

AVALUACIÓ DELS RECURSOS D'ÀRIDS DISPONIBLES EN MEDIS FLUVIALS MITJANÇANT TÈCNiques GEOFÍSQUES. APLICACIÓ A LA CUBETA DE CELRÀ (RIU TER, NE CATALUNYA)

Xavier Almanza, Rogelio Linares, Carles Roqué, Lluís Pallí, Christian Geis

Àrea de Geodinàmica Externa. Universitat de Girona, 17071 Girona. A/e: xavier.almanza@udg.es. Fax: 972 41 81 50.

RESUM

La profunditat del nivell freàtic i el contingut en argila són factors que condicionen l'explotabilitat, com a àrids naturals, dels nivells de sorres i gravas al·luvials que es desenvolupen en el domini fluvial del riu Ter. L'estudi preliminar realitzat a la cubeta de Celrà conclou que és possible el seu coneixement mitjançant tècniques de prospecció geofísica, i es proposa utilitzar-les en estudis d'àmbit regional.

RESUMEN

La profundidad del nivel freático y el contenido en arcilla son factores que condicionan la explotabilidad, como áridos naturales, de los niveles de arenas y gravas aluviales que se desarrollan en el dominio fluvial del río Ter. El estudio preliminar realizado en la cubeta de Celrà concluye que es posible su conocimiento mediante técnicas de prospección geofísica, y se propone su utilización en estudios de ámbito regional.

ABSTRACT

The depth of the water table and the clay content are determinant factors for the exploitability of natural aggregates, such as the alluvial sands and gravels found on the fluvial domain of the Ter River. In this preliminary study, carried out in the Celrà basin, we conclude that these variables can be determined by means of geophysical methods and recommends the use of such methods in studies of regional character.

KEYWORDS: Water table, natural aggregate, geophysical methods, Ter River, Catalunya.

INTRODUCCIÓ

La necessitat de conèixer els recursos naturals de què disposa o necessita un país per al seu desenvolupament és, avui dia, un aspecte fonamental que cal tenir en compte a l'hora d'elaborar una bona planificació i gestió del territori (Bringezu i Schütz, 2001).

El caràcter no renovable de molts béns naturals, com és el cas dels recursos miners, agreuja encara més aquest requisit. Per tant, és bàsic i primordial estudiar de manera precisa les seves localitzacions així com acotar-ne la quantitat i qualitat (Scott i Dimitrakopoulos, 2001; Carranza et al., 1999). Disposar d'aquestes dades suposa tenir la informació apta i necessària, en qualsevol escenari, per a un ús sostenible dels recursos naturals en un futur.

En aquesta línia s'emmarca el nostre treball, el qual se centra en la recerca de roques industrials i, en concret, en la disponibilitat d'àrids naturals en medis fluvials. El treball té com a objectiu valorar la viabilitat de la utilització dels mètodes de prospecció geofísica en l'àmbit regional. Concretament, es pretén analitzar fins a quin punt és factible determinar el contingut de fins i la posició del nivell freàtic amb aquestes tècniques a la zona del Ter mitjà.

Per dur a terme l'estudi s'han seleccionat diversos sectors de l'al·luvial de la cubeta de Celrà. Es tracta de zones que són representatives de les principals unitats geomorfològiques reconegudes a la cubeta i de les quals es disposa d'informació del subsòl a través de sondeigs mecànics de reconeixement. Aquest coneixement directe del subsòl permetrà contrastar les mesures geofísiques i, d'aquesta manera, valorar les potencialitats del mètode per a un ús extensiu en aquest territori.

LA ZONA D'ESTUDI

Context geològic

La cubeta de Celrà correspon a un tram del riu Ter comprès entre dos congostos: el de Sant Julià de Ramis, situat a l'oest i aigües amunt, i el de Colomers, localitzat a l'est i aigües avall (figura 1). Es localitza a la zona de contacte entre tres unitats morfoestructurals principals: Serralada Litoral, Sistema Transversal i depressió de l'Empordà.

