánica en putrefacción.

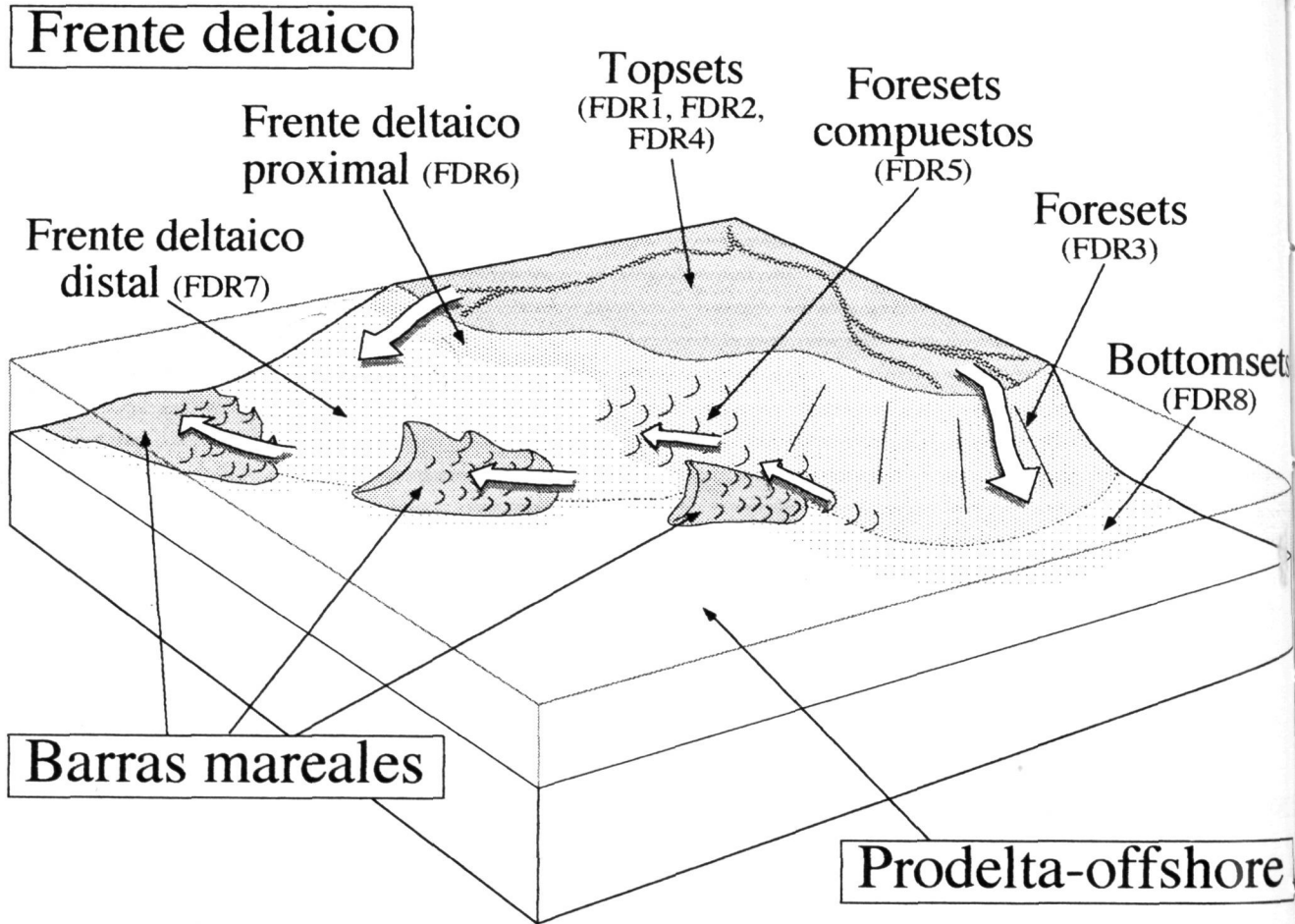
#### 4.3) FACIES DE FRENTE DELTAICO-"NEARSHORE"

Esta asociación de facies está dominada por facies arenosas, aunque también incluye una cierta proporción de facies margosas o margo-arenosas. Es una de las más importantes volumétricamente y la más detalladamente estudiada. Comprende 13 facies principales. Éstas no se encuentran en todos los niveles.

