

ESTRATIGRAFÍA Y PETROLOGÍA DEL SUBSUELO PRECUATERNARIO DEL SECTOR SW DE LA DEPRESIÓN DE BARCELONA (CADENAS COSTERAS CATALANAS, NE DE IBERIA)

D. Parcerisa ¹, D. Gámez ^{2,5}, D. Gómez-Gras ³, J. Usera ⁴, J.A. Simó ⁵, J. Carrera ⁶

¹ Departament d'Enginyeria Minera i Recursos Naturals (EPSEM). Universitat Politècnica de Catalunya, Av. Bases de Manresa 61-73, 08242 Manresa. dparcerisa@emrn.upc.edu

² Institut Geomodels -Dep. Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica. Universitat Politècnica de Catalunya, Campus Nord. Edifici D2. C. Jordi Girona, 1-3. 08034 Barcelona. desire.gomez@live.com

³ Unitat de Petrologia. Departament de Geologia. Universitat Autònoma de Barcelona, Campus UAB, 08193 Bellaterra, Barcelona. david.gomez@uab.cat

⁴ Departament de Geologia, Facultat de Ciències Biològiques, Edifici A, Campus de Burjassot, C/ Dr. Moliner, 50, 46100 Burjassot (València).

⁵ ExxonMobil Upstream Research Company. Houston, TX, USA.

⁶ Institut de Ciències de la Terra «Jaume Almera»-CSIC. C/ Lluís Solé Sabarís s/n, 08028 Barcelona.

Resumen: Las numerosas obras de Ingeniería Civil que se han realizado en los últimos años en la depresión de Barcelona (ampliación del aeropuerto, ampliación del metro y AVE fundamentalmente) han permitido recabar mucha información sobre el subsuelo de esta área. En este trabajo se caracterizan las distintas unidades de subsuelo precuaternarias que aparecen en los numerosos sondeos realizados recientemente en la zona SW de la depresión de Barcelona. Se ha identificado un sustrato triásico formado por areniscas del *Buntsandstein* y dos unidades de edad Miocena, una basal de carácter continental y otra superior depositada en un ambiente marino. Todas estas unidades fueron fracturadas debido a una tectónica extensiva y, posteriormente, fueron fosilizadas en primer lugar por los sedimentos del Plioceno, que recubren la superficie de erosión messiniense, y finalmente, por el Cuaternario. El análisis de las distintas unidades permite obtener datos sobre la evolución paleogeográfica y tectónica de la depresión de Barcelona durante el Mioceno y el Plioceno.

Palabras clave: Depresión de Barcelona, Mioceno, paleogeografía, Cadenas Costeras Catalanas

Abstract: Current building of civil Engineering infrastructures in the Barcelona plain and Llobregat delta (mainly metro and airport extension and high speed train) is providing new geological subsurface data to build better geologic models and understand the basin evolution. This work focuses on the pre-Quaternary units observed in cores. Based on petrographic analyses combined when it was possible with paleontological studies, we identified the lower Triassic *Buntsandstein* sandstone facies and Miocene continental and marine facies which appear compartmentalized due to extensive deformation. After this extensive episode, Pliocene and Quaternary sediments, which were deposited after the development of successive erosive surfaces, overlay the Triassic and Miocene units. The identification of these units enabled one to improve the interpretation of the tectonic and paleogeographic evolution of the Barcelona plain.

Key words: Barcelona plain, Miocene, palaeogeography, Catalan Coastal Ranges

Parcerisa, D., Gámez, D., Gómez-Gras, D., Usera, J., Simó, J.A., Carrera, J. (2008): Estratigrafía y petrología del subsuelo precuaternario del sector SW de la depresión de Barcelona (Cadenas costeras catalanas, NE de Iberia). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 21 (3-4): 93-109

En los últimos años la geología de la depresión neógena-cuaternaria de Barcelona ha sido objeto de especial atención debido a las numerosas obras de gran envergadura que la han atravesado. Evidentemente, el interés por la geología de la depresión de Barcelona no es reciente puesto que ha sido motivo de numerosos estudios desde finales del siglo XIX y principios del XX (Almera, 1891b; Llopis, 1942a, 1946; Solé-Sabarís et al., 1957; Solé-Sabarís, 1963). En lo que se refiere a la geología del subsuelo, ésta se empezó a establecer hacia los años 60 (MOP, 1966; Llamas y Molist, 1967).

Más recientemente se han publicado estudios en detalle que han avanzado sensiblemente en la descripción de aspectos sedimentológicos, paleontológicos, geoquímicos e hidrogeológicos del subsuelo de la zona (Custodio et al., 1976; Bayó et al., 1976 y 1977; Candela et al., 1980; Custodio y Queralt, 1981; Subirana, 1983; Serra y Verdaguer, 1983; Custodio y Llamas, 1983; Domènech et al., 1983; Marqués, 1984; Manzano et al., 1986-1987 y Manzano, 1993). Estos estudios siempre se han centrado en los sedimentos cuaternarios de los deltas del Besós y del Llobregat, ya

que sus acuíferos cuaternarios abastecen de agua el área metropolitana de Barcelona. Respecto al subsuelo precuaternario, Almera (1894) denomina al sustrato infrayacente del Cuaternario «*fetge de vaca*» debido a su carácter arcilloso y su color grisáceo, atribuyéndole una edad pliocena (Magné, 1978). El análisis de los sondeos realizados a tenor de las obras ejecutadas en estos últimos años en la depresión de Barcelona ha permitido avanzar en el conocimiento de su subsuelo precuaternario. El presente artículo se centra esencialmente en la caracterización del sustrato infrayacente al Cuaternario en el margen izquierdo del Llobregat. Para ello se presenta el resultado del análisis de diversos sondeos que atraviesan totalmente el Cuaternario. También se individualizan y describen las facies y la petrología de las distintas unidades litostratigráficas con una doble finalidad: por un lado, aportar nuevos datos para la comprensión de la geometría de las estructuras de subsuelo de la depresión de Barcelona y, por otro lado, establecer su evolución paleogeográfica durante el Cenozoico.

Metodología

Para la realización de este estudio se han correlacionado estratigráficamente 133 sondeos realizados en el margen izquierdo del río Llobregat (Fig. 1). Se han descrito en detalle 33 sondeos y tomado muestras de 17 de ellos. Se han realizado 25 láminas delgadas de 11 sondeos diferentes. Se ha efectuado difracción de Rayos X en 33 muestras en los laboratorios del Centre de Géosciences de l'École Nationale Supérieure des Mines de Paris. Asimismo se han analizado 33 muestras de agregados orientados para la determinación de los minerales de la arcilla. La separación de los minerales de la arcilla ha sido realizada por métodos de suspensión.

Cinco muestras de arenas, arenas limosas y margas precuaternarias marinas de cuatro sondeos (SIT-4, SIT-16bis 2, SRB-2, I2+580; Fig. 1) fueron seleccionadas para la determinación de la edad mediante la identificación de microforaminíferos. La preparación de la muestra consistió en la disgregación de los sedimentos mediante agua destilada. Una vez seca la muestra, se tamizaron 10 gr con mallas de 0.5, 0.2 y 0.062 mm de diámetro. Este tipo de tratamiento permite conservar la mayoría de individuos que son más frágiles, como los foraminíferos calcáreos, y también retener los especímenes más pequeños.

Contexto Geológico

La depresión de Barcelona constituye una zona de transición entre los horsts de Garraf, Collserola y Montnegre al NW y el graben de Barcelona al SE. El límite con dichas estructuras lo constituyen sendas fallas normales: la falla de Tibidabo al NW tiene un salto hectométrico y separa los horsts de Garraf, Collserola y Montnegre de la depresión de Barcelona;

la falla de Barcelona al SE tiene un salto de unos 6 km y separa la depresión de Barcelona del semigraben de Barcelona (Llopis 1942b). La estructura geológica de la depresión de Barcelona es relativamente compleja, puesto que está formada por diversas unidades tectónicas menores afectadas por fallas normales con saltos decamétricos (fallas dels Turons y del Morrot). Todo este conjunto de fallas tiene una orientación general NE-SW (Llopis, 1942b; Solé-Sabarís, 1963; Medialdea-Vega y Solé-Sabarís, 1973; Alonso *et al.*, 1977; Roca y Casas, 1981; Lázaro, 2001). Desde el alto de Collserola hasta el mar Mediterráneo se distinguen las siguientes unidades: 1) Las depresiones de Sarriá y Vall d'Hebron (Llopis, 1942b) se sitúan al pie del alto de Collserola y están controladas por la falla de Tibidabo. Estas dos depresiones rellenas por sedimentos cuaternarios están separadas del resto de la depresión de Barcelona por el bloque basculado dels Turons; 2) El bloque basculado dels Turons (Monteroles, Putxet, Vallcarca, Carmel) está formado esencialmente por metapelitas y cuarcitas del Ordovícico y del Silúrico y por rocas carbonáticas de edad silúrico-devónica; 3) La depresión de Barcelona *sensu stricto* está limitada por la falla dels Turons al NW y por la falla de Barcelona al SE (Llopis, 1942b; Roca y Casas, 1981). Esta depresión ha sido rellenada inicialmente por sedimentos miocenos y su relleno final lo constituyen sedimentos marinos y transicionales del Plioceno y depósitos continentales del Cuaternario (Almera, 1894; Llopis, 1942b; Solé-Sabarís, 1963; Marqués, 1975; Alonso *et al.*, 1977; Roca y Casas, 1981; Casassas y Riba, 1992); 4) El bloque basculado de Montjuïc está delimitado al SE por la falla del Morrot y al N por una falla menor orientada E-W (Llopis, 1942a; Roca y Casas, 1981), este bloque está constituido por materiales deltaicos de edad Mioceno medio (Villalta y Rosell, 1965; Gomez-Gras *et al.* 2001; Parcerisa 1999 y 2002).

El relleno cuaternario de la depresión de Barcelona está ligado a la evolución del delta del Llobregat e integra dos unidades geomorfológicas, la depresión alta y la depresión baja, las cuáles están separadas por un escarpe (Casassas y Riba 1992; Fig. 1). La depresión alta consiste en depósitos intercalados de limos rojos, arcillas grises y amarillas, gravas poco seleccionadas con clastos sub-angulosos (derivados de la erosión del Paleozoico de Collserola), arenas finas bien seleccionadas y horizontes bien desarrollados de páleosuelos y costras carbonatadas (Casassas y Riba, 1992). Estos depósitos se interpretan como facies de abanicos aluviales y su arquitectura está controlada por los ciclos glacioeustáticos del Pleistoceno. Esta unidad descansa discordantemente encima de materiales Paleozoicos a Pliocenos y presenta una potencia irregular (inferior a 20 m). Probablemente el relleno aluvial fue controlado por fallas activas durante el Cuaternario (Ventayol *et al.*, 2002; Perea, 2006).

