

# Arquitectura de facies de los deltas cuaternarios del río Llobregat, Barcelona, España

## *Facies Architecture of the Llobregat River Quaternary Deltas, Barcelona, Spain*

J.A. Simó <sup>(1)</sup>, D. Gàmez <sup>(2)</sup>, J.M. Salvany <sup>(2)</sup>, E. Vázquez-Suñé <sup>(2)</sup>, J. Carrera <sup>(2)</sup>, A. Barnolas <sup>(3)</sup> y F.J. Alcalà <sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> ICREA, Geomodels-Departament d'Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica, UPC, 08034, Barcelona y Department of Geology and Geophysics, University of Wisconsin, Madison, 53706. simo@geology.wisc.edu

<sup>(2)</sup> Geomodels-Departament d'Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica, UPC, 08034, Barcelona

<sup>(3)</sup> Dirección de Geología y Geofísica, IGME, Ríos Rosas 23, 28003- Madrid

<sup>(4)</sup> Agencia Catalana de l'Aigua, Departament de Medi Ambient i Habitage, 08008 Barcelona

### ABSTRACT

*The Llobregat River has accumulated multiple deltas through Quaternary eustatic cycles. The rapid rises and step-wise, relatively slower falls in sea level have produced a bias towards preserving forced regressive system tracks and eroding the high-stand system tracks with the exception of the Holocene delta. Subsurface data indicates that the Quaternary deltas were fed by the Llobregat river and «rieras» derived from Garraf and Collserola, but the sediment was probably redistributed by long-shore currents to form a unique delta front. The Holocene Llobregat River high-stand delta progrades over older fluvial, flood-plain and shoreline deposits equivalent to the older deltas now preserved at the continental margin. A number of paleo-flow channels feeding the older Quaternary deltas illustrate the complexity for the exploitation and protection of groundwater found in these deposits.*

**Key words:** Pleistocene delta, Llobregat River, Facies analysis, delta evolution

*Geogaceta*, 38 (2005), 171-174

ISSN: 0213683X

### Introducción

El delta del río Llobregat, al sur de la ciudad de Barcelona, es un ejemplo de delta mediterráneo iniciado en la época postglacial, que prograda sobre una plataforma marina estrecha, y que está encajado entre relieves montañosos. El delta moderno es parte de un complejo de deltas sumergidos, de edad pleistocena, que hoy en día tienen sus frentes deltaicos situados a profundidades de más de 80 m y a una distancia de la línea de costa actual de, al menos, 12 km. El delta holoceno prograda sobre las facies más someras de los deltas sumergidos.

Una revisión de 288 sondeos antiguos y de otros 74 nuevos, con testigo continuo, procedentes de la zona emergida del delta y de las obras de ampliación del puerto de Barcelona, ha permitido establecer una distribución vertical y lateral de facies del delta holoceno y los pleistocenos. La estratigrafía de la parte emergida del delta se ha comparado con la estratigrafía sísmica del delta sumergido. La correlación de cortes y la reconstrucción de mapas paleogeográficos ha permitido subdividir el registro estratigráfico en se-