Para su descripción se han diferenciado facies progradantes (Fig. R.16) y de abandono (o transgresivas).

##### 4.3.1) FACIES DE FRENTE DELTAICO-"NEARSHORE" PROGRADANTE

Existen dos tipos de frente deltaico principales que serán denominados "tipo Roda" y "tipo Codoñeras".



**Figura R.16.** Bloque diagrama en el que se muestran las relaciones entre las diferentes facies y asociaciones de facies detríticas de la Arenisca de Roda.

*Block diagram showing the relationships among the different facies and facies associations from the Roda Sandstone.*

### 1) FRENTE DELTAICO "tipo Codoñeras"

Los depósitos de frente deltaico de "tipo Codoñeras" se localizan en las unidades inferiores de la sucesión (U y V) y en las áreas más septentrionales y orientales de la zona estudiada (barrancos de Canudas, Codoñeras y alrededores de Coll de Vent).

Se presentan en secuencias de tipo grano y estratocreciente (a grandes rasgos) en las que las capas arenosas pueden alternar con intervalos margosos (Foto 1, Lámina VIII). Dentro de las secuencias más completas se pueden diferenciar tres tramos (inferior, medio y superior).

El tramo inferior (FDC1) se caracteriza por la existencia de "thin beds" arenosos de potencia centimétrico-decimétrica, intercalados entre margas marinas (Foto 1, Lámina VIII). Estas areniscas suelen ser masivas o presentar laminación planar paralela, con "scours" y cantos blandos en la base. Ocasionalmente y asociados a estas facies se observan cuerpos canaliformes arenosos con

potencias de orden decimétrico-métrico, cicatrices erosivas y cantos blandos y que pueden presentar un relleno mono o multiepisódico.

El tramo intermedio (FDC2) está constituida por capas arenosas individuales que no son excesivamente continuas lateralmente. Como estructuras sedimentarias pueden presentar laminación de tipo "trough", "hummocky", planar paralela, cruzada de bajo ángulo y posibles "herring bones". Frecuentemente los techos de estas capas muestran crestas de "ripples" que, en ocasiones, pueden ser de tipo simétrico. Tanto las facies de este tramo intermedio como las del inferior, pueden haber sufrido deformaciones por escape de agua, fluidificaciones y presentarse en forma de pseudonódulos.

El tramo superior (FDC3) es predominantemente arenoso y esta constituido por niveles arenosos masivos de potencia decimétrica a métrica (Foto 1, Lámina VIII) que en ocasiones incluyen cantos dispersos en hiladas o aislados. Son frecuentes los pavimentos de cantos, que pueden presentar imbricaciones y perforaciones por litófagos. En las secciones más completas (45, cerca de Iscles) la secuencia de frente deltaico culmina con arenas arcósicas que pueden formar sets de hasta 1 metro de potencia, con estratificación cruzada tangencial hacia la base. Ocasionalmente existen cicatrices erosivas acanaladas. Las facies e estos tres tramos puesen presentar grados de bioturbación variables, con pistas de tipo *Ophiomorpha* y *Skolithos*.