La depresión baja es la formada por los actuales deltas del Llobregat y del Besòs (Fig. 1). La geología

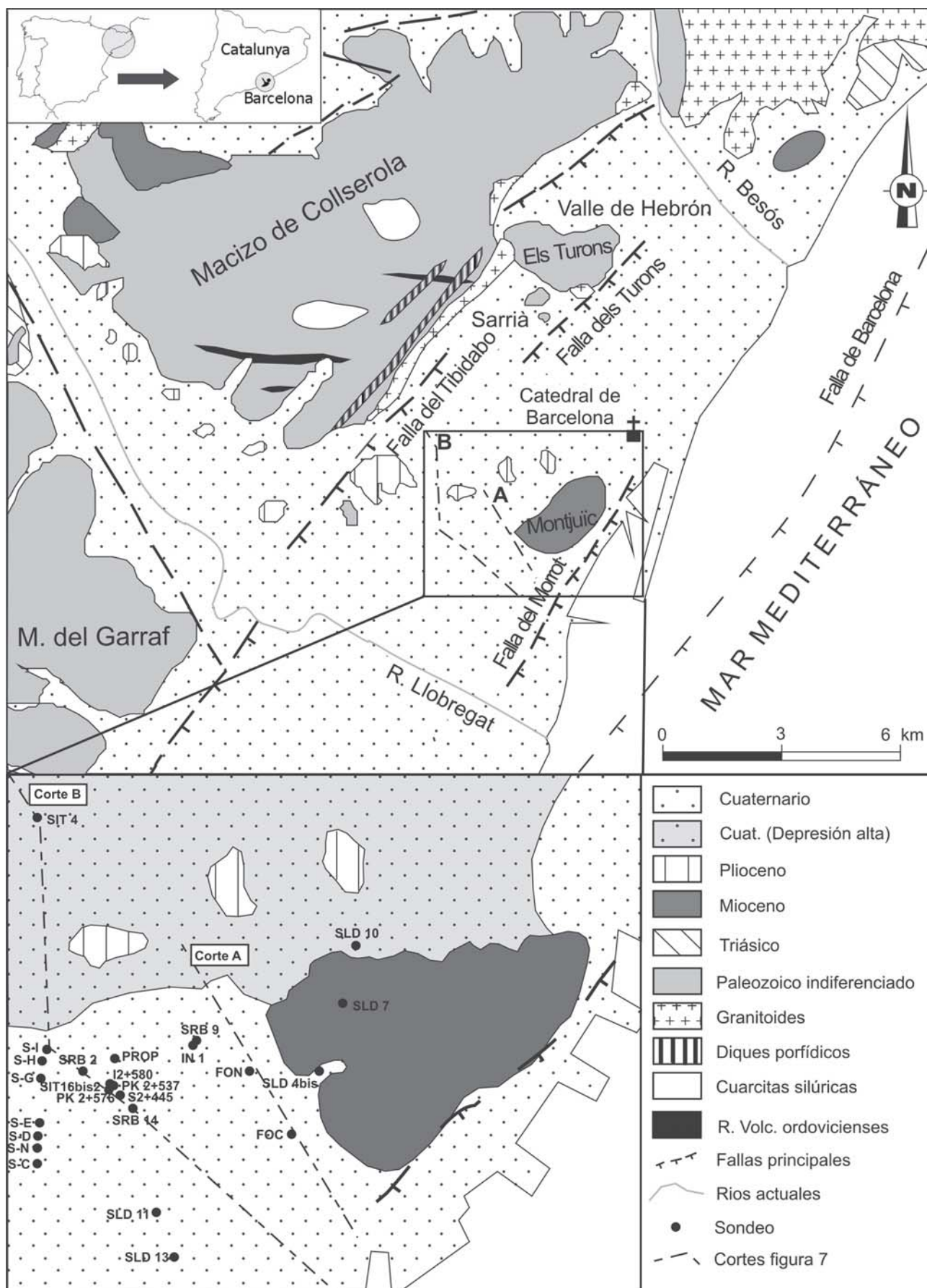


Figura 1.- Situación geográfica y geológica del área de estudio. En símbolos se muestra la localización de los sondeos utilizados en el presente trabajo. También se indica la posición de los cortes A y B de la figura 7.

superficial del delta se empezó a estudiar a finales del siglo XIX por Almera (1891b), Llopis (1942a, 1946), Solé-Sabarís *et al.* (1957) y Solé-Sabarís (1963). La *Comisaria d'Aigües del Prepirineu Oriental* fue la primera en describir las unidades hidrogeológicas en la llanura deltaica (MOP, 1966). Marqués (1984) estableció dos complejos detríticos cuaternarios en el

delta del Llobregat basados en análisis litológicos y faunísticos: el Complejo Deltaico de edad holocena y el Complejo Detrítico Inferior de edad pleistocena. Estudios posteriores a partir de perfiles sísmicos realizados a mar permitieron reconocer 4 unidades deltaicas (Medialdea *et al.*, 1986; Medialdea *et al.*, 1989). Las tres unidades más antiguas se correlacionan



Figura 2. Testigos de sondeos con las distintas unidades identificadas en este estudio. La longitud de las cajas es de 60 cm. A) Unidad de Areniscas Rojas del *Buntsandstein* (Tr), destacan los cantos de cuarzo de color blanco. Sondeo S2+445 de 18 a 20.4 m. B) Unidad de Brechas y Arcillas Rojas del Mioceno Inferior (Mi-1a). Sondeo IN-1 de 48 a 51 m. C) Unidad de Brechas y Arcillas Ocre y Blancas del Mioceno Inferior (Mi-1b). Sondeo SIT-4 de 31 a 33 m. D) Unidad de Arenas y Limos Ocre y Blancos del Mioceno Medio (Mi-2a), en la parte inferior derecha se observa el contacto con el *Buntsandstein*. Sondeo SRB-14 de 48 a 51 m. E) Unidad de Arenas y Limos Marrones del Mioceno Medio (Mi-2b). Sondeo SIT-4 de 25 a 28 m. F) Unidad de Limos y Arcillas Amarillas y Grises del Plioceno (Pl). Sondeo PK2+621 de 30 a 33 m.

con el Complejo Detrítico Inferior descrito en la llanura deltaica (Simó et al., 2005; Gàmez, 2007) y la unidad sísmica más moderna se relaciona con el Complejo Deltaico de edad holocena (Medialdea et al., 1986; Checa et al., 1988; Medialdea et al., 1989).

Estratigrafía y petrología de los sondeos

Los sondeos analizados en este trabajo han sido realizados en diferentes áreas del delta del Llobregat (Fig. 1). La parte más superficial del sondeo corresponde siempre a los materiales cuaternarios del delta actual. Por debajo de estos depósitos, se han identificado desde el punto de vista litoestratigráfico 5 unidades diferentes.

Unidad de Dolomicritas (zócalo silúrico-devónico; Pz)

Las dolomicritas aparecen como la parte basal del sondeo SIT-4 (Fig. 1). Estas dolomicritas pueden presentar algún fragmento de crinoideo y están muy fracturadas, el relleno de las fracturas suele ser de óxidos de hierro o de calcita. Esta formación tiene una potencia de más de 21 m y se halla entre 40 y 62 m de profundidad respecto a la superficie. Esta unidad forma parte del zócalo paleozoico y se correlaciona con las rocas carbonáticas silúrico-devónicas que afloran en el bloque basculado dels Turons (Almera, 1891a; Julivert et al. 1985; Tait et al. 2000). El zócalo paleozoico es muy diverso y su caracterización no es el objeto de este estudio.

Unidad de Areniscas Rojas del Buntsandstein (sustrato triásico inferior; Tr)

Estos materiales se hallan en el área de Amadeu Torner en la Zona Franca y siempre se encuentran en la parte más profunda de los sondeos pk2+537, pk2+576, SRB-14 y S2+445, SIT-16 bis2 y I2+580 (Fig. 1). La Unidad de Areniscas Rojas, como indica su nombre, está formada por areniscas rojas bien cementadas. Esta formación puede llegar a tener más de 23 m de potencia preservada y el techo de la unidad se ha detectado a profundidades de 18 a 46 m por debajo del nivel del mar sin haber llegado a su base. Litológicamente, está formada por ciclos granodecrecientes de conglomerados con cantos de cuarzo y areniscas gruesas a medias con estratificación cruzada (Fig. 2a). Esta formación puede presentar numerosas fracturas que pueden estar rellenas de arcilla roja o bien de cemento de cuarzo. En uno de los sondeos (S2+445, Fig. 1) se preservan marcas de exposición subaérea en el techo de esta formación en forma de marcas poligonales en las paredes de las fracturas producto de la calcificación de raíces de plantas.

Petroológicamente, las areniscas y conglomerados están moderadamente seleccionados, son cuarzoarenitas/cuarzoruditas formadas casi exclusivamente por clastos de cuarzo subangulosos a

subredondeados que presentan sobrecrecimientos de cuarzo marcados por un *pore-lining* ferruginoso. Los contactos entre granos son cóncavo-convexos y aún queda preservada parte de la porosidad primaria intersticial (Fig. 3).

El análisis semicuantitativo de Rayos X en muestra total y en agregados orientados indica un alto porcentaje de cuarzo (90%). El resto de componentes de la roca son minerales de la arcilla, esencialmente esmectita e illita con pequeñas cantidades de caolinita (Fig. 4).

La fuerte compactación química en los contactos entre los granos de cuarzo, indica que estas areniscas han sido enterradas varios centenares de metros en algún momento de su historia geológica. Este hecho, conjuntamente con las características estratigráficas y petrológicas (Gómez-Gras, 1993) permite sugerir que esta unidad corresponde al *Buntsandstein*.

Unidad de Brechas y Arcillas Rojas del Mioceno Inferior (Mi-1a)

Esta unidad se halla en el área de Plaza Cerda-Foneria en la Zona Franca y se encuentra en la parte más profunda de los sondeos SRB-9, IN-1, FON (Fig. 1). La Unidad de Brechas y Arcillas Rojas se caracteriza por la presencia de una formación de brechas, limos y arcillas rojas sin cementar. Esta formación puede tener más de 27 m de potencia y su techo aparece a profundidades de entre 43 a 52 m por debajo del nivel del mar sin haberse llegado a la base de la formación. Litológicamente la base de esta formación se caracteriza por la presencia de secuencias granodecrecientes de entre 1 y 2 m de potencia; estas secuencias presentan la base erosiva y empiezan con brechas formadas por una matriz roja arcillosa y cantos metamórficos de algunos centímetros de diámetro (Fig. 2b); el diámetro de los cantos disminuye progresivamente y la proporción de arcilla roja aumenta hasta que, a techo de las secuencias, dominan las arcillas rojas con algún canto aislado. En algunas partes de los sondeos estas secuencias están incompletas y se amalgaman formando estratos de varios metros de potencia. En algunas zonas los últimos 13 m de esta formación están compuestos por arcillas de color rojo, marrón o gris con algún nivel rico en microfauna y alguna intercalación de limos y areniscas. Actualmente se están procesando varias muestras de estas arcillas para intentar realizar su datación mediante micromamíferos.

Petroológicamente, los sedimentos arenosos y conglomeráticos son inmaduros presentando una mala selección con cantos subangulares envueltos en una matriz arcillo-ferruginosa. El esqueleto está formado por fragmentos de roca metamórfica, cuarzo (que a veces procede del *Buntsandstein* ya que tiene sobrecrecimientos de cuarzo heredados) chert y se puede clasificar como litoarenita/litorudita (Fig. 3). Localmente estos sedimentos aparecen cementados por calcita.