La Serralada Litoral, representada aquí pel massís de les Gavarres i per la muntanya de Sant Julià de Ramis, dona lloc als relleus de roques paleozoiques que tanquen la cubeta pel sud i per l'oest. En aquest sector afloren bàsicament esquistos amb intercalacions de marbres i de quarsites datats del cambroordovicià i de l'ordovicià superior, juntament amb petites clapes de calcàries del silurià i del devonià.

El Sistema Transversal conforma les Pregavarres, un conjunt de turons de poca alçada adossats al marge nord de les Gavarres, en els quals afloren sediments del paleogen de naturalesa diversa (lutites i conglomerats; calcàries, margues i gresos, fonamentalment) i que, juntament amb la unitat anterior, limiten la cubeta pel sud.

La depressió de l'Empordà està representada en aquesta zona pels relleus suaus, afaïçonats en sediments poc consolidats del neogen, els quals tanquen la cubeta pel nord (figura 2).

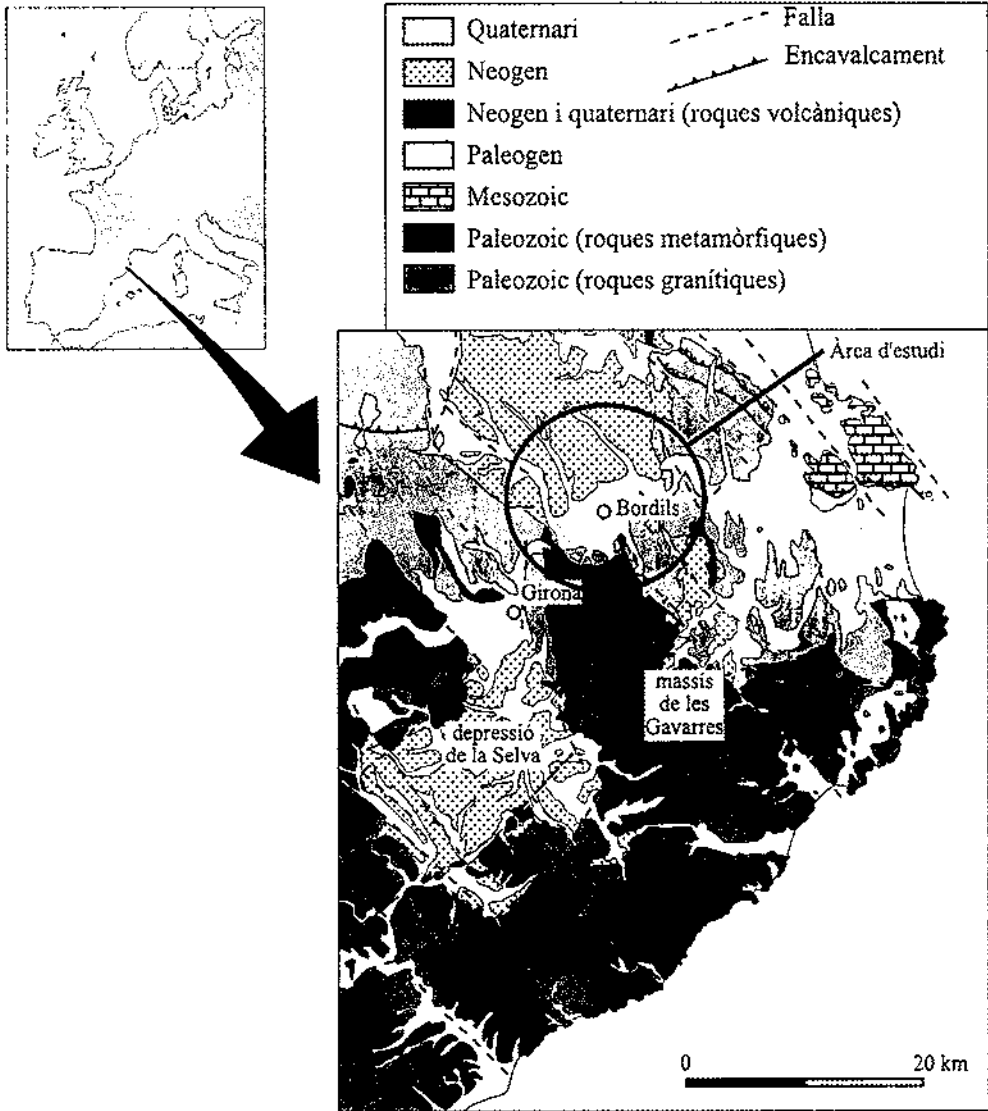


Figura 1. Emmarcament regional de la zona d'estudi.

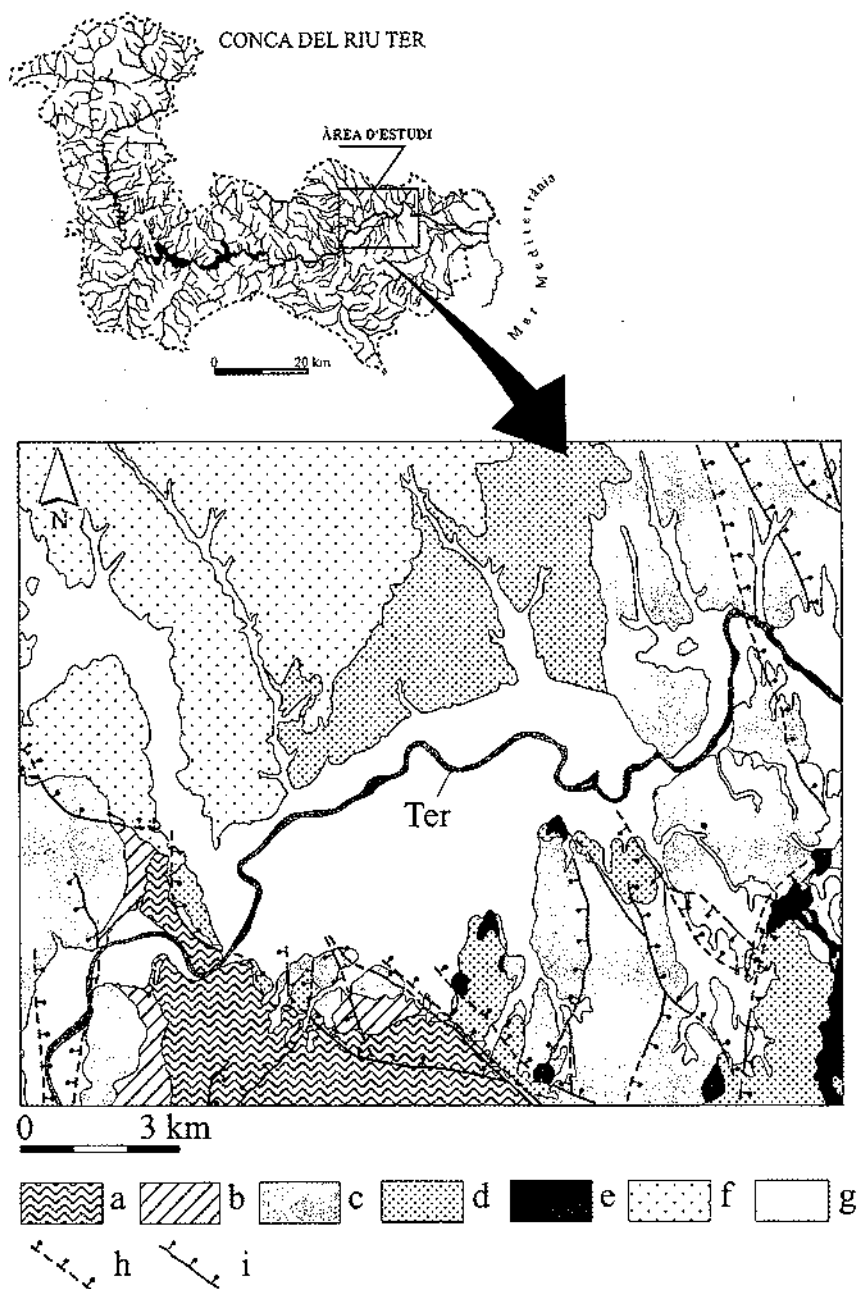


Figura 2. Situació dins el context geomorfològic de les principals unitats de relleu. Llegendà: a, paleozoic; b, paleocè; c, eocè; d, miocè; e, roques volcàniques del miocè; f, pliocè; g, quaternari; h, falla suposada; i, falla normal (amb indicació del bloc superior).