Estas secuencias han sido interpretadas como el producto de la progradación de un frente deltaico afectado por el oleaje en el que se diferencian tres zonas principales en función de su proximalidad o distalidad. En las zonas más proximales (FDC1) se depositan facies de "debris flow" y barras arenosas progradantes en la barra de desembocadura proximal. Estas facies pueden estar erosionadas por canales distributarios y los pavimentos de cantos indican el intenso retrabajamiento por el oleaje en la zona de "foreshore". La zona intermedia (FDC2) representa la zona de barra de desembocadura-frente deltaico distal; donde los depósitos muestran, además de las estructuras producto de los procesos tractivos originales, las de retrabajamiento por el oleaje, tempestades y mareas. La zona más distal (FDC3) marca el tránsito hacia facies de prodelta y "offshore". La deposición de arenas sería en forma de pequeñas corrientes de turbidez de baja densidad, producto de la descarga de los distributarios, pequeñas desestabilizaciones o de tempestades que darían lugar a las "thin beds". Estas corrientes de turbidez estarían ocasionalmente canalizadas en pequeños "gullies". Estas facies son similares a las de barra de desembocadura intermedia descritas por Fonnesu (1983).

## 2) FRENTE DELTAICO "tipo Roda"

Las facies de frente deltaico "tipo Roda" se reconocen en toda la zona estudiada y en las seis cuñas arenosas (siendo anecdóticas en U y V y el constituyente principal del resto de unidades). Se han diferenciado ocho facies principales (Fig. R.16).

FDR1) Areniscas arcósicas, generalmente de grano medio a grueso, masivas o con estratificación horizontal poco definida (Foto 3, Lámina VIII). Constituyen paquetes tabulares de hasta 3 metros de espesor. Muestran una intensa bioturbación con frecuentes "burrows" verticales y nodulización por cementación carbonática diferencial. En ocasiones presentan vestigios de estratificación y laminación cruzada generada por la migración de megaripples y ripples. Localmente se observan cantos y gránulos, dispersos o alineados en pavimentos (facies L2) así como una fauna de nummulites, alveolinas, briozoos, equinodermos, teredos, ostreidos y otros bivalvos. Pueden incluir fragmentos vegetales y capas milimétricas a centimétricas de carbón.

Esta facies es típica de la zona NE (barrancos de Codoñeras y Canudas) y se puede interpretar como el producto de la alternancia en el tiempo de períodos de aportes sedimentarios importantes, que darían lugar a depósitos de barra de desembocadura proximal (arcosas masivas con cantos o con estructuras de corriente) y períodos de abandono (o transgresivos) en los que estas facies serían retrabajadas, bioturbadas y colonizadas por fauna marina somera.

FDR2) Areniscas masivas de grano medio a grueso, bioturbadas, generalmente azoicas (aunque en ocasiones pueden presentar restos de fauna marina; Foto 2, Lámina VIII) y con abundantes nódulos por cementación carbonática diferencial. Se presentan en capas horizontales de espesor decimétrico a métrico. Algunas de estas capas presentan gradación granulométrica positiva con acumulaciones de cantos, gránulos y bioclastos en la base. En ocasiones presentan estratificación cruzada de bajo ángulo inclinada hacia el S, así como estratificación cruzada originada por la migración de megaripples. Hacia el S pasan lateralmente a facies con estratificación cruzada de gran escala que describiremos posteriormente (FDR3).

Esta facies constituye los "topsets" del conjunto progradante de frente deltaico-"nearshore" (Fig. R.16). Estos "topsets" se depositarían en la zona de mayor energía de la plataforma del frente deltaico, por encima del nivel de base del oleaje, durante períodos de buen tiempo. En dicha zona se produciría una repetida alternancia de: episodios de erosión y "bypass", episodios deposicionales ligados a corrientes litorales de alta energía, y períodos de calma durante los que se produciría la bioturbación. Quizás, parte de estos depósitos podrían atribuirse

al relleno de canales o depresiones muy amplias y de márgenes poco definidos, localizadas sobre la plataforma del frente deltaico (Fig. R.16).