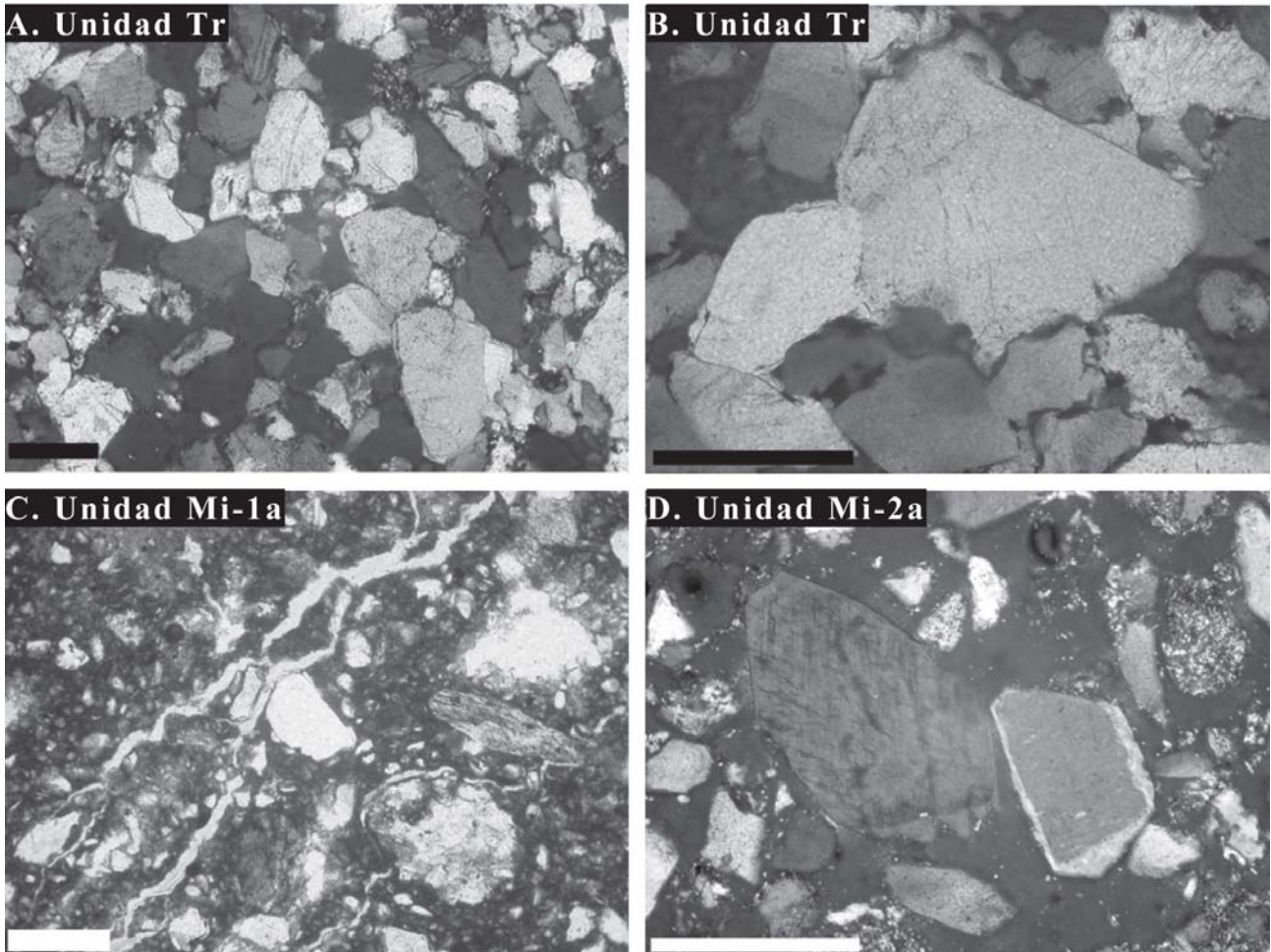


Figura 3.- A) Cuarzoarenita de la Unidad de Areniscas Rojas del *Buntsandstein* (Tr). Escala 500 micras. Nícoles cruzados. B) Contactos cóncavo-convexos y cementos de cuarzo syntaxiales asociados a la Unidad de Areniscas Rojas del *Buntsandstein*. Escala 250 micras. Nícoles cruzados. C) Aspecto general de la Unidad de Brechas y Arcillas Rojas del Mioceno inferior (Mi-1a), se observa la matriz arcillosa y diversos granos de cuarzo con cementos syntaxiales heredados (centro) y un fragmento de roca metamórfica. Escala 500 micras. Nícoles paralelos. D) Unidad de Arenas y Limos Ocre y Blancos del Mioceno medio (Mi-2a) con feldespatos que presentan cementos syntaxiales aunque la cementación general de la roca es escasa. Escala 250 micras. Nícoles cruzados.

El cuarzo (30 a 50%) es el mineral más importante en los análisis de Rayos X en muestra total; además, también hay minerales de la arcilla (35 a 40%) y cantidades variables de calcita (0 a 35%) y hematites (0 a 5%). La illita (80%) es el mineral de la arcilla característico de esta unidad, acompañada de un 20% de caolinita (Fig. 4).

La datación de esta unidad es relativa, ya que está fosilizada por los sedimentos deltaicos del Mioceno medio.

Unidad de Brechas y Arcillas Ocre del Mioceno Inferior (Mi-1b)

Estos materiales yacen en el norte del área (Collserola) y se encuentran en la parte más profunda de los sondeos (SIT-4). Se caracterizan por una potente formación de brechas con matriz arcillosa de color ocre a rojo (Fig. 2c). Esta formación puede llegar a tener más de 39 m de potencia y se encuentra a profundidades de entre 26 y 65 m respecto a la superficie. Litológicamente, esta constituida por

capas métricas de brechas masivas donde dominan los cantos de fragmentos de roca metamórfica con algún canto aislado de granitoide. La granulometría varía entre las diferentes capas desde brechas pudiéndose encontrar capas donde dominan los cantos de 3 a 5 cm de diámetro hasta capas de arena gruesa a media.

Petrológicamente, los sedimentos arenosos y conglomeráticos son inmaduros presentando una mala selección con cantos subangulares envueltos en una matriz arcillosa, a veces arcillo-ferruginosa. El esqueleto está formado sobretudo por fragmentos de roca metamórfica con algún clasto de dolomicrita, cuarzo y de feldespato potásico y se puede clasificar como litoarenita/litorudita.

Al igual que la anterior, esta unidad está por debajo de los materiales del Mioceno medio. Las características observadas en Mi-1a y Mi-1b permiten proponer que ambas unidades son contemporáneas. Por similitud con el relleno de la depresión del Vallés-Penedés (Cabrera, 1979; Cabrera, 1981a y 1981b; Parcerisa 2002) se propone

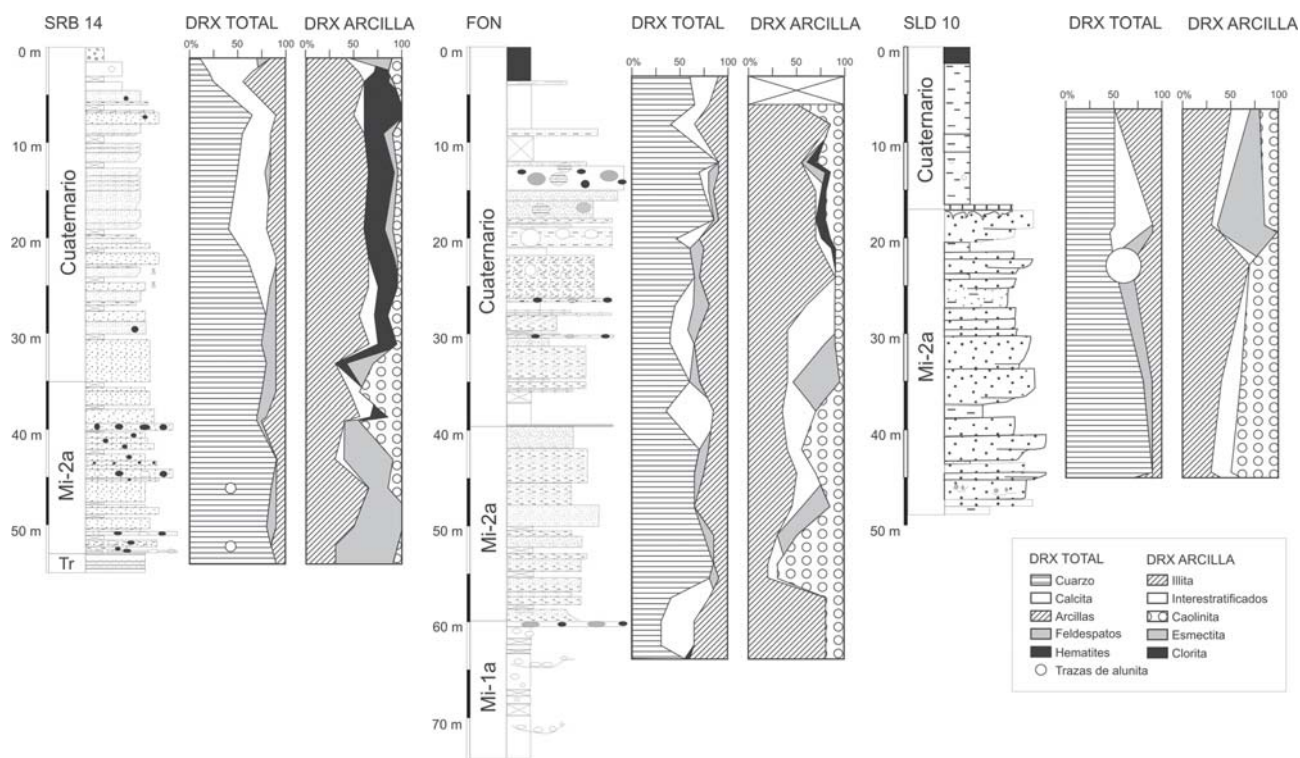


Figura 4.- Composición mineralógica total y de los minerales de la arcilla de las distintas unidades en tres sondeos diferentes. El análisis semicuantitativo se ha realizado a partir de diagramas de Rayos X totales y de agregados orientados. Ver situación de los sondeos en las figuras 1 y 6.

una edad Mioceno inferior para estas dos unidades, que, en realidad se pueden tratar como una sola unidad (Unidad de Brechas y Arcillas del Mioceno inferior; Mi-1).

Unidad de Arenas y Limos Ocre y Blancos del Mioceno Medio (Mi-2a)

Esta unidad aparece fosilizando las anteriores (Tr y Mi-1a) y compone el sustrato más extenso del margen este del delta del Llobregat. Esta unidad se ha reconocido en los sondeos FOC, SLD-10, SLD-7, SLD-4 bis, pk2+537, pk2+576, SRB-14 y S2+445, SIT-16 bis 2 y I2+580 (Fig. 1). Se caracteriza por la presencia de arenas y limos con cementación variable y matriz arcillosa de color blanco a ocre (Fig. 2d). La potencia máxima de la formación de arenas y limos con matriz blanca a ocre es de 40 m aunque puede tener solo 5 m, el techo de la unidad aparece entre 56 y 30 m por debajo del nivel del mar. Litológicamente, esta formada por capas de 1 a 5 m de arenas bien seleccionadas con alguna intercalación centimétrica a decimétrica de gravas y limos.

Petrológicamente, las arenas son submaduras con una selección buena a moderada, clastos subredondeados a redondeados y, a veces, presencia de matriz arcillosa (Fig. 3). El esqueleto está formado por cuarzo, feldespato potásico, fragmentos de roca metamórfica y, como accesorios, fragmentos de bivalvos y gasterópodos, plagioclasa, mica y epidota. Se puede clasificar entre subarcosa y sublitoarenita. La cementación es variable tanto dentro de un

mismo sondeo (en los sondeos SLD 7 y 10 la cementación se pierde en profundidad; Fig. 1) como arealmente, de manera que hay zonas donde esta unidad no está cementada (zona adyacente a los sondeos IN-1 y FON; Fig. 1) y otras fuertemente cementadas (zona adyacente a los sondeos Pk2+576 y SIT-16 bis 2; Fig. 1). Los principales cementos son los sobrecrecimientos de feldespato potásico, diagnósticos de esta unidad y los sobrecrecimientos de cuarzo. Localmente también se han observado cementaciones de nódulos centimétricos de calcita.

Des del punto de vista mineralógico esta unidad se caracteriza por la presencia de cantidades elevadas de cuarzo (>50%), juntamente con minerales de la arcilla (10 a 30%), feldespato potásico (0 a 15%) y, de forma localizada, calcita y trazas de alunita (Fig. 4). Los minerales de la arcilla característicos de esta unidad son la caolinita, que se encuentra usualmente en porcentajes superiores al del resto de unidades (>25%), y la illita (>30%), además de cantidades variables de esmectita, interestratificados y, localmente, clorita (Fig. 4).

Las muestras tomadas en esta unidad para datación mediante microfosilíferos han sido datadas como Mioceno medio (Tabla 1; Fig. 5 y 6). Esta unidad se puede correlacionar con los materiales del Mioceno medio de la montaña de Montjuïc, concretamente, la presencia de plagioclasa en el esqueleto de las arenas permite correlacionarla con la Unidad del Castell de Montjuïc (Gómez-Gras et al. 2001).