Materials

La cubeta pròpiament dita està constituïda per un conjunt divers de dipòsits quaternaris, la majoria dels quals estan relacionats amb la dinàmica fluvial del Ter (figura 3). Així, a la part central hi ha diversos nivells de terrasses disposats a diferent alçada. Al sector nord, aquests materials limiten bruscament amb els sediments del neogen. Al marge sud, en canvi, el contacte entre els dipòsits al·luvials i les unitats prequaternàries s'estableix de manera progressiva mitjançant un sistema de glacis d'acumulació també del quaternari. A més, a l'extrem nord-est de la cubeta hi ha importants dipòsits de sorres d'origen eòlic.

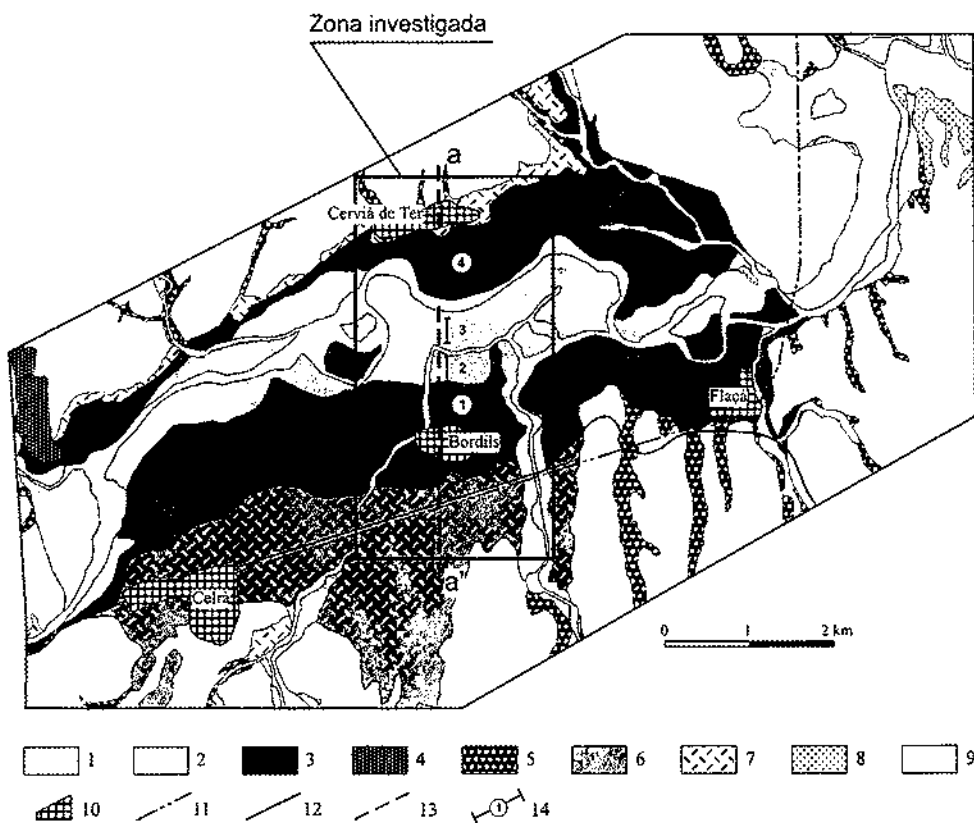


Figura 3. Síntesi cartogràfica de les principals formacions superficials de la cubeta de Celrà i situació de la zona investigada. Llegendà: 1, terrassa T0; 2, terrassa T1; 3, terrassa T2; 4, terrassa T3; 5, dipòsits al·luvials-col·luvials dels torrents; 6, glacis d'acumulació; 7, dipòsits col·luvials; 8, dipòsits eòlics; 9, prequaternari indiferenciat; 10, nuclis de municipi; 11, FFCC; 12, carretera C-66; 13, tall interpretatiu a-a'; 14, situació dels perfils.