FDR3) Areniscas de grano medio a grueso en "sets" de estratificación cruzada de alto ángulo, de 1 a 20 metros de espesor (Fotos 4 y 5, Lámina VIII). Los "cross-strata" individuales o "foresets" presentan un espesor de decimétrico a métrico y en su interior pueden observarse laminación paralela con buena selección granulométrica y estratificación cruzada originada por megaripples. Éstos indican paleocorrientes similares a las deducidas a partir de los "foresets" en los que se incluyen. Los "foresets", con una geometría sinusoidal, presentan inclinaciones que pueden alcanzar los 30° y suelen ser tangenciales hacia la base, pasando a "bottomsets" (facies FDR8). Hacia techo de cada "set", cuando no existe truncación, puede observarse un pasò gradual a la facies FDR2 de "topset". En la parte alta de los "sets" son frecuentes los nódulos de cementación diferencial. Lateralmente, en la dirección de máxima inclinación, pueden diferenciarse grupos de "foresets" separados por superficies de reactivación que pueden separar conjuntos adyacentes con paleocorrientes divergentes. Estas paleocorrientes varían de SSE a NW, dominando las dirigidas al SSW y WSW. En algún caso, los "sets" se disponen mutuamente con una estructura "herring-bone" de escala métrica, mostrando "mud-drapes" entre los "foresets", lo que sugiere la influencia de corrientes mareales en su formación.

Estas areniscas con "megaforesets" se interpretan como el producto de la progradación (generalmente mediante procsos de avalancha) hacia el SSW y WSW de un frente deltaico de fuerte pendiente (tipo "Gilbert") (Fig. R.16), posiblemente nucleado a partir de barras arenosas transversales y de cresta sinuosa alimentadas por aportes fluviales. Ocasionalmente, en las partes distales del frente deltaico, la acción de corrientes litorales tendería a modificar progresivamente el sentido de progradación hacia el WNW, mediante el desarrollo de barras arenosas orientadas en dicha dirección (Fig. R.16).

FDR8) Facies arenosa o margo-arenosa con estratificación horizontal que constituye el "bottomset" de las facies con estratificación cruzada de gran escala (Fotos 4 y 5, Lámina VIII y 2, Lámina IX). Presenta una importante bioturbación y, localmente, fauna de alveolinas y nummulites, así como nódulos ferruginosos y fragmentos vegetales. La potencia de estas capas es de centimétrica a métrica. En ocasiones aparecen varios niveles "soldados", con las las superficies de estratificación obliteradas por una abundante bioturbación. Localmente los "bottomsets" arenosos pueden incluir "sets" de espesor decimétrico de estratificación cruzada del tipo "tidal bundles", producto de la migración de

formas de fondo de tipo megaripples bajo corrientes mareales fuertemente asimétricas en ambientes submareales.

Estas facies se pueden interpretar como los "bottomsets" del sistema de frente deltaico-nearshore progradante. Se correspondería con las zonas más profundas del frente deltaico en tránsito a las facies lutíticas de "offshore" (Fig. R.16). En estas zonas la energía sería baja, favoreciendo la colonización por fauna marina y la consiguiente bioturbación. La existencia de facies con "tidal bundles" nos indica que estas zonas más profundas eran submareales y que, ocasionalmente, en éstas actuaban corrientes mareales asimétricas.

FDR4) Areniscas de grano fino con estratificación cruzada de tipo "trough" en "sets" de espesor centimétrico a decimétrico. Estos "sets" se pueden agrupar en "cosets" de espesor métrico, caracterizados por mostrar una base erosiva y tapizada por acumulaciones de fauna marina.

Se interpretan como depósitos originados por la migración de megaripples sobre pequeños canales de drenaje (¿distributarios?) y/o depresiones ("intershoals") localizados sobre la plataforma del frente deltaico (Fig. R.16).

FDR5) Areniscas de grano fino a medio con estratificación cruzada de espesor métrico (de 0,5 a 12 m.) y con "foresets" compuestos, similares a los descritos para FDR4, aunque en este caso los "foresets" y la estratificación cruzada interna muestran paleocorrientes marcadamente divergentes (de 30° a 100°) (Foto 7, Lámina VIII y Foto 2, Lámina IX). Además, en algún caso, los "sets" de estratificación cruzada subordinada puede mostrar estructuras de tipo "tidal bundles".