Sondeo	SRB-2	SIT-16 bis2		I2+580	SIT-4
Profundidad (m)	18.2	21	28.8	31	15.7
Unidad litostratigráfica	U. de Limos y Arcillas (PI)	U. de Limos y Arcillas (PI)	U. de Arenas y Limos (MI-2a)	U. de Limos y Arcillas (PI)	U. de Arenas y Limos (MI-2a)
Edad Foraminíferos	Mioceno medio (retrabajados)	Plioceno medio	Mioceno medio	Plioceno medio	Mioceno medio
Bentónicos					
<i>Allomorphina trigona</i>		x			
<i>Ammonia beccarii</i>	x				x
<i>Ammonia beccarii inflata</i>					x
<i>Ammonia beccarii puntogranosa</i>		x			
<i>Amphycorina scalaris</i>				x	
<i>Angulogerina sp.</i>					x
<i>Asterigerina planorbis</i>					x
<i>Bigenerina nodosaria</i>	x				x
<i>Bolivina antiqua</i>			x		x
<i>Bolivina arta</i>	x				x
<i>Brizalina alata</i>	x		x	x	
<i>Brizalina spathulata</i>					x
<i>Bulimina alazanensis</i>					x
<i>Bulimina elongata</i>	x				x
<i>Bulimina marginata</i>	x		x	x	
<i>Cancris auricula</i>	x		x		x
<i>Cassidulina laevigata</i>	x		x		x
<i>Chrysalogonium sp.</i>	x				
<i>Cibicidoides cullebergi</i>	x				
<i>Cibicidoides ungerianus</i>					x
<i>Cyclammina latidorsata</i>			x		
<i>Dentalina leguminiformis</i>			x		
<i>Dorothia brevis</i>	x				
<i>Dorothia gibosa</i>	x				
<i>Elphidium crispum</i>					x
<i>Elphidium macellum</i>					x
<i>Fursenkoina schreiberiana</i>	x				x
<i>Globobulimina pyrula</i>	x	x	x	x	
<i>Globocassidulina oblonga</i>			x		x
<i>Gyroidinoides umbonatus</i>			x		x
<i>Hanzawaia boueana</i>					x
<i>Heterolepa dertonensis</i>	x	x	x	x	x
<i>Heterolepa dutemplei</i>					x
<i>Heterolepa floridana</i>			x	x	
<i>Heterolepa perlucida</i>	x				
<i>Hopkinsina bononiensis</i>	x				x
<i>Lenticulina calcar</i>	x	x	x	x	x
<i>Lenticulina cultrata</i>	x		x		
<i>Lenticulina dilecta</i>					x
<i>Lenticulina gibba</i>			x		
<i>Lenticulina peregrina</i>			x		
<i>Lenticulina sp</i>	x				
<i>Lobatula lobatula</i>	x				x
<i>Marginulina costata</i>	x		x	x	x
<i>Marginulina glabra</i>		cf			
<i>Marginulina subbullata</i>					x
<i>Martinottiella communis</i>	x	x	x		x
<i>Melonis barleeaanum</i>					x
<i>Melonis pompilioides</i>	x	x		x	
<i>Neoeponides schreibersii</i>	x				
<i>Nodosaria acuminata</i>	x		x		x
<i>Nodosaria radicular</i>			x		
<i>Nonion commune</i>	x	x	x	x	x
<i>Oridorsalis umbonatus</i>			x		x
<i>Orthomorphina tenuicostata</i>	x	x			
<i>Praeglobobulimina pupoides</i>			x		
<i>Pullenia bulloides</i>	x	x	x	x	x
<i>Reussella spinulosa</i>					x
<i>Rosalina obtusa</i>					x
<i>Sphaeroidina bulloides</i>	x				x
<i>Textularia abbreviata</i>			x		
<i>Textularia gramen</i>	x	x			x
<i>Textularia mariae</i>	x	x			
<i>Textularia sagitula</i>	x	x	x	x	x
<i>Uvigerina peregrina</i>	x	x	x	x	x
<i>Valvulineria bradyana</i>	x	x	x	x	x
Planctónicos					
<i>Globigerina bulloides</i>	x		x	x	
<i>Globigerina decoraperta</i>	x			x	x
<i>Globigerina falconensis</i>		x	x		
<i>Globigerinella aequilateralis</i>	x			x	x
<i>Globigerinoides obliquus</i>	x	x	x	x	x
<i>Globigerinoides sacculifer</i>	x	x	x		x
<i>Globigerinoides sicanus</i>	cf.	cf.			
<i>Orbulina suturalis</i>			x		
<i>Orbulina universa</i>	x	x	x	x	x

Tabla I.- Especies de foraminíferos planctónicos y bentónicos encontrados en diferentes sondeos del delta del Llobregat y de la depresión de Barcelona. En la figura 6 se puede observar en qué sondeo y en qué unidad se han recolectado las muestras analizadas. Los foraminíferos de la muestra SRB-2 (18.2 m) corresponden al Mioceno medio, por la situación de la muestra (Fig. 6) se interpreta que los foraminíferos provienen de la erosión y retrabajamiento del Mioceno medio adyacente.

Unidad de Arenas y Limos Marrones del Mioceno Medio (Mi-2b)

Se encuentra en la zona de Collserola (SIT-4, Fig. 1). Tapizando la Unidad de Brechas y Arcillas Ocreas (Mi-1b), aparece una formación de arenas y limos marrones bien seleccionados y poco cementados, la cual tiene una potencia de entre 11 y 23 m que se puede encontrar a profundidades de entre 8 y 29 m respecto de la superficie. Litológicamente, estos materiales se organizan en capas de orden decimétrico donde dominan las arenas finas a medias de color ocre (Fig. 2e) con alguna intercalación de gravas y limos, estos últimos pueden contener microfauna.

Petrológicamente, son arenas submaduras con una selección moderada, clastos subredondeados y matriz arcillosa o carbonática. El esqueleto está formado por fragmentos de roca metamórfica, biotita y cantidades menores de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa y fósiles. Se pueden clasificar como litoarenitas.

Las muestras tomadas en esta unidad para datación mediante microforaminíferos han sido atribuidas al Mioceno medio (Tabla 1; Fig. 5 y 6). Esta unidad y la anterior (Mi-2a y Mi-2b) son contemporáneas, se formaron en un ambiente marino deltaico y se pueden correlacionar con el Mioceno medio de la montaña de Montjuïc (Gómez-Gras et al., 2001, Parcerisa, 2002). Por tanto, las dos unidades pueden ser tratadas como una sola unidad (Unidad de Arenas y Limos del Mioceno medio; Mi-2). A parte de la datación, numerosos indicios refuerzan la correlación entre estas unidades y el Mioceno medio de Montjuïc:

- 1- Petrológicamente ambas unidades están formadas por litoarenitas y arcosas, esta composición concuerda con la composición petrológica de las areniscas de Montjuïc.
- 2- La Unidad Mi-2a contiene numerosos granos de feldespato potásico y de cuarzo con cementos sintaxiales (Fig. 3d). Este tipo de cementación también ha sido observada en las areniscas de Montjuïc (Parcerisa et al. 2001).
- 3- En esta misma unidad el análisis de Rayos X ha mostrado la presencia puntual de alunita y un enriquecimiento en caolinita en los minerales de la arcilla (Fig. 4). Ambos minerales, conjuntamente con los cementos sintaxiales de feldespato potásico, son diagnósticos del Mioceno medio de Montjuïc y se deben a una fuerte alteración diagenética que afecta a estos sedimentos (Parcerisa et al. 2001). La caolinita y la alunita son los minerales responsables de la aparición de matrices arcillosas de color blanco muy típicas de algunas capas areniscosas de esta unidad.

Unidad de Limos y Arcillas Amarillas y Grises del Plioceno (Pl)

Estos materiales se encuentran encima de la mayoría de las unidades anteriores, y aparecen hacia el centro

del área de estudio. Se han descrito en los sondeos S-I, S-H, S-G, S-E, S-D, S-N, PROP, SRB-2, pk2+537, pk2+576, SIT-16 bis2 y I2+580 (Fig. 1). Hacia base de los sondeos se observa una importante potencia de margas a margas arenosas de coloraciones grisáceas con abundantes restos de fauna, estas margas han sido clásicamente denominadas como «fettege de vaca» (Almera, 1894) (Fig. 2f). La potencia máxima perforada en estos materiales ha sido de 40 m aunque hacia los márgenes del delta puede tener unos 8 m de potencia. El techo de la unidad aparece entre 40 y 20 m por debajo del nivel del mar. En ninguno de los sondeos realizados más hacia el centro del delta del Llobregat se ha llegado a la base de esta unidad. Hacia techo, esta unidad adquiere una coloración amarillenta con indicios de costras carbonatadas y óxidos de hierro (Fig. 2f). Las muestras tomadas en esta unidad para datación por microforaminíferos, han arrojado una edad Plioceno medio (Tabla 1).

Cronostratigrafía

El estudio de los foraminíferos terciarios de los afloramientos situados en los alrededores de Barcelona ha sido realizado por diferentes autores, desde mediados del siglo pasado. Respecto a los sedimentos miocenos de Montjuïc, los primeros trabajos son de Colom y Bauzá (1945) sobre muestras recolectadas en los niveles margosos 5, 6 y 8 del corte realizado por Faura y Sans (1917). En él se citan 28 especies de foraminíferos bentónicos y planctónicos y, aunque no se precisa su edad dentro del Mioceno, parece tratarse por el tipo de asociación del Mioceno medio. El siguiente trabajo corresponde a Magné (1978), remuestreando el corte clásico, ya modificado por la actuación urbanística, determina sesenta especies de foraminíferos, catorce de las cuales son planctónicas y a partir de las mismas atribuye estos niveles a la zona N 16 de Blow (1969), Tortoniense. Por último, Gómez-Gras *et al.* (2001) atribuyen los materiales de la parte alta de la serie de Montjuïc al Serravaliense, biozonas N9-N10 de Blow (1969). En ellas se han identificado 32 especies de foraminíferos y a partir de la presencia de *Globorotalia archaeomenardii* se asignan a estos niveles una edad Serravaliense. En cuanto a los materiales pliocenos, los estudios micropaleontológicos realizados en la depresión de Barcelona por Civís (1975 y 1977) y Alborch (1980) no determinan una edad más precisa. Magné (1978) propone una edad Plioceno medio a partir de los datos de ostrácodos y foraminíferos, mientras que Sanz de Siria (1994) propone una edad Zancliense (Plioceno inferior) a partir del estudio de la flora de estos sedimentos.