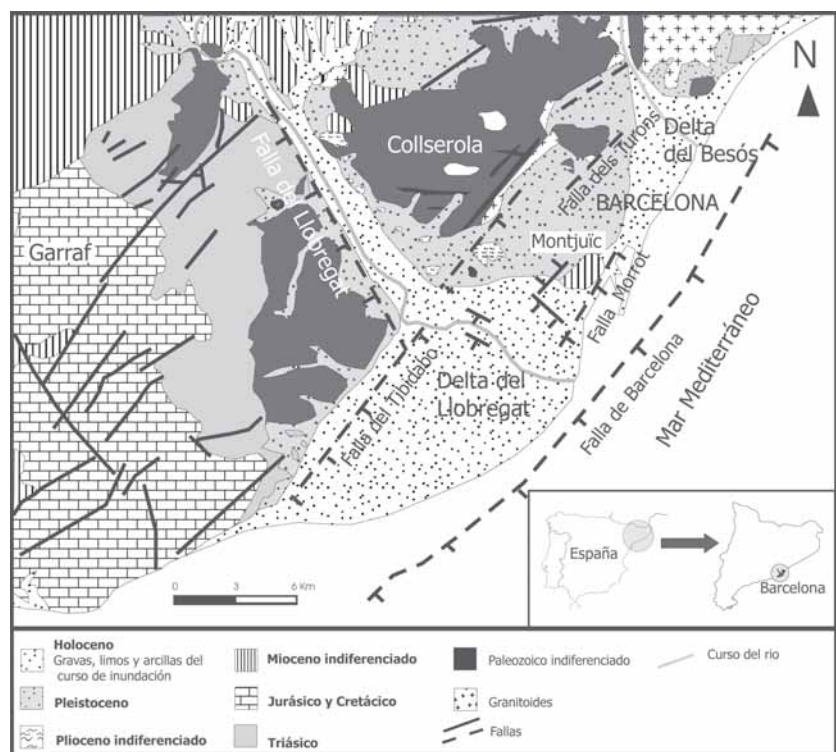


Fig. 1.- Mapa geológico del delta del río Llobregat y sus alrededores (modificado de Almera, 1891).

Fig. 1.- Geologic map of the Llobregat delta region (after Almera, 1891).

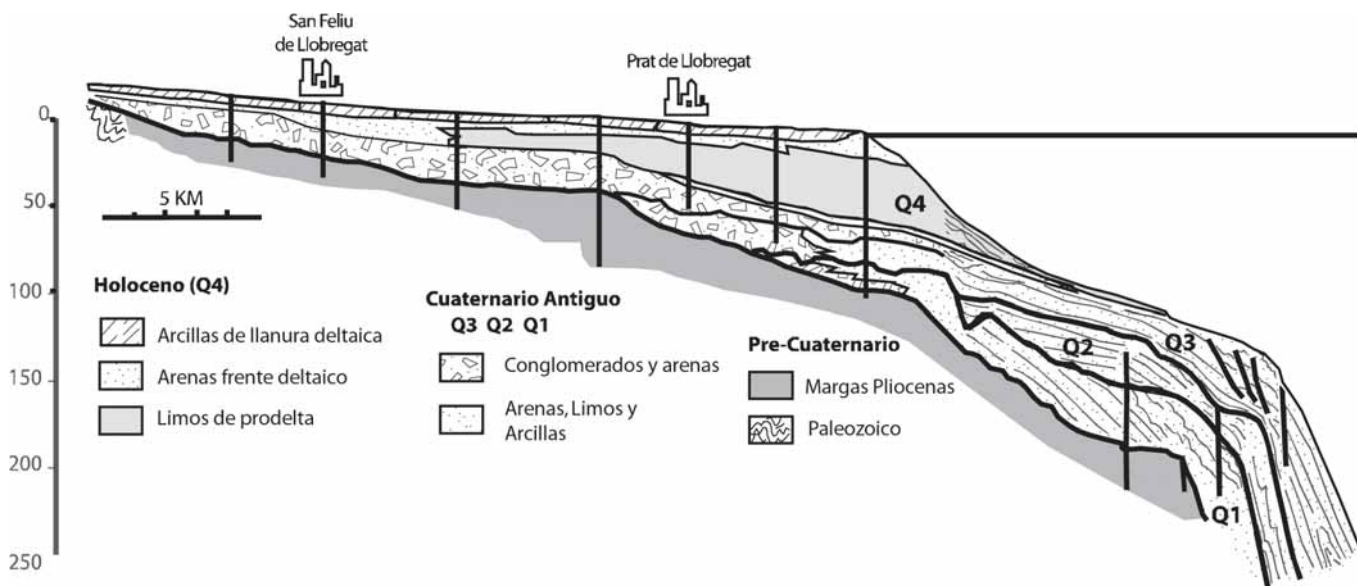


Fig. 2.- Corte geológico del delta emergido y sumergido con datos de MOP (1966) y del Maldonado et al. (1986). Los deltas del Cuaternario antiguo (Q1-Q3) corresponden en parte al Complejo Detrítico Inferior y el delta holoceno representa el Complejo Detrítico Superior (Q4).