Esta facies se interpreta como el resultado de la progradación hacia el SSW y WSW de las facies FDR3 bajo la constante influencia de corrientes mareales y/o litorales. Estas últimas se orientarían de oblicua a perpendicularmente con respecto al sentido de progradación general y serían las responsables de la migración en el frente deltaico de trenes de megaripples y barras arenosas elongadas hacia el WNW (Fig. R.16).

FDR6) "Sets" arenosos de estratificación cruzada de escala métrica, hasta 10 m de espesor, y cuyos "foresets" se caracterizan por mostrar una clara evolución textural, hacia la cuenca, a sedimentos margoarenosos muy bioturbados (FDR7) (Fotos 1 y 4 Lámina IX) (Fig. R.16). Los diferentes "sets" pueden aparecer separados por superficies de reactivación. Esta facies se localiza hacia las partes altas o más proximales de ciertas clinofomas progradantes de frente deltaico y

hacia "tierra" (ENE-NE) puede gradar a facies de "topset" (FDR2) cuando no hay truncación.

Su presencia supone el desarrollo de un tipo de frente deltaico de menor pendiente y de granulometría más fina al representado por las facies FDR3, FDR8 y FDR5.

FDR7) Areniscas margosas y margas arenosas bioturbadas, con fauna marina dispersa (Fotos 6, Lámina VIII y 2, 3 y 4, Lámina IX). Constituyen los depósitos distales o de menor energía localizados por debajo de los depósitos de frente deltaico representados por la facies FDR6. En dirección a cuenca pueden gradar a las facies arenosas de origen mareal (SW1, SW2, SW3) o a facies de margas gris azuladas de prodelta (P1) que se describirán a continuación (Fig. R.16).

#### 4.3.2) FACIES DE ABANDONO DE FRENTE DELTAICO-"NEARSHORE"

Estas facies son poco importantes volumétricamente. En ellas se incluyen, aparte de las que describiremos a continuación, las FDR1 ya descritas.

N1) Areniscas masivas o con estratificación subhorizontal, en bancos de 0,5 a 1 m. de espesor. Presentan nódulos de cementación carbonática diferencial y abundante fauna de nummulites, alveolinas, equinodermos, briozoos, teredos y otros bivalvos. Pueden incluir cantos, dispersos o acumulados como pavimentos, así como fragmentos vegetales y carbonosos. Ocasionalmente se observan vestigios de estratificación cruzada de tipo megarripple y "hummocky"(?). Estas areniscas muestran una intensa cementación carbonática que se incrementa hacia cuenca (SW) en cuya dirección pasan a depósitos de plataforma carbonática (facies PC1).

Esta facies se interpreta como depósitos de "nearshore" originados durante períodos con bajas tasas de sedimentación terrígena (es decir, durante períodos transgresivos o de abandono del sistema deltaico) y de intensa productividad orgánica. Posiblemente estos depósitos sufrirían un intenso retrabajamiento por corrientes costeras y/o tormentas, aunque dicho retrabajamiento generalmente ha sido enmascarado por la bioturbación posterior.

N2) Superficies intensamente bioturbadas, desarrolladas sobre facies arenosas de frente deltaico (FDR1, FDR2, FDR3, N1). Asociada a dichas superficies se observan acumulaciones de fauna marina somera y una cementación carbonática diferencial en nódulos.

Son superficies de inundación marina interpretables como verdaderos "hard-grounds" submarinos, desarrollados durante períodos transgresivos, caracterizados por una tasa de aporte terrígeno muy baja o nula. Este tipo de superficies limitan a techo algunas de las subunidades progradantes de los cuerpos X, Y y Z.

#### 4.4) BARRAS SUBMAREALES-"SANDWAVES"

Los depósitos de esta asociación de facies se localizan en las partes más distales del sistema deltaico, pudiéndose encontrar adosadas (al frente deltaico) o totalmente desconectadas y englobadas en facies de prodelta y offshore (FDR7 y P1) (Fig. R.16). Se han diferenciado tres facies principales.