Por lo que respecta a los sondeos analizados en este trabajo, se han identificado 68 especies de foraminíferos bentónicos y 9 de planctónicos (tabla 1), en el caso de las muestras SIT-4 (15.7 m) y SIT-16bis2 (28.8 m) pertenecientes a la Unidad de Arenas y Limos

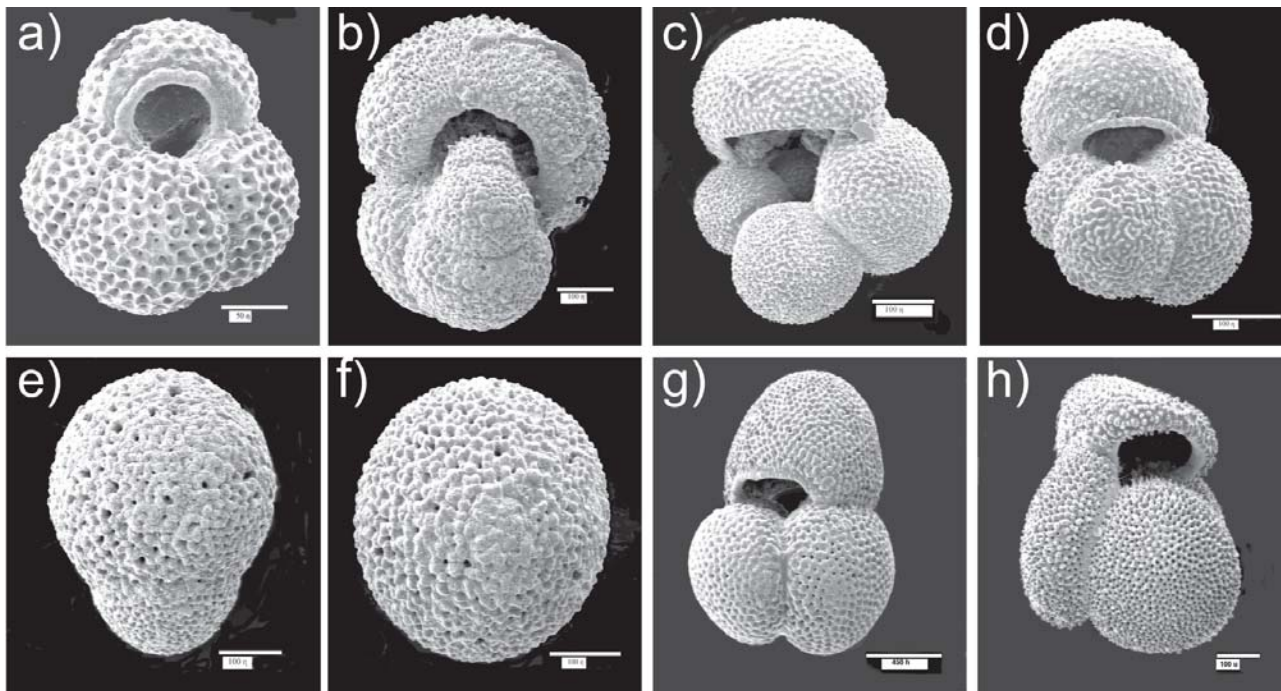


Figura 5.- Foraminíferos representativos de la asociación miocena langhiense-serravaliense: especie, escala de la barra, muestra. a) *Globigerina decoraperta* Takayanagi & Saito, 50 mm, SRB 2 (18,2-18,3 m). b) *Globigerinella aequilateralis* (Brady), 100 mm, I2+ 580 (31 m). c) *Globigerina bulloides* D'Orbigny, 100mm, SIT 16 bis 28.8. d) *Globigerina falconensis* Blow, 100 mm, SIT 16 bis2 (28.8 m). e) *Orbulina universa* D'Orbigny, 100 mm, SIT 16 bis (28.8 m). f) *Orbulina suturalis* Brönnimann, 100 mm, SIT 16 bis2 (28.8 m). g) *Globigerinoide sacculifer* (Brady), 450 mm, SIT 16b 2 (21 m). h) *Globigerinoides obliquus* Bolli, 100 mm, I2+580 (31 m).

del Mioceno medio la asociación indica una edad Mioceno medio la cual concuerda con las dataciones realizadas en los últimos años en los materiales de la misma edad de la montaña de Montjuïc (Gómez-Gras et al. 2001); la muestra SRB-2 (18 m) perteneciente a la Unidad de Limos y Arcillas del Plioceno ha sido datada también como Mioceno medio (Tabla 1) y se interpreta, por su localización, que en realidad refleja el retrabajamiento de materiales de la Unidad de Arenas y Limos Ocre y Blancos del Mioceno Medio (Tabla 1 y Fig. 6).

Asociaciones de foraminíferos parecidas a las encontradas en el muestreo de la Unidad de Limos y Arcillas del Plioceno (SIT-16bis2 (21 m) y I2+580 (31 m); Fig. 6), han sido datadas como Plioceno medio (Magné 1978). La ausencia de *Uvigerina rutila* en estas muestras concuerda también con una edad Plioceno medio.

Ambas asociaciones de foraminíferos, Miocena y Pliocena, corresponden a un ambiente de aguas cálidas donde tanto las especies bentónicas como las planctónicas llegan a alcanzar sus desarrollos ontogenéticos finales. Tal es el caso de *Globigerinoides sacculifer* (Brady) que está presente en todo su desarrollo, incluida la morfología *Globigerinoides trilobus* de sus fases iniciales (Hemleben et al., 1988). Faltan en esta asociación el conjunto de especies del género *Globorotalia* (*G. peripheroacuta*, *G. pepheroronda*, *G. praefohsi*, *G. fohsi*, *G. mayeri*, etc) empleadas en las zonaciones de Blow (1969), Kennet (1973) y Srinivasan y Kennett (1981). La razón podría estar ligada a la escasa profundidad de la cuenca en este

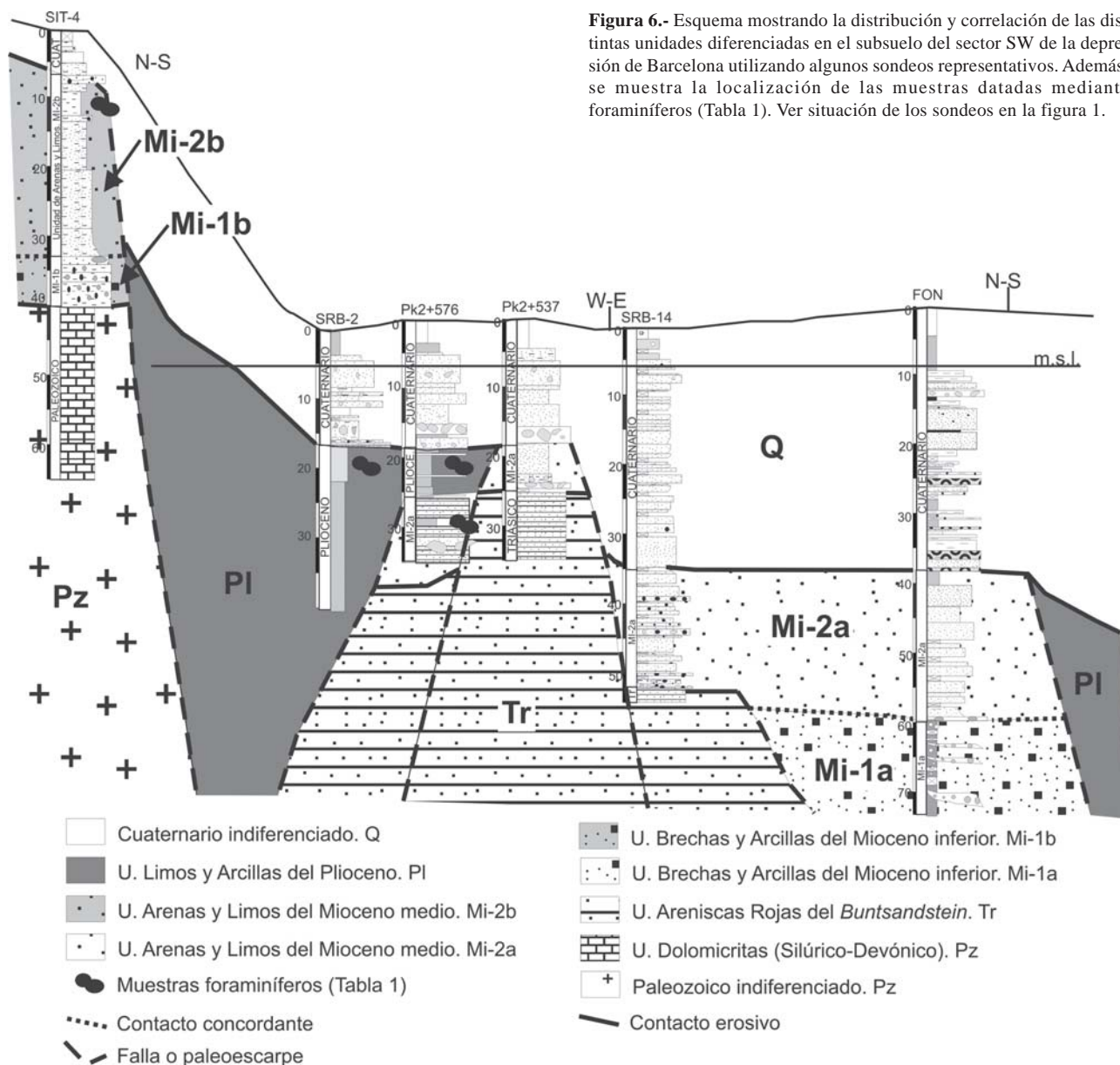
punto, no permitiendo el ciclo biológico de estas especies u otras ya citadas en la zona, como *Globorotalia archaeomenardi* Bolli (Gómez-Gras, et al., 2001), o *Globorotalia* gr. *scitula* y *G. cf. cultrata menardii* que fueron identificadas por Magné (1978) en estos materiales.

Distribución y correlación entre las unidades descritas

A partir de la distribución en planta de las unidades definidas en el apartado de estratigrafía y petrología, se han podido diferenciar principalmente dos áreas.

La primera se localiza en la llanura del delta del Llobregat, hacia el sur de la zona de estudio (Figs. 6, 7 y 8). Esta área esta compuesta por los materiales del Triásico y del Mioceno inferior y medio (Tr, Mi-1a y Mi-2a). La segunda área se sitúa al norte de la zona de estudio y está formada por los materiales del Paleozoico y del Mioceno inferior y medio (Pz, Mi-1b y Mi-2b). Los materiales del Plioceno (Pl) tienen una distribución muy extensa y se hallan separando estas dos zonas. Las relaciones geométricas entre las unidades descritas en cada una de estas áreas son las siguientes:

Área sur: la Unidad de Areniscas Rojas del *Buntsandstein* (Tr) se sitúa estratigráficamente a más profundidad que las demás unidades y tiene una extensión reducida (Fig. 7 y 8). El techo de esta unidad es una superficie de erosión que se encuentra fosilizada por la Unidad de Brechas y Arcillas Rojas del Mioceno



inferior (Mi-1a) o por la Unidad de Arenas y Limos Ocre y Blancos del Mioceno medio (Mi-2a). Localmente, a techo de esta unidad se han observado paleosuelos carbonáticos en forma de rizocreaciones que tapizan las fracturas. La Unidad de Brechas y Arcillas Rojas del Mioceno Inferior (Mi-1a) disminuye en potencia hacia el sur-oeste a favor de la unidad infrayacente (Tr) y hacia el noreste desaparece debido a una falla, tiene una distribución muy reducida y se sitúa por debajo de la Unidad de Arenas y Limos Ocre y Blancos del Mioceno Medio (Mi-2a) de forma concordante. Por lo que respecta a la Unidad de Arenas y Limos Ocre y Blancos del Mioceno Medio, esta tiene una distribución areal mayor que las unidades anteriores (Fig. 7 y 8) y se hace más potente hacia el este (Montjuïc) y hacia mar, aunque desaparece de forma abrupta debido a la acción de la falla del Morrot. El fuerte aumento de potencia hacia el noreste hace pensar en la presencia de diversas fallas normales que hundan el sustrato creando un surco ocupado por la

Unidad de Arenas y Limos Ocre y Blancos del Mioceno Medio. Los materiales aluviales y deltaicos del Cuaternario (Pleistoceno y Holoceno) fosilizan todo el conjunto excepto en el área de Montjuïc.

Área norte: esta área ocupa un área muy reducida al noroeste de la zona de estudio (Fig. 7 y 8). En esta zona la Unidad de Brechas y Arcillas Ocre del Mioceno Inferior (Mi-1b) yace sobre el zócalo Paleozoico (dolomicritas silúrico-devónicas en el caso de los sondeos analizados; Fig. 6) y desaparece hacia el sur mediante una falla. Hacia techo es tapizada concordantemente por la Unidad de Arenas y Limos Marrones del Mioceno Medio (Mi-2b). Esta última, desaparece hacia el norte y aumenta de potencia hacia el sur, desapareciendo bruscamente mediante una falla.