Fig. 2.- Geologic cross section of the emerged and submerged parts of the Llobregat deltas (base on MOP, 1966; and Maldonado et al. 1986). The lower Quaternary deltas (Q1-3) correlate with the «Complejo Detrítico Inferior» and the Holocene delta (Q4) to the «Complejo Detrítico Superior».

cuencias deposicionales que reflejan los cambios eustáticos, en las direcciones de aportes sedimentarios, y tectónicos. El modelo conceptual que se presenta refleja un sistema dinámico con implicaciones a nivel hidroestratigráfico y de recursos naturales de la zona.

### Geología Regional

La geología superficial del delta se conoce bien desde los trabajos de Almera (1891), Llopis (1942, 1946), y Solé-Sabarís (1957, 1963). La geología del subsuelo fue establecida por el MOP (1966), Custodio et al. (1976), Bayó et al. (1976 y 1977), Marqués (1984), Manzano (1986 y 1991), y Alcalá (2003). La geología de la plataforma marina fue cartografiada por Maldonado et al. (1986, 1989).

El delta del río Llobregat está limitado por numerosas fallas (Fig. 1). La falla del Llobregat condicionó la dirección del río para cruzar la Cordillera Litoral Catalana. El río, una vez cruzada la falla del Tibidabo, da lugar al Delta del Llobregat, con una amplia llanura litoral encajada en terrazas de edad pleistocena, que están limitadas en parte hacia el NE por un sistema de fallas que ponen en contacto el Holoceno y Pleistoceno con el Mioceno (Montjuic) y Plioceno. Otras fallas sin expresión geomorfológica afectan al Holoceno y Pleistoceno en profundidad así como al margen de la plataforma (Fig. 1).

El río Llobregat, cuya cabecera se sitúa en el Pirineo, tiene una longitud de 156,5 km y una cuenca de drenaje de

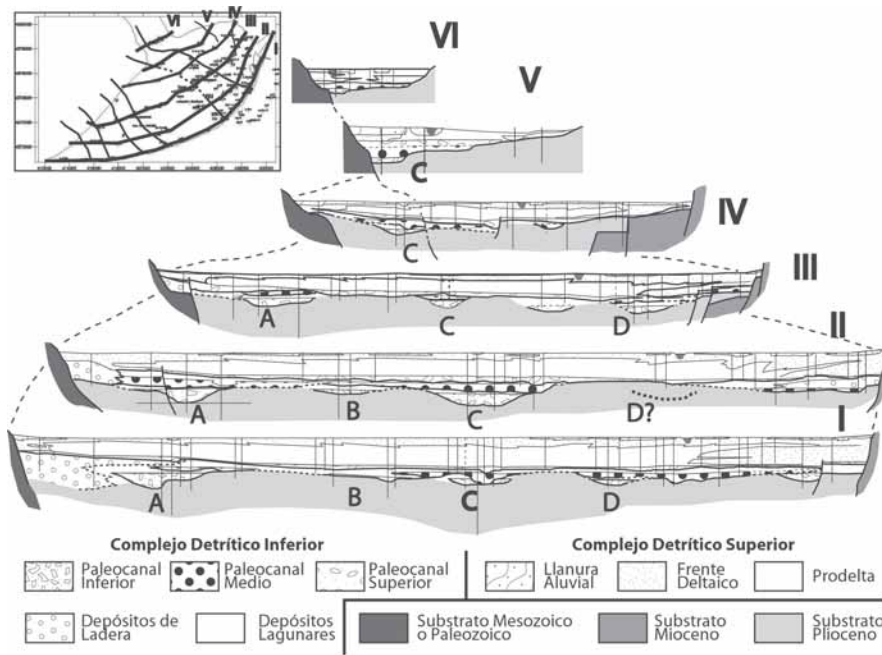
4948.4 km<sup>2</sup>. Es de tipo mediterráneo con poco caudal (las aportaciones anuales entre 1912-1971 oscilan entre 1347,5 hm<sup>3</sup> y 270 hm<sup>3</sup>), un marcado estiaje, fuertes crecidas y elevada irregularidad (Marqués, 1984). Numerosas rieras provenientes de Garraf y de Collserola desembocan en la llanura deltaica y están reflejadas por zonas inundadas y marismas. El delta del Llobregat está altamente modificado por procesos costeros como la deriva litoral hacia el SW, con corrientes de unos 30 cm/s (Font et al. 1987; Chiocci et al., 1997), que redistribuyen estos sedimentos hacia el SW y traen sedimentos procedentes de la costa del norte de Barcelona. En menor medida el oleaje (de baja energía) y la marea (de pocos centímetros) contribuyen a la redistribución del sedimento. En el prodelta y talud hay numerosas fallas sinsedimentarias y cañones que redistribuyen el sedimento gravitacionalmente (Maldonado et al., 1986). Probablemente, los mismos procesos fueron activos durante el Pleistoceno.