a) Terrasses

Els materials que constitueixen les terrasses són de natura detrítica. Es tracta, en tots els casos, de graves amb matriu sorrenca, recobertes per un dipòsit lutític d'inundació poc potent. Les terrasses altes de la vora esquerra del Ter tenen un escàs contingut de fins, similar al de les terrasses baixes. Tanmateix, la proporció de fins és molt més elevada a les terrasses altes del marge dret, perquè en aquest costat estan recobertes pel sistema de glacis d'acumulació, formats majoritàriament per argiles. La composició detallada de cadascun dels nivells és la següent:

- Terrassa T0. Està constituïda per graves i sorres que passen verticalment i de forma transicional a sorres llimoses i argiles a sostre. El conjunt presenta una base erosiva i discordant respecte als dipòsits de la terrassa T1. El seu gruix és irregular i assoleix els 3 m. Se situa a uns 2 m per damunt del curs actual del riu. Correspon a sediments al·luvials subactuals i actuals, dipositats per corrents torrencials de règim anastomosat i meandriforme. Cronològicament corresponen a l'holocè.
- Terrassa T1. Està formada per graves amb matriu sorrenca abundant a la base que, cap al sostre, passen transicionalment a sorres i llims argilosos, els quals constitueixen el sostre. Aquests sediments fins engloben esporàdicament nivells lenticulars de còdols rodats centimètrics. El conjunt és discordant respecte a la terrassa T2 i el gruix és irregular, amb un màxim de 9 m. La cota topogràfica respecte al curs actual del riu és d'uns 4 m. S'interpreten com a dipòsits al·luvials de règim torrencial anastomosat. Cronològicament corresponen a l'holocè.
- Terrassa T2. Està integrada per graves grolleres heteromètriques amb sorra i llim a la base que, cap al sostre, guanyen matriu llimosa fins a ser llims argilosos amb presència ocasional de còdols rodats de mida centimètrica. Topogràficament se situa entre 5 i 10 m damunt el curs del Ter, i respecte del Terri se situa entre 4 i 6 m. És discordant respecte a la terrassa T3. El gruix del conjunt és irregular, amb un màxim de 15 m registrats en sondeigs a l'eix de la paleovall del Ter. S'interpreten com a sediments dipositats per corrents en règim torrencial anastomosat. Cronològicament corresponen al plistocè superior.
- Terrassa T3. Està composta per gravetes, sorres llimoses i esporàdicament graves a la base que cap al sostre passen a sorres, llims arenosos i argiles. Les sorres presenten línies d'acreció corresponents a barres de meandre. La base és erosiva i discordant sobre els dipòsits terciaris. Topogràficament aquests dipòsits se situen a uns 30 o 40 m respecte del Ter i a uns 10 m respecte del Terri. El màxim gruix observat no supera els 15 m. S'interpreten com a dipòsits al·luvials corresponents a un riu en règim meandriforme. Cronològicament s'atribueixen al plistocè superior (SGC, 1997).