Por último, el contacto de la Unidad de Limos y Arcillas Amarillas y Grises del Plioceno con las demás unidades pre-cuaternarias es mayoritariamente mecánico debido a la existencia de numerosas fallas

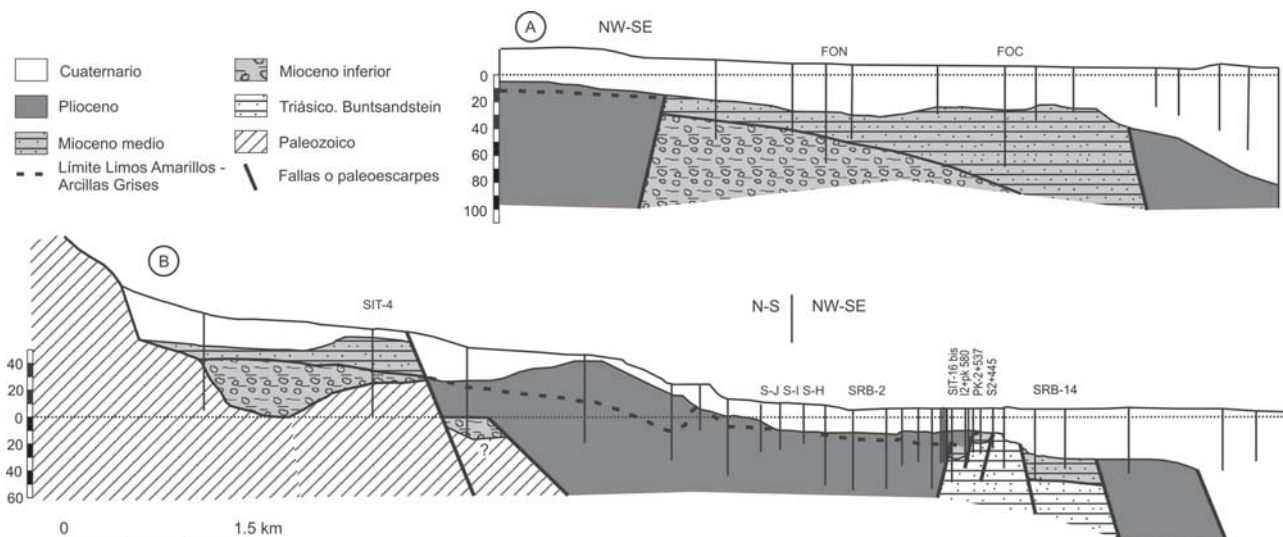


Figura 7.- Cortes geológicos mostrando la disposición de las distintas unidades del subsuelo precuaternario del sector SW de la depresión de Barcelona. La localización de los cortes se muestra en la figura 1.

normales (Figs. 6, 7 y 8). Esta unidad se encuentra en casi toda el área de estudio rellenando pequeñas fosas tectónicas. Aunque, al norte y al sur de la zona de estudio se encuentra directamente encima de los materiales del Mioceno medio.

Discusión

Aportaciones a la interpretación de la litostratigrafía de la depresión de Barcelona

La depresión de Barcelona constituye un área tectónicamente individualizada por las fallas de Tibidabo y de Barcelona. La falla de Barcelona probablemente ya era activa durante la compresión Oligocena (Gaspar-Escribano *et al.* 2004, Parcerisa *et al.* 2007). Entre el Oligoceno Superior y el Aquitaniense, se produce una transición hacia un régimen extensivo, la actividad de las fallas se invierte y empieza el relleno sedimentario de la depresión de Barcelona (Roca *et al.* 1999, Cabrera *et al.* 2004). Los afloramientos más antiguos del relleno de la depresión de Barcelona corresponden a los depósitos catienses de Montgat (Parcerisa *et al.* 2007), correspondientes aún a la fase compresiva y a los depósitos del Mioceno medio de Montjuïc (Gómez-Gras *et al.* 2001, Cabrera *et al.*, 2004) depositados ya en un régimen extensivo. La información relativa a la evolución de las distintas unidades que rellenan la depresión de Barcelona en el subsuelo es relativamente escasa (Ventayol *et al.*, 2002). En los sondeos descritos en este estudio se han caracterizado distintas unidades que forman el relleno sedimentario de la depresión de Barcelona por debajo del Cuaternario y por encima del sustrato Paleozoico y Triásico (Figs. 7 y 9).

En primer lugar hay que destacar que, por primera vez, se ha detectado la presencia de un sustrato pre-Terciario en la parte baja de la depresión de Barcelona (Unidad de Areniscas Rojas del

Buntsandstein; Tr). Este hecho no es extraño puesto que hay varios afloramientos triásicos en los alrededores de la depresión de Barcelona (Carmel, Lesseps, Garraf y Badalona). En muchos informes geotécnicos la Unidad de Areniscas Rojas ha sido interpretada como Mioceno medio debido a su fuerte cementación y carácter silíceo y a su aparente similitud con el Mioceno de la montaña de Montjuïc. El Mioceno de la montaña de Montjuïc se distingue de esta unidad por su composición petrológica (litarenitas) y por la ausencia de compactación química (Parcerisa, 2002).

La Unidad de Brechas y Arcillas del Mioceno Inferior (Mi-1) no había sido descrita hasta el momento en ningún estudio previo sobre la geología de la depresión de Barcelona. Petrológicamente, las brechas del Mioceno inferior están formadas por fragmentos de rocas metamórficas, granos de cuarzo y de feldespato. Algunos de los granos de cuarzo contienen cementos sintaxiales indicando que proceden de la erosión del triásico adyacente (Fig. 3c). Así, los sedimentos del Mioceno inferior se interpretan como pequeños abanicos aluviales que rellenaban paleovalles y erosionaban los paleorelieves (paleozoicos y triásicos) más cercanos.

La distribución exacta de los materiales del Mioceno medio en el subsuelo de la depresión de Barcelona no se conoce con exactitud. La identificación de la Unidad de Arenas y Limos del Mioceno medio (Mi-2) en los sondeos analizados indica que la extensión de Mioceno medio preservado en el subsuelo de la depresión de Barcelona es mayor de lo que se pensaba hasta el momento. En este sentido, los materiales de la montaña de Montjuïc se prolongan hacia el noreste (constituyendo lo que se conoce como Mont Taber), y hacia el suroeste (Figs. 7 y 8). Cabe destacar que los materiales del Mioceno medio presentan variaciones muy bruscas en su grado de cementación, en algunos sondeos el Mioceno

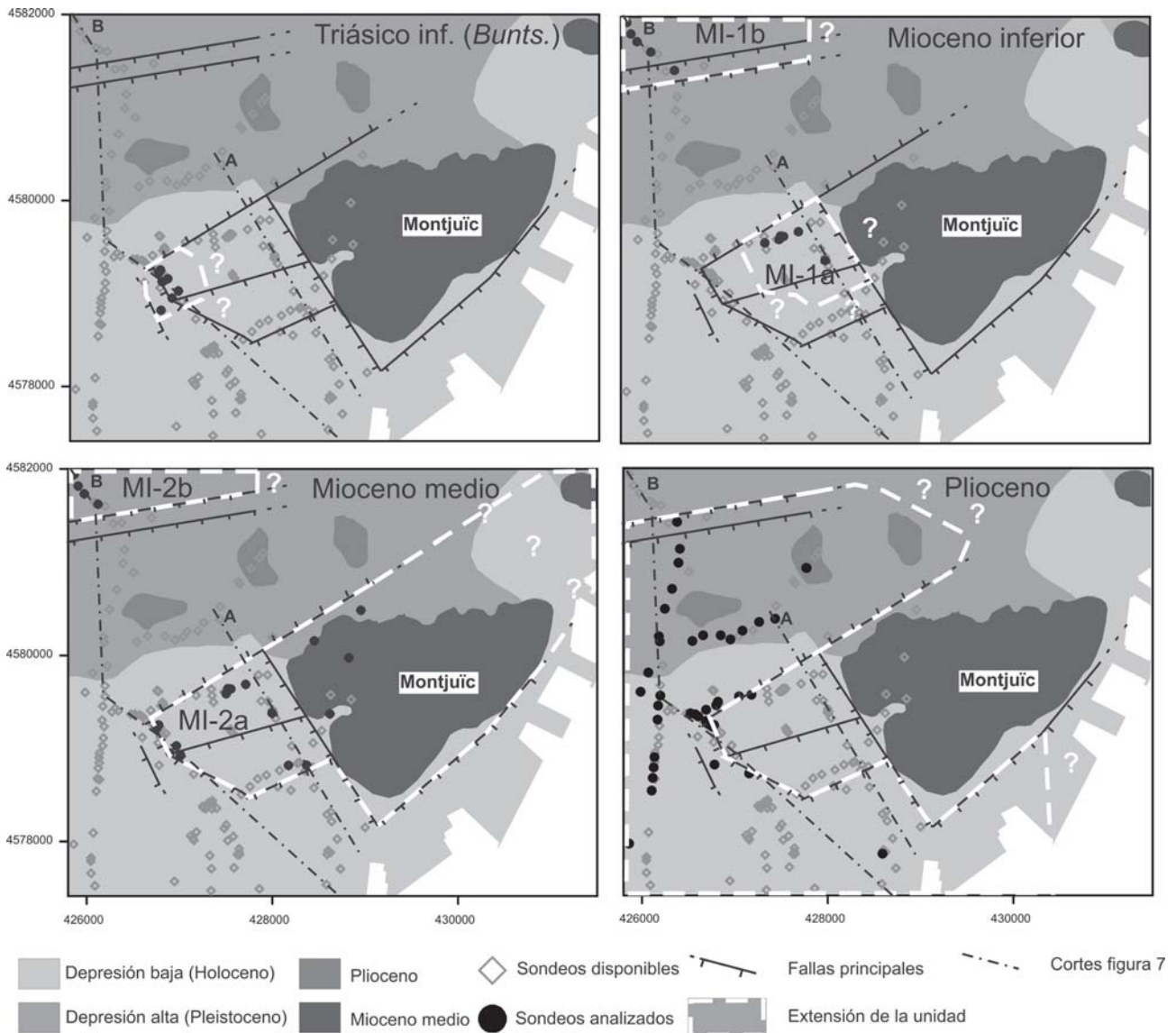


Figura 8.- Localización de las unidades descritas en los sondeos y su distribución en superficie y en el subsuelo. La línea blanca discontinua marca la extensión de las distintas unidades en el subsuelo de la depresión de Barcelona.

medio está formado por arenas mientras que en otros sondeos, así como en la montaña de Montjuïc, los sedimentos están fuertemente cementados formando las areniscas históricamente utilizadas para construir muchos edificios de la ciudad de Barcelona. Debido a esta característica, en los informes geotécnicos, los sedimentos del Mioceno medio no consolidados son confundidos frecuentemente con sedimentos deltaicos del Cuaternario. La identificación correcta del Mioceno medio en el subsuelo de Barcelona debe hacerse mediante estudios paleontológicos, petrológicos o geoquímicos.

Respecto a la Unidad de Limos y Arcillas Amarillas y Grises del Plioceno. Las dataciones realizadas mediante foraminíferos en los sondeos estudiados (Tabla 1) precisan la edad de esta unidad como Plioceno medio. Clásicamente se han diferenciado dos unidades en el Plioceno, una potente unidad de arcillas grises en la parte inferior y una unidad superior de color amarillo la cual tiene una potencia

muy irregular que nunca supera los 10 m en los sondeos estudiados. Esta unidad superior, puede tener una composición litológica más arenosa y limosa, posiblemente porque registra el inicio de una regresión por progradación de sistemas litorales sobre zonas de bahía y plataforma silicioclástica. Sin embargo, en la mayoría de sondeos de este estudio el color amarillo viene ocasionado por una alteración ferruginosa de las arcillas grises, la cual se interpreta como un paleosuelo formado por alteración durante un periodo de exhumación previo a la sedimentación cuaternaria. En este último caso, la parte superior del Plioceno no debe interpretarse como una unidad a parte.

Finalmente, el cuaternario se dispone encima de todas estas unidades de manera que solo quedan unos pocos afloramientos aislados de sedimentos precuaternarios. Concretamente, el Mioceno medio de la montaña de Montjuïc y algunos afloramientos aislados de Plioceno (Fig. 1).