Sobreimpuestos a los procesos sedimentarios deltaicos, costeros y del margen de la plataforma continental se han de añadir la variación temporal del aporte de sedimento y los cambios eustáticos cuaternarios que afectaron a la distribución vertical y lateral de facies. El resultado de los cambios eustáticos es una amalgamación de deltas, ahora sumergidos, separados por múltiples superficies de erosión. No existe una geocronología de los deltas sumergidos y en este trabajo se presenta una primera correlación de la parte del delta emergido y sumergido.

### Arquitectura del delta

El Cuaternario del delta del Llobregat está encajado en materiales que van del Plioceno al Paleozoico. Internamente existen muchas discontinuidades intra-cuaternarias; por ejemplo, en los márgenes del delta el Holoceno está encajado en el Pleistoceno y en los perfiles sísmicos se observan múltiples erosiones intra-pleistocenas. Por simplificar, el Cuaternario de la zona emergida se divide en el Complejo Detrítico Superior (CDS) o delta moderno, de edad holocena y el Complejo Detrítico Inferior (CDI) de edad pleistocena (Marqués, 1984). El CDI está bien definido cuando, sobre él, existen las facies del prodelta holoceno; pero está poco definido en los márgenes del delta, cuando las facies de prodelta holoceno han sido remplazadas por facies costeras holocenas. El CDI corresponde a sedimentos fluviales, de pie de monte, de marisma y lagunares, caracterizados por litologías muy variadas de conglomerados (con o sin matriz arcillosa) a arenas y limos, así como antiguos suelos (Marqués, 1984). Hacia mar (Fig. 2), en la zona sumergida, el CDI se correlaciona con complejos deltaicos pleistocenos sumergidos que, asimismo, pueden contener subunidades separadas por truncaciones (Maldonado et al., 1986).

En la plataforma marina se han identificado cuatro deltas pleistocenos (Maldonado et al., 1986, 1989) pero una revisión preliminar de la sísmica del mar sugiere un sistema más complejo y posiblemente con un número mayor de deltas



**Fig. 3.- Modelo conceptual de los sistemas encajados del Complejo Detrítico Inferior en el delta emergido y distribución de facies del Complejo Detrítico Superior e Inferior. Los cortes (I-VI) son paralelos a la línea de costa (ver diagrama arriba a la izquierda). Las letras A-D se refieren a los paleocauces citados en el texto.**

*Fig. 3.- Conceptual model and facies distribution for the emerged part of the Llobregat delta. The cross sections (I-VI) are parallel to the shoreline (insert map). A-D corresponds to paleochannels.*