En totes aquestes terrasses s'observa una variació de la mida de les partícules tant en fondària com al llarg del curs del riu. Les partícules de mida més gran se situen a

la base, recobertes per una capa de sorres; cap al sostre augmenta el contingut de llims i argiles, primer a la matriu i finalment donant lloc a una capa lutífica amb presència ocasional de còdols rodats de mida centimètrica. La variació en el recorregut del Ter es constata pel fet que a la sortida del Congost els còdols assoleixen un diàmetre màxim de mig metre; aigües avall la mida es redueix progressivament i ja no superen els 5 cm a l'alçada del pla de Colomers.

b) Glacis d'acumulació

Els dipòsits de glacis d'acumulació estan formats per graves amb matriu sorrenca i llimosa de colors vermellosos i marrons. Presenten una distribució de fàcies que va des de materials més grollers, al sud, fins a dipòsits de granulometria més fina, argiles i llims, cap al nord. Les parts proximals estan formades per una acumulació de còdols de diferent natura. Hi predominen les pissarres i quarsites, provinents dels materials terciaris i paleozoics de les Gavarres. Els còdols són heteromètrics i aplanats i formen nivells que presenten la base canalitzada i laminació encreuada. Les zones distals estan constituïdes per argiles i llims.

Aquests glacis d'acumulació donen lloc a diversos ventalls coalescents al peu de les Gavarres, la superfície dels quals enllacen lateralment amb la terrassa T2. El gruix d'aquesta unitat és irregular i assoleix com a màxim 8 m. Cronològicament correspon al plistocè superior - holocè (SGC, 1997).

c) Dipòsits eòlics

Apareixen únicament a Sant Llorenç de les Arenes, a l'extrem més oriental de la cubeta, on l'acció del vent afavoreix la seva presència. Els seus gruixos són aproximadament de 15 m. Estan formats per sorres de gra mitjà i fi amb una composició variada: grans de quars, de roques metamòrfiques i de biotita. Pel que fa al seu origen, l'estudi granulomètric dels dipòsits fluvials existents pels voltants d'aquests materials eòlics ha revelat la presència de continguts anormalment baixos de fins; aquest fet s'interpreta com a conseqüència de l'acció dels vents de component nord, els quals haurien erosionat (mitjançant deflació) els materials al·luvials (i haurien deixat granulometries més grolleres de les habituals) i les sorres s'haurien acumulat en els vessants meridionals de la cubeta.

Geometria de la cubeta

Les escasses dades de què es disposa no permeten arribar a conèixer amb precisió la configuració del fons de la cubeta. Dels estudis realitzats fins ara es pot deduir que el gruix de sediments quaternaris assoleix un màxim de 40 m en el marge nord dels sectors central i oest (Almanza, 2002). La morfologia del substrat prequaternari, establerta mitjançant prospecció sísmica, revela l'existència de nombrosos escarpaments que s'atribueixen a estructures tectòniques actives. Un accident principal se situa coincidint amb el marge nord de la cubeta i és el responsable de la basculació dels dipòsits de terrassa. Aquest fet és especialment constatable a l'altura de Cervià de Ter, on la terrassa T2 se situa a una cota més baixa al marge esquerre del riu que no pas al dret (figura 4).