Unidad	Edad	Características	Principales eventos
<i>Complejo Deltaico (delta del Llobregat)</i>	Holoceno	Arcillas, limos, arenas y conglomerados depositados en ambiente deltaico	Relleno por materiales aluviales y deltaicos. Sucesivas superficies erosivas debido a cambios eustáticos
<i>Comp. Detrítico Inferior y Comp. Aluvial Dep. Alta</i>	Pleistoceno	Materiales detríticos de ambiente deltaico y aluvial y paleosuelos carbonáticos	Exposición subaérea y fuerte erosión.
<i>Unidad de Limos y Arcillas Amarillas y Grises (Pl)</i>	Plioceno	Arcillas y limos depositados en ambiente marino profundo	Transgresión y relleno de los surcos por sedimentos marinos. Solapamiento del relieve
<i>Unidad de areniscas (Mi-2)</i>	Mioceno medio	Mayoritariamente arenas y areniscas con arcillas y limos, depositados en ambiente deltaico	Fuerte erosión mesiniense y fracturación del sustrato debido a extensión Se configura la depresión debido a extensión. Relleno por materiales deltaicos
<i>Unidad de Brechas y Arcillas (Mi-1)</i>	Mioceno inferior	Brechas y arcillas depositados en ambiente aluvial	Relleno de pequeños valles por abanicos aluviales
Sustrato formado por rocas metamórficas e ígneas del Paleozoico y por rocas sedimentarias del Triásico inferior (<i>Buntsandstein</i>)			

Figura 9.- Esquema cronostratigráfico donde se indican los nombres de las distintas unidades descritas en este estudio, su edad, sus características y los eventos geológicos principales del sector SW de la depresión de Barcelona.

Evolución paleogeográfica y tectónica de la depresión de Barcelona

El estudio detallado de diversos sondeos realizados en la depresión de Barcelona ha permitido identificar distintas unidades que rellenan esta depresión entre el zócalo Paleozoico-Triásico y el Cuaternario. Concretamente de más antiguas a más modernas: (1) Unidad de Brechas y Arcillas del Mioceno inferior (Mi-1) depositada en un ambiente continental aluvial; (2) Unidad de Arenas y Limos del Mioceno medio (Mi-2) correlacionable con los materiales de la misma edad que afloran en la montaña de Montjuïc y sedimentada en un ambiente marino deltaico y (3) Unidad de Arcillas y Limos reconocida clásicamente como de edad pliocena. Las relaciones geométricas entre las distintas unidades descritas y sus características sedimentológicas complementan y completan la historia geológica de la depresión de Barcelona conocida hasta el momento (Roca et al. 1999, Cabrera et al. 2004).

Los primeros depósitos oligocenos de la depresión de Barcelona se formaron aún en contexto compresivo y, probablemente, constituían el borde occidental de la cuenca *piggy-back* de Barcelona (Parcerisa et al. 2007), actualmente hundida a 6000 m de profundidad por la acción de la falla de Barcelona (Roca et al. 1999, Gaspar-Escribano et al. 2004, Cabrera et al. 2004). Posteriormente, los sedimentos más antiguos datados

en la depresión de Barcelona hasta el momento eran los materiales del Mioceno medio de la montaña de Montjuïc (Gómez-Gras et al. 2001).

En este trabajo se describe por primer vez una Unidad de Arcillas y Brechas infrayacente a los sedimentos del Mioceno medio. A falta de una datación por el momento, se propone una edad de Mioceno inferior por similitud con la evolución de la cuenca adyacente del Vallès-Penedès. Los materiales del Mioceno inferior son el primer testimonio del relleno extensivo de la depresión de Barcelona. Durante esta etapa, el área de la depresión de Barcelona estaba formada por pequeños relieves donde afloraba el zócalo Paleozoico y Triásico (Figs. 7 y 9), estos relieves eran erosionados y los paleovalles adyacentes eran rellenados por pequeños abanicos aluviales que suavizaron la topografía de la depresión de Barcelona. A escala regional, entre el Oligoceno superior y el Mioceno inferior se desarrolla la etapa de *syn-rift* (Bartrina et al., 1992; Roca y Desegaulx, 1992; Roca et al., 1999), en esta etapa se desarrollan algunas de las fallas normales que fracturan las Cadenas Costeras Catalanas, la existencia de Mioceno inferior en la depresión de Barcelona indica que, probablemente, la falla de Collserola también empezó su actividad extensiva durante esta etapa.

Durante el Mioceno medio la depresión de Barcelona se rellenó por materiales marinos deltaicos. Este cambio se pudo deber a una transgresión marina, aunque, en

parte, también hay un control tectónico. El brusco cambio de potencia que estos sedimentos experimentan hacia el NE (Montjuïc) indica que, probablemente, la acción de una o varias fallas normales creó un surco en la depresión de Barcelona que fue rellenado por sedimentos deltaicos (Figs. 7 y 9). La Unidad del Morrot se restringe exclusivamente al área de la montaña de Montjuïc; por encima de esta, la Unidad del Castell acabó de rellenar el surco y se extendió por la depresión de Barcelona fosilizando el zócalo Paleozoico y Triásico y los sedimentos del Mioceno inferior. A escala regional, a partir del Burdigaliense superior empieza una etapa de *post-rift* en las Cadenas Costeras Catalanas (Bartrina et al., 1992; Roca y Desegaulx, 1992; Roca et al., 1999), así durante el Mioceno medio el movimiento se concentra en las fallas principales (falla del Vallès y falla de Barcelona). El desarrollo de una potente unidad deltaica en la depresión de Barcelona durante el Mioceno medio indica que la actividad tectónica se mantuvo relativamente activa en esta zona durante el Mioceno medio.

En el Plioceno todo el conjunto de materiales se ve afectado por una tectónica extensiva la cual provoca la aparición de diversos surcos, entre ellos el que separa la montaña de Montjuïc del macizo de Collserola (Figs. 7 y 9). La distribución del Plioceno a lo largo de los sondeos, apareciendo y desapareciendo de forma brusca en pocos metros, indica que la relación con las demás unidades litostratigráficas se puede realizar mediante: (1) fallas, o (2) el efecto de un acusado paleorelieve resultante del modelado en surcos y relieves de la etapa erosiva del mesiniense, caracterizada por una fuerte regresión marina y la erosión de profundos cañones en la costa mediterránea (Lofi et al., 2005). Estos surcos son rellenados por las Arcillas y Limos marinos del Plioceno los cuales vuelven a suavizar la topografía del área, dando a la depresión de Barcelona una morfología muy parecida a la actual. Posteriormente se produce una regresión marina dando lugar a la sedimentación de los limos y arenas de la parte superior del Plioceno. Los materiales pliocenos quedan exhumados formándose, en algunas áreas, un perfil de alteración superficial que comporta la oxidación de los Limos y Arcillas, los cuales adquieren un color amarillo. Finalmente, todo el conjunto es fosilizado por los materiales cuaternarios del delta del Llobregat.

Por otro lado, el estudio de los sondeos también demuestra que la geometría de las silicificaciones que afectan a los materiales del Mioceno medio está controlada por fallas. Lejos de las fallas los materiales del Mioceno medio no están cementados y, por tanto, es fácil confundirlos con los sedimentos cuaternarios. Esta asociación entre las fallas y las silicificaciones no había podido ser descrita hasta el momento debido a la escasez de afloramientos de Mioceno medio y será objeto de futuros estudios para comprender los procesos diagenéticos que condujeron a la silicificación de estos materiales.

Conclusiones

El estudio de diversos sondeos en el sector SW de la depresión de Barcelona ha permitido completar su historia geológica, aportando nuevos datos hasta el momento desconocidos.

En primer lugar se ha reconocido el basamento paleozoico junto con el sustrato triásico en facies *Buntsandstein* y una Unidad de Brechas y Arcillas del Mioceno inferior no registrados hasta el momento.

La Unidad de Brechas y Arcillas del Mioceno inferior constituye el relleno extensivo más antiguo de la depresión de Barcelona y se formó en un ambiente continental aluvial.

Fosilizando el zócalo Paleozoico-Triásico y la Unidad de Brechas y Arcillas del Mioceno inferior se ha descrito en el subsuelo de la depresión de Barcelona una Unidad de Arenas y Limos correlacionable con los materiales del Mioceno medio de la montaña de Montjuïc. Estos materiales han sido datados mediante foraminíferos planctónicos y se han establecido criterios diagnósticos para distinguirlos de los materiales del Cuaternario (presencia de cementos sintaxiales en los granos de feldespato y de cuarzo, presencia de alunita y enriquecimiento en caolinita en los minerales de la arcilla).

La Unidad de Arenas del Mioceno medio presenta variaciones bruscas en su grado de cementación (silicificación). Dicha silicificación se concentra en las zonas adyacentes a las fallas normales que limitan la extensión de esta unidad.

Finalmente, también se ha caracterizado el Plioceno y se ha citado la existencia de un perfil de paleoalteración en su techo debido a un periodo de exhumación previo a la fosilización de todo el conjunto por los materiales del Cuaternario

Agradecimientos

Este estudio ha sido financiado por GISA dentro del ámbito de las obras realizadas para la construcción de la línea 9 del metro de la ciudad de Barcelona. Los autores agradecen también la ayuda de los técnicos de Geotec 262 y RSE. Parcerisa y Gómez-Gras han realizado la investigación en el marco del proyecto CGL2004-05816-C02-02 financiado por la Dirección General de Enseñanza Superior e Investigación Científica de España y Grup Consolidat de Recerca «Geologia Sedimentària» 2005/SGR/00890 y 2001/SGR/00077 de la Generalitat de Catalunya. Los autores agradecen la labor realizada por los revisores (L. Cabrera y F. Colombo) la cual ha contribuido de forma determinante en la mejora de la calidad del presente artículo.

Referencias

- Alborch, J., Civis, J. y Martinell, J. (1980): Nuevas aportaciones micropaleontológicas al conocimiento del Neógeno del Baix Llobregat (Barcelona). *Acta Geologica Hispanica*, 15(3): 85-90.
- Almera, J. (1891a): Descubrimiento de cuatro niveles del período silúrico en los alrededores de Barcelona, reconocidos