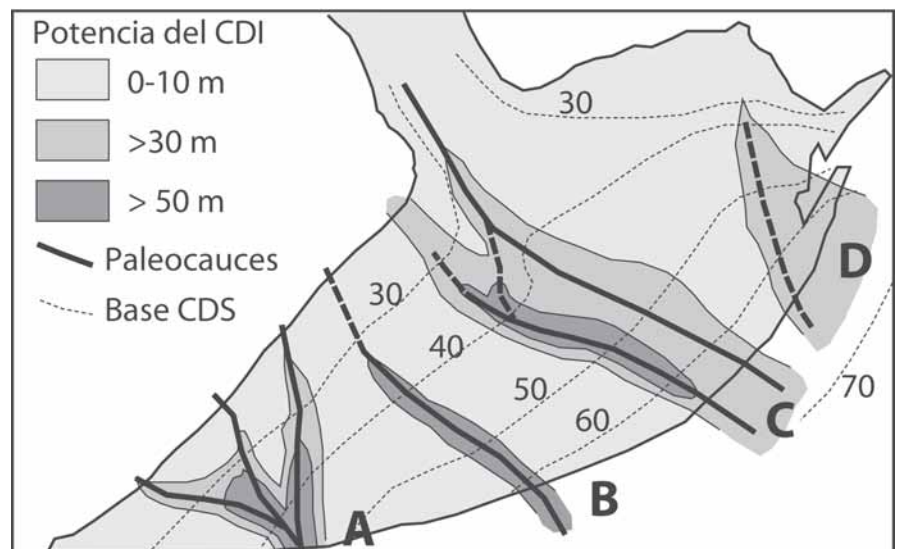
sumergidos. De forma resumida se puede concluir que, durante el Pleistoceno, el río Llobregat construyó un sistema de deltas que progradaron y retrogradaron sobre una plataforma marina estrecha y un talud controlado por fallas normales y con cañones encajados. La figura 2 muestra la correlación entre el delta emergido y sumergido. Como se puede apreciar, el CDI corresponde a la parte proximal de los deltas sumergidos y refleja la complejidad interna de los sistemas encadenados de deltas formados cuando el nivel de mar bajaba.

La revisión de los datos del delta emergido ha permitido identificar en el CDI tres unidades litoestratigráficas granodecrescentes con bases erosivas rellenas de conglomerados y gravas, que pasan hacia techo a arcillas (algunas con fauna salobre y marina) con niveles de arenas y algún canto. Las figuras 3 y 4 muestran, en corte y planta, que el CDI está formado por una serie de conductos de sedimentos o paleovalles de granulometría gruesa interpretados como paleocanales en los que se amalgaman sucesivamente sistemas fluviales encajados durante los estadios de nivel del mar bajo del Pleistoceno. Estos materiales evolucionan verticalmente a sedimentos más finos, depositados cuando el nivel del mar subía, pero están mal preservados al ser erosionados durante las bajadas del nivel del mar.

En las figuras 3 y 4 se puede apreciar la importancia de las rieras procedentes de Garraf y de Collserola (Fig. 1). Los paleocanales de gravas A, B y D parecen estar asociados a descargas fluviales con granulometría gruesa que contribuyen a la arquitectura de

facies del CDI pero no es clara su contribución con sedimentos finos a los deltas pleistocenos. La extensión lateral, especialmente hacia los márgenes del delta, de los depósitos del CDI es compleja debido a la presencia de fallas que rompen su continuidad y, posiblemente, condicionaron la posición de los paleocanales. Por ejemplo, el paleocanal C parece seguir la trayectoria de la falla del Llobregat (Figs. 1 y 4) y, en el margen de Montjuic, se observa como el bloque mioceno, limitado por fallas, condiciona la distribución y potencia del CDI (Fig. 3).

El delta holoceno corresponde a un conjunto de arcilla rojas, arenas y gravas progradantes sobre limos y arcillas gris-oscuro. En su conjunto, estas unidades están genéticamente relacionadas (llanura deltaica, frente deltaico y prodelta) y fueron depositadas cuando el nivel del mar empezó a estabilizarse y los sedimentos transportados por el Llobregat empezaron a acumularse en su desembocadura y migrar hacia mar sobre los depósitos del CDI (ver trabajo de Gàmez *et al.*, este volumen). Hacia los márgenes, el delta holoceno está encajado en glaciares de gravas de edad pleistocena y ocasionalmente descansa directamente en el Plioceno, Mioceno, o Mesozoico. La facies de prodelta cambia lateralmente, hacia el NE, a arenas gruesas de playa, que se interpretan como una flecha de arenas producida por la deriva litoral (Fig. 1). Facies de pie de monte se han observado en los laterales del delta holoceno, cerca del Macizo de Garraf. En algunos cortes de detalle se ha observado