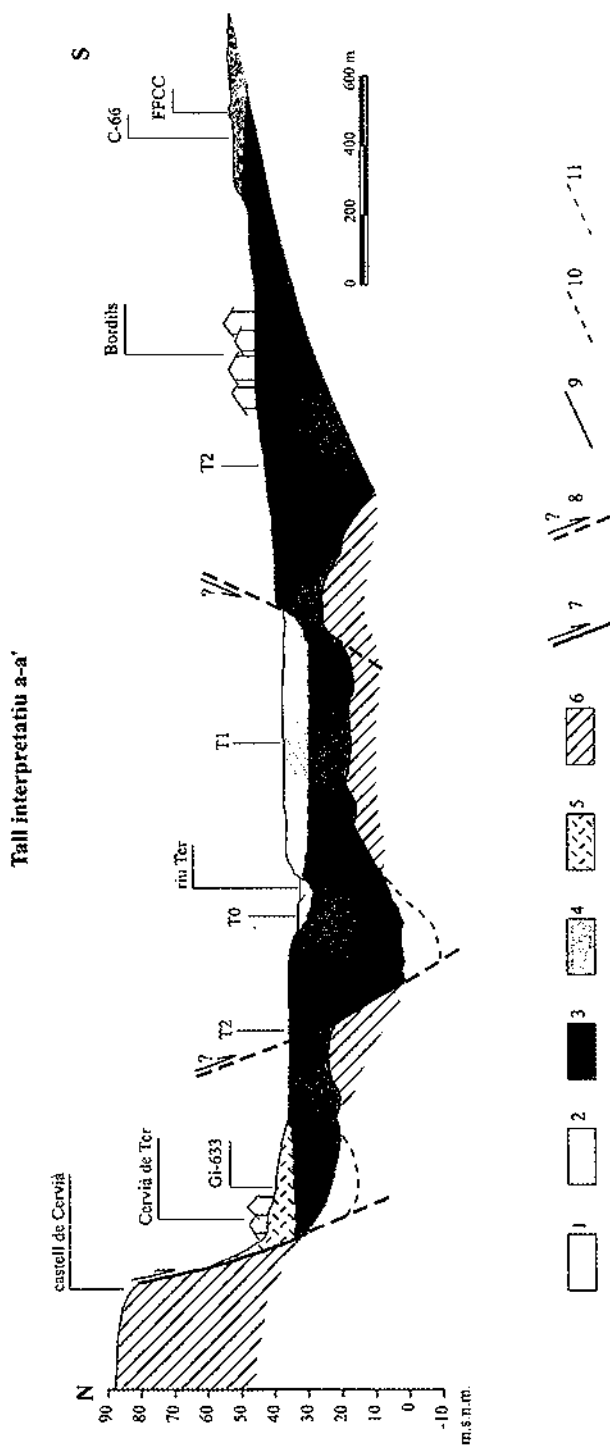


Figura 4. Secció geològica de la geometria en profunditat del reblliment fluviotorrencial de la cubeta de Celrà en el sector central. **Legenda:** 1, terrassa T0; 2, terrassa T1; 3, glacis d'acumulació; 4, dipòsits col·luvials; 5, dipòsits col·luvials; 6, prequaternari indiferenciat; 7, falla; 8, falla probable; 9, límit segur del sòcol prequaternari; 10, límit probable del sòcol prequaternari; 11, límit entre formacions quaternàries.

Dades mineres

Els sediments fluvials i dipòsits dels glacis d'acumulació, que representen un 39% de la superfície de la cubeta (uns 26 km²), són els dominants en extensió i contenen la major part dels recursos d'àrids naturals. Per la seva banda, els acumulats per l'actuació de processos eòlics, circumscrits al sector nord-est de la cubeta, ocupen una extensió reduïda (0,33 km²), encara que són objecte d'un aprofitament intens com a àrids industrials.

Els sediments de les terrasses baixes són els que presenten unes característiques, físiques i químiques, que els fan més aptes per al seu ús com a àrids (taula 1).

	Mínim-Màxim	Mitjana
Contingut de fins (%)	0,56-6,80	3,08
Equivalent de sorra (ES)	59-95	81,87
Terrossos d'argila (%)	0,080-67,27	15,06
Densitat de conjunt (gr/cm ³)	1,27-1,60	1,44
Densitat aparent (gr/cm ³)	2,31-2,58	2,46
Densitat real (gr/cm ³)	2,39-2,70	2,56
Absorció d'aigua	0,82-2,12	1,42
Partícules de baix pes específic	0,10-0,83	0,33
Coefficient de forma	0,19-0,32	0,26
Pèrdua de pes per atac amb sulfats	Mg (%)	0,04-9,70
	Na (%)	0,07-12,6
Desgast dels Àngels		21,3
Contingut en SO ₄ ²⁻ total (%)	0,01-0,09	0,04
Contingut en SO ₄ ²⁻ hexavalent (%)	0,01-0,08	0,03
Contingut en S ² insoluble (%)	0,02-0,07	0,05
Contingut en clorurs (%)	0,002-0,015	0,01
Reactivitat potencial enfront els àlcals del ciment	Mil·limols/l SiO ₂ solubilitzada	16,5-76,9
	reducció d'alcalinitat en mil·limols OH/l	8,5-76,9

Taula 1. Característiques fisicoquímiques dels àrids naturals derivats de dipòsits al·luvials de la cubeta de Celrà, segons dades de Font (1982) i pròpies.