SW1) Esta facies consiste en una alternancia de capas centimétricas a decimétricas de areniscas y lutitas (Foto 3, Lámina IX). En ocasiones esta alternancia presenta una tendencia secuencial grano y estratocreciente. Las areniscas muestran ripples de corriente a techo y las estructuras de tipo "flaser" son frecuentes. La bioturbación suele ser intensa.

Representa una facies submareal de baja energía, localizada en las áreas marginales de las barras arenosas submareales ("sandwaves") que se describirán a continuación (SW2 y SW3).

SW2) Areniscas en "sets" tabulares de estratificación cruzada que muestran secuencias laterales bien desarrolladas de tipo "tidal bundles" (Fotos 3, 4 y 5, Lámina IX). La potencia de los sets es de centimétrica a métrica.

Esta facies se ha interpretado como depósitos submareales de tipo "shoal" producidos por la migración de megaripples bajo la acción de corrientes mareales fuertemente asimétricas, entre las que supuestamente dominan las de refluo, orientadas entre el SW y el NNW.

SW3) Areniscas con estratificación cruzada sigmoidal de gran escala (Foto 6, Lámina IX). Esta facies aparece lateral y verticalmente relacionada con la precedente. Consiste en "sets" de potencia métrica (hasta 10 m.), caracterizados por unos foresets muy tangenciales hacia la base donde a veces se observa una alternancia muy bioturbada de pequeños horizontes de arenisca con ripples de corriente y de margas. La inclinación de los "foresets" sugiere paleocorrientes orientadas entre el SW y el NNW. Estas barras pueden desarrollar (a parte de "foresets") "topsets" y "bottomsets".



Han sido interpretados como el producto de la progradación de las caras de avalancha de grandes barras arenosas submareales, de varias centenas de metros de longitud y de 3 a 10 m. de altura, producidas por corrientes mareales de reflujo.

#### 4.5) PRODELTA-OFFSHORE

En esta asociación se podría incluir, aparte de la facies que seguidamente se describirá, la FDR7.

P1) Margas gris azuladas con un contenido variable en fauna marina. Suelen ser masivas y mostrar un mayor contenido en las fracciones granulométricas limo y arena hacia la zona de tránsito al frente deltaico.

Son materiales depositados principalmente por decantación y posteriormente homogeneizados por bioturbación en las partes más profundas y alejadas del sistema deltaico (Fig. R.16).

#### 4.6) PLATAFORMA CARBONÁTICA

Se ha diferenciado una única facies (PC1) que, hacia zonas más someras grada a las facies de "nearshore" (N1) descritas con anterioridad, mientras que en sentido opuesto pasan a sedimentos margosos de "offshore" (P1).

PC1) Esta facies comprende desde packstones arenosos a wackestones (pasando por packstones limpios), que se presentan en capas muy bioturbadas de espesor centimétrico a métrico. La fauna principal está representada por nummulites, alveolinas, operculinas, discocyclinas, corales, briozoos, gasterópodos y bivalvos.

Son depósitos de plataforma carbonática abierta, que, al igual que las facies de "nearshore", aparecen relacionadas con periodos de actividad baja o nula del sistema deltaico, situándose en zonas alejadas de la costa, con una influencia terrígena mínima. Sin embargo, cabe destacar el hecho de que existen una serie de depósitos de este tipo (por ejemplo, la "caliza de la Santa Creu") que podrían haberse depositado coetaneamente (al menos en parte) a la progradación de alguna de las unidades terrígenas. Este hecho se puede relacionar con el crecimiento sinsedimentario del de un anticlinal. Dicho crecimiento crearía un alto fondo, suficientemente alejado de los aportes detríticos y con la suficiente iluminación como para ser una zona favorable para la instalación de una pequeña plataforma carbonática.