**Fig. 4.- Mapa de la distribución y potencia de los sistemas encajados del Complejo Detrítico Inferior. Se observan cuatro paleocanales (A-D) donde se han acumulado gravas y arenas durante varios cambios eustáticos (Figura 3). La potencia indicada es acumulativa de todos los canales identificados en el CDI. Por referencia se da la profundidad, por debajo del nivel del mar, de la base del Complejo Detrítico Superior.**

*Fig. 4.- Facies distribution and thicknesses of the «Complejo Detrítico Inferior». For reference is given the base of the «Complejo Detrítico Superior» and the thickness is cumulative of all the coarse grained deposits.*



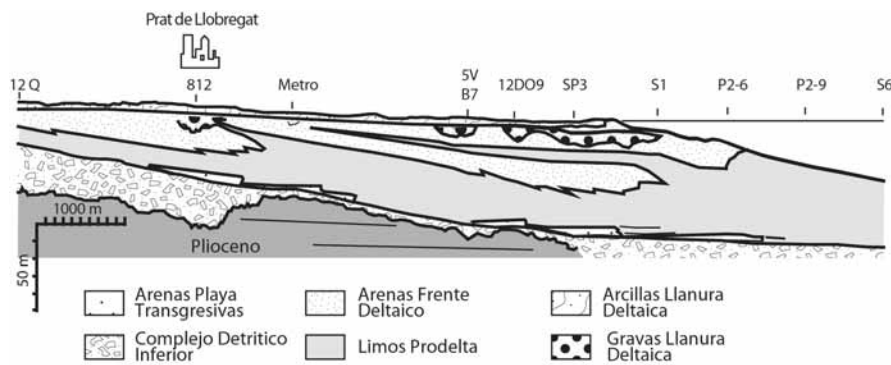


Fig.- 5 Corte geológico del delta holoceno en la zona de la depuradora mostrando la complejidad estratigráfica de las unidades progradantes.

Fig.- 5 Geologic cross section of the Holocene Delta showing sandstone wedges separated by prodelta deposits suggesting progradation pulses.

que la progradación ha sido en pulsos con periodos de rápida progradación seguida de retrogradación (Fig. 5) posiblemente debido a cambios en la tasa de sedimentación (ver Gàmez *et al.*, este volumen).

**Conclusiones**

El río Llobregat y sus depósitos deltaicos cuaternarios, han respondido a cambios eustáticos con subidas rápidas seguidas de bajadas escalonadas del nivel del mar. El delta holoceno (Q4, CDS) representa el mejor ejemplo de un sistema encadenado del nivel del mar alto con pulsos de sedimentación representados por cuñas de progradación. Por el contrario, los deltas pleistocenos (Q3-1) preservan de forma espectacular un sistema encadenado de deltas formados cuando el nivel de mar bajaba; a medida que el nivel de mar bajaba, el río canalizaba el sistema encadenado de alto nivel del mar y construía un delta a una cota mas baja. El resultado es una preservación selectiva de los sistemas encadenados regresivos y la erosión de los sistemas encadenados de nivel del mar alto. Se han reconocido un mínimo de cuatro secuencias deposicionales que, asimismo, se pueden subdividir en subunidades. Estas responden a la dinámica de subidas y bajadas escalonadas del nivel del mar y de variaciones del aporte de sedimentos.

Los deltas sumergidos parecen haber sido alimentados por el río Llobregat y también por las rieras procedentes del Macizo de Garraf y de la Sierra de Collserola que contribuyeron de forma significativa a la estratigrafía del CDI. No está clara la contribución de estas rieras con sedimentos finos a los deltas sumergidos. Es posible que la deriva litoral suavizase la presencia de múltiples lóbulos deltaicos. Los paleocanales de gravas, reconocidos en el CDI, posiblemente representan

paleocauces excavados durante las bajadas del nivel del mar y rellenados durante las transgresiones. Numerosas fallas afectan el CDI pero están fosilizadas por los sedimentos prodeltaicos holocenos.