- por Ch, Barrois. *Crónica Científica*, 15: 54.
- Almera, J. (1891b): Mapa geológico-topográfico de la provincia de Barcelona. Región I o de contornos de la capital. Escala 1:40.000. 1ª, Barcelona.
- Almera, J. (1894): Descripción de los terrenos pliocénicos de la cuenca del Bajo Llobregat y llano de Barcelona. Mapa Geol. Prov. Barcelona. 351p.
- Alonso, F., Peón, A., Villanueva, O., Rosell, J., Trilla, J. y Obrador, A. (1977): Mapa y memoria explicativa de la Hoja nº 421 (Barcelona) del Mapa geológico Nacional a escala 1:50.000, IGME, Madrid.
- Bayó, A., Batista, E. y Custodio, E. (1976): Intrusión marina en los acuíferos del litoral catalán. En: II Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica. Barcelona. Instituto Geográfico y Catastral. Madrid: 2103-2129.
- Bayó, A., Batista, E. y Custodio, E. (1977): Sea water encroachment in Catalonia coastal aquifers. General Assembly IAH. Birmingham. Vol. XIII.1: F.1-14.
- Bartrina, M.T., Cabrera, L., Jurado, M.J., Guimerà, J. y Roca, E. (1992): Evolution of the central Catalan margin of the Valencia trough (western Mediterranean). *Tectonophysics*, 203: 219-247.
- Blow, W.H. (1969): Late Middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. En *Proceedings of the First International Conference on Planktonic Microfossils* (P. Bronnimann and H.H. Renz, eds). Brill. Leiden: 199-421.
- Cabrera, L. (1979): Estudio estratigráfico y sedimentológico de los depósitos continentales basales del Mioceno de la depresión del Vallès-Penedès. Tesis de Licenciatura, Dpt. d'Estratigrafia i Geologia Històrica, Universitat de Barcelona, 361 p.
- Cabrera, L. (1981a): Estratigrafía y características sedimentológicas generales de las formaciones continentales del Mioceno inferior de la cuenca del Vallès-Penedès (Barcelona, España). *Estudios geológicos*, 37: 35-43.
- Cabrera, L. (1981b): Influencia de la tectónica en la sedimentación continental de la cuenca del Vallès-Penedès (provincia de Barcelona, España) durante el Mioceno inferior. *Acta Geológica Hispanica*, 16: 163-169.
- Cabrera, L., Roca, E., Garcés, M. y de Porta, J. (2004): Estratigrafía y evolución tectonosedimentaria oligocena superior-neógena del sector central del margen catalán (Cadena Costero-Catalana). En: *Geología de España* (Vera J.A., eds.). Madrid, SGE-IGME: 569-573.
- Candela, L., Custodio, E. y Fernández-Rubio, R. (1980): Contaminación por boro en un área del sector occidental del delta del Llobregat (Barcelona, España). En: *Actas del IV Coloquio Internacional sobre las Aguas Subterráneas*. Acireale, Sicilia.
- Colom, G. y Bauzá, J. (1945): Notas sobre los foraminíferos de las margas Miocénicas de Montjuich. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, XLIII: 483-498.
- Casassas, L. y Riba, O. (1992): Morfología de la rambla Barcelonina. *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*, 33-34(VII): 9-23.
- Checa, A., Díaz, J.I., Farrán, M. y Maldonado, A. (1988): Sistemas deltaicos holocenos de los ríos Llobregat, Besós y Foix: modelos evolutivos transgresivos. *Acta Geologica Hispanica*, 23: 241-255.
- Civís, J. (1975): Estudio de los Foraminíferos del Plioceno del NE de España. vols. 1 y 2, Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca, 496 p.
- Civís, J. (1977): Estudio de los Foraminíferos del afloramiento pliocénico de Can Albareda (Barcelona). *Análisis paleoecológico y bioestratigráfico*. *Studia Geologica*, 13: 105-126.
- Custodio, E. y Llamas, R. (1983): Hidrología subterránea. *Omega* (2), 2359 p.
- Custodio, E. y Queralt, R. (1981): Contaminación salina de los acuíferos del delta del Llobregat por vertidos de la minería potásica. *Análisis y Evolución de la Contaminación de Aguas Subterráneas en España*. CIHS. Barcelona: 605-622
- Custodio, E., Cacho, F. y Peláez, M. (1976): Problemática de la intrusión marina en los acuíferos del Delta del Llobregat. En: *Segunda Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica*, Barcelona. Inst. Geof. y Catastral, Madrid: 2069- 2101.
- Doménech, J., Batista, E., Bayo, A. y Custodio E. (1983): Some aspects of sea water intrusion in Catalonia (Spain). In: 8th SWIM. Bari. Instituto di Geología Applicata e Geotecnica. Bari: 15
- Faura y Sans, M. (1917): Montjuich. *Notas geológicas*. Publicaciones de la Sociedad Española de Atracción de Forasteros. Barcelona, 28: 5-55.
- Gàmez, D. (2007): Sequence Stratigraphy as a tool for water resources management in alluvial coastal aquifers: application to the Llobregat delta (Barcelona, Spain). Tesis doctoral Ingeniería del Terreny, Cartogràfica i Geofísica. Universidad Politècnica de Catalunya, Barcelona, 177 p.
- Gaspar-Escribano, J.M., García-Castellanos, D., Roca, E. y Cloetingh, S. (2004): Cenozoic vertical motions of the Catalan Coastal Ranges (NE Spain): The role of tectonics, isostasy, and surface transport. *Tectonics*, 23, doi:10.1029/2003TC001511.
- Gómez-Gras, D. (1993): El Permotrias de la Cordillera Costero Catalana: Facies y Petrología Sedimentaria. Parte I. *Boletín Geológico y Minero*, 104-2: 115-161.
- Gómez-Gras, D., Parcerisa, D., Calvet, F., Porta, J., Solé de Porta, N. y Civís, J. (2001): Stratigraphy and petrology of the Miocene Montjuïc delta (Barcelona, Spain). *Acta Geologica Hispanica*, 36: 115-136.
- Hemleben, Ch., Spindler, M. y Anderson, O.R. (1988): *Modern Planktonic Foraminifera*. Springer-Verlag, 363 p.
- Julivert, M., Duran, H., Rickards, R.B. y Chapman, A.J. (1985): Siluro-Devonian graptolite stratigraphy of the Catalanian Coastal Ranges. *Acta Geologica Hispanica*, 20(3-4): 199-207.
- Kennett, J. P. (1973): Middle and late Cenozoic planktonic foraminiferal biostratigraphy of the southwest Pacific- DSDP Leg 21, in R. E. Burns et al. *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, 21: 575-640.
- Lázaro, R. (2001): Prospección gravimétrica en zonas urbanas: Aplicación al estudio del subsuelo en la ciudad de Barcelona. Tesis doctoral. Departament de Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica. Facultat de Geologia. Universitat de Barcelona, 303 p.
- Llamas, M.R. y Molist, J. (1967): Hidrología de los deltas de los ríos Besós y Llobregat. *Documentos de Investigación Hidrològica*, nº 2. Centro de Estudios, Aplicaciones e Investigaciones del Agua. Barcelona.
- Llopis, N. (1942a): Los terrenos cuaternarios del llano de Barcelona. *Publicaciones de la Diputación Provincial de Barcelona*, 6: 52.
- Llopis, N. (1942b): Tectomorfología del Macizo del Tibidabo y valle inferior del Llobregat. *Estudios Geográficos*, III(7): 321-383.
- Llopis, N. (1946): Los movimientos verticales intracuaternarios del NE de España. *Estudios Geológicos*, II: 181-236.

- Lofi, J., Gorini, C., Berné, S., Clauzon, G., Dos Reis, A.T., Ryan, W.B.F. y Steckler, M.S. (2005): Erosional processes and paleo-environmental changes in the Western Gulf of Lions (SW France) during the Messinian Salinity Crisis. *Marine Geology* 217 (1-2): 1-30.
- Magné, J. (1978): Études microstratigraphiques sur le Néogène de la Méditerranée Nord-occidentale. Les bassins néogènes catalans. Editions du Centre National de la Recherche Scientifique. Paris, 260 p.
- Manzano, M. (1993): Génesis del agua intersticial del acuitado del delta del Llobregat: origen de los solutos y transporte interactivo con el medio sólido. Tesis doctoral Ingeniería del Terreny, Cartogràfica i Geofísica. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona 273 p.
- Manzano, M., Pelaez, M.D. y Serra, J. (1986-1987): Sedimentos prodeltaicos en el delta emergido del Llobregat. *Acta Geologica Hispanica*, 21-22: 205-211.
- Marqués, M.A. (1975): Las formaciones cuaternarias del delta del Llobregat. *Acta Geologica Hispanica*, X(1): 21-28.
- Marqués, M.A. (1984): Las formaciones cuaternarias del delta del Llobregat, LXXI. Institut d'Estudis Catalans, Barcelona, 280 p.
- Medialdea-Vega, J. y Solé-Sabaris, L.I. (1973): Mapa Geológico de España. E. 1:50000, hoja nº 420 (Hospitalet de Llobregat). IGME, Madrid.
- Medialdea, J., Maldonado, A., Alonso, B., Díaz, J.I., Farrán, M., Giró, S., Vázquez, A., Saonz-Amor, E., Martínez, A. y Medialdea, T. (1986): Mapa geológico de la plataforma continental española y zonas adyacentes. E 1:200000, hoja nº 41-422 (Tarragona). IGME, Madrid.
- Medialdea, J., Maldonado, A., Díaz, J.I., Escutia, C., Ferran, M., Giro, S., Serra, M., Medialdea, T. y Vázquez, J.T. (1989): Mapa geológico de la plataforma continental española y zonas adyacentes. E 1:200000, hoja nº 35-42 (Barcelona). IGME, Madrid.
- Ministerio de Obras Públicas (1966): Estudio de los recursos hidráulicos totales de las cuencas de los ríos Besós y Bajo Llobregat. Comisaria de Aguas del Pirineo Oriental y Servicio Geológico de Obras Públicas, 4.
- Parcerisa, D. (1999): El Miocè de la muntanya de Montjuïc: Estratigrafia, Sedimentologia, Petrologia i Diagènesi. Treball de recerca (DEA). Universitat Autònoma de Barcelona, 112 p.
- Parcerisa, D. (2002): Petrologia i diagènesi en sediments de l'Oligocè superior i del Miocè inferior i mitjà de la Depressió del Vallès i del Pla de Barcelona. Evolució de l'àrea font i dinàmica dels fluids. Tesis doctoral Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra, 288p.
- Parcerisa, D., Thiry, M., Gómez-Gras, D. y Calvet, F. (2001): Proposition d'un modèle de silicification superficielle des grès néogènes de Montjuïc, Barcelone (Espagne): paragenèses minérales, environnements géochimiques et circulation des fluides. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 172 (6): 751-764.
- Parcerisa, D., Gómez-Gras, D., Roca, E., Madurell, J. y Agustí, J. (2007): The Upper Oligocene of Montgat (Catalan Coastal Ranges, Spain): new age constraints to the western Mediterranean Basin opening. *Geologica Acta*, 5 (1): 3-17
- Perea, H. (2006): Falles actives i perillositat sísmica al marge nord-occidental del solc de Valencia. Tesis Doctoral Universitat de Barcelona, Barcelona, 332 p.
- Roca, J.L. y Casas, A. (1981): Gravimetría en zona urbana. Mapa gravimétrico de la ciudad de Barcelona. IV Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica. Presidencia de Gobierno. Comisión Nacional de Geodesia y Geofísica. Comunicaciones: 28-9/2-10.
- Roca, E. y Desegaulx, P. (1992): Analysis of the geological evolution and vertical movements in the València Trough area, (Western Mediterranean). *Marine and Petroleum Geology*, 9: 167-185.
- Roca, E., Sans, M., Cabrera, L. y Marzo, M. (1999): Oligocene to Middle Miocene evolution of the central Catalan margin (northwestern Mediterranean). *Tectonophysics*, 315: 209-233.
- Sanz de Siria, A. (1994): La evolución de las paleofloras en las cuencas cenozoicas catalanas. *Acta Geologica Hispanica*, 29(2-4): 169-189.
- Serra, J. y Verdager, A. (1983): La sedimentación holocena en el prodelta del Llobregat. En: X Congreso Nacional de Sedimentología. Mahón.
- Simó, J.A., Gàmez, D., Salvany, J.M., Vázquez-Suñé, E., Carrera, J., Barnolas, A. y Alcalà, F.J. (2005): Arquitectura de facies de los deltas cuaternarios del río Llobregat, Barcelona, España. *Geogaceta*, 38: 171-174.
- Solé-Sabaris, L. (1963): Ensayo de interpretación del Cuaternario Barcelonés. *Miscel. Barcelonensia*, II: 7-54.
- Solé-Sabaris, L., Virgili, C. and Zamarreño, I. (1957): Livret guide d'excursions: Environs de Barcelone et Montserrat. In: V Congress Inter INQUA, Barcelona: 38.
- Subirana, J.M. (1983): «Estudi de la contaminació de les aigües subterrànies del Baix Llobregat.» Tesis de licenciatura. Universidad de Barcelona. Facultat de Geologia. Barcelona, 169 p.
- Srinivasan, M.S. y Kennett, J.P. (1981): Neogene planktonic foraminiferal biostratigraphy: Equatorial to Subantarctic, South Pacific. *Marine Micropaleontology*, 6: 499-534.
- Tait, J.A., Bachtadse, V. y Dinarès-Turell, J. (2000): Paleomagnetism of Siluro-Devonian sequences, NE Spain. *Journal of Geophysical Research. Series B : Solid Earth*, 105(B10): 23,595-23,603.
- Ventayol, A., Palau, J. y Roca, A. (2002): El Contexto Geotécnico de la Ciudad de Barcelona, Proyectos. E.T.S.I. Minas Madrid. U.P.M. Barcelona.
- Villalta, J.F. y Rosell, J. (1965): Contribución al conocimiento de la estratigrafía de Montjuïc. *Publ. Inst. Inv. Geol. Dip. Prov.*, 19, 83-104.

Manuscrito recibido el 4 de diciembre de 2007

Aceptado el manuscrito revisado el 19 de diciembre de 2008