La complejidad de las geometrías deposicionales y la presencia de fallas hacen que la continuidad lateral de los cuerpos sedimentarios del CDI, en todas las direcciones, sea discontinua. El uso del CDI como acuífero se ha de plantear como un sistema de cuerpos potencialmente con baja conectividad y con transmisividades variables.

El delta holoceno contiene una base transgresiva, discontinua y poco potente, que representa condensación de tiempo durante una subida rápida y escalonada del nivel del mar. El techo regresivo es potente y responde a la progradación deltaica con pulsos de alta y baja sedimentación debido a la disminución relativa en la subida del nivel del mar (Gàmez *et al.*, este volumen).

**Agradecimientos**

Se agradece la contribución económica de la Agència Catalana de l'Aigua. Departament de Medi Ambient i Habitatge. Generalitat de Catalunya, AENA, Gestió d'Infraestructures S.A. Generalitat de Catalunya, y SALTRANS: Methods for assessing salt intrusion and transport in heterogeneous and fractured aquifers (UE-EVK1-2000-00692) así como el acceso a cajas de sondeos de la Depuradora de Aguas del Prat de Llobregat.

**Referencias**

Alcalá-García F.J., Miró, J., Rodríguez, P., Rojas-Martín I. y Martín-Martín M. (2003). *Geo-Temas*. 5; 23-26.  
 Almera, J. (1891). *Mapa geológico-topográfico de la provincia de Barcelona*.

*Región I o de contornos de la capital, con la explicación somera en la misma hoja*. 1:40.000. 1ª ed., Barcelona.  
 Bayó, A., Batista, E. y Custodio E. (1976). *II Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica*. Barcelona. Instituto Geográfico y Catastral. Madrid. 2103-2129.  
 Bayó, A., Batista, E. y Custodio E. (1977). *General Assembly IAH*. Birmingham. Vol. XIII.1, F.1-14.  
 Chiocci F.L., Ercilla G. y Torres J. (1997). *Sedimentary Geology*, 112, 195-217.  
 Custodio, E., Cacho, F. y Peláez, M.D. (1976). *Actas de la II Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica*. Instituto Geográfico y Catastral. Madrid, 2069-2101.  
 Font, J., Julia, A.; Rovira, J.; Salat, J. y Sanchez-Pardo, J. (1987). *Acta Geologica Hispanica*, 21-22, 483-489.  
 Gàmez, D., J.A. Simó, E. Vázquez-Suñé, J.M. Salvany, J. Carrera. (este volumen).  
 Llopis Llado, N. (1942). *Estudios Geográficos*, 321-383.  
 Llopis Llado, N. (1946). *Estudios Geológicos*, II, 181-236.  
 Maldonado, A., Alonso, B., Diaz, J.I., Ferran, M., Vazquez, A, Saonz-Amor, E. (1986). *Memoria y hoja 41-42 (Tortosa-Tarragona) del Mapa geológico de la Plataforma Continental española y zonas adyacentes*. Madrid.  
 Maldonado, A., Diaz, J.I., Escutia, C., Ferran, M., Giro, S., Serra, M. (1989). *Memoria y hoja 35-42I (Barcelona) del Mapa geológico de la Plataforma Continental española y zonas adyacentes*. Madrid.  
 Manzano, M. (1986). *Estudio sedimentológico del prodelta holoceno del Llobregat*. Tesis de Licenciatura, Univ. de Barcelona, 82 p.  
 Manzano, M. (1991). *CIHS. Hidrogeología, Estado Actual y Prospectiva. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería*. Barcelona (inédita).  
 Marqués, M.A. (1984). *Les formacions quaternàries del delta del Llobregat*. Institut d'Estudis Catalans, Barcelona. 208 p.  
 MOP (1966). *Estudio de los recursos hidráulicos totales de las cuencas de los ríos Besós y Bajo Llobregat*. CAPO-SGOP. 4 vol., Barcelona.  
 Solé Sabaris, L., Virgili, C. y Zamarrero I. (1957). *Livret guide d'excursions: Environs de Barcelone et Montserrat*. V Congress Inter. INQUA, 38 p. Barcelona.  
 Solé Sabaris, L. (1963). *Miscelania Barcilonensia*, II, 7-54.