En els al·luvials explotats domina una mida de partícules corresponent a la fracció de sorra mitjana (entre 0,4 i 2 mm) i els continguts en fins (< 0,008 mm) són variables (figura 5). Els còdols són majoritàriament d'esquistos i cornianes i de pòrfirs àcids i arriben a assolir fins a un 70% de la composició petrogràfica d'aquests al·luvials. També n'hi ha de granitoides, de gneis, de quars i de basalts (figura 5). Les mostres d'àrids analitzades no presenten en general reaccions amb els àlcals

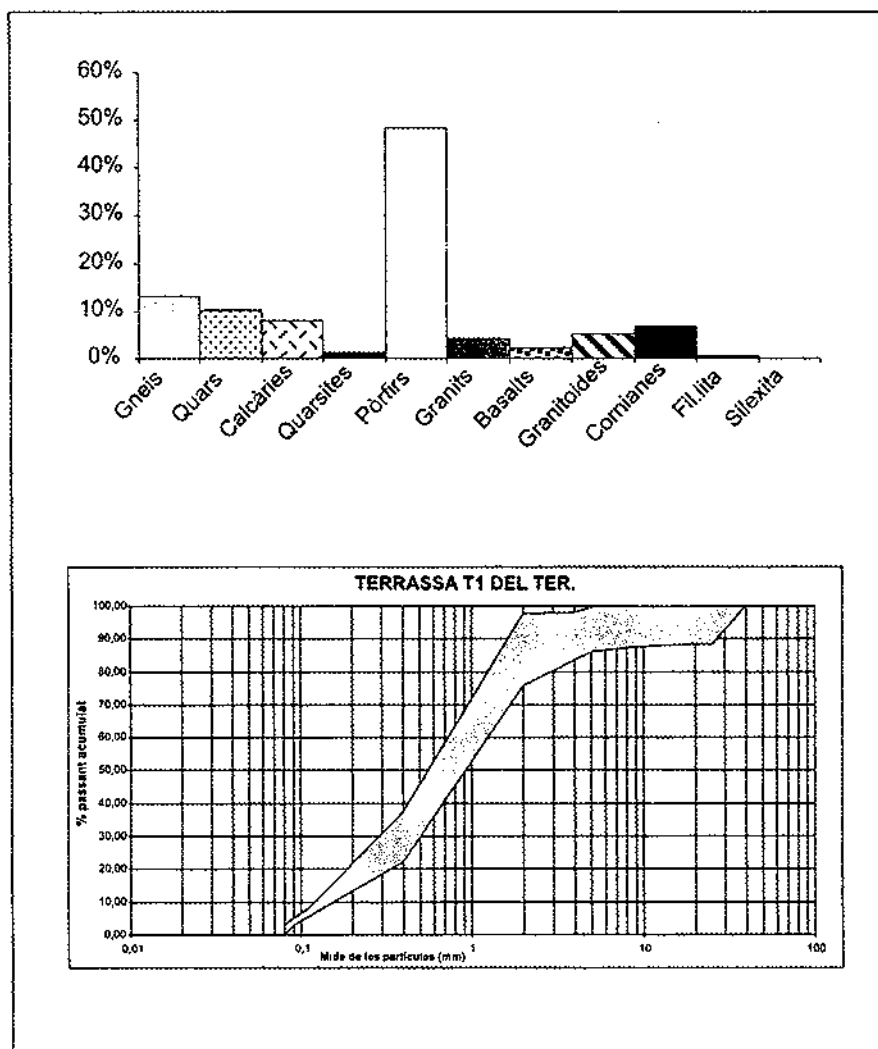


Figura 5. Resultats de l'anàlisi petrogràfica i granulomètrica de la terrassa T1 del Ter

del ciment; tampoc no presenten continguts significatius de sals (clorurs o sulfats). Per això es consideren inertes a efectes químics (Font, 1987).

El coeficient de desgast dels Àngels és de 21,3 (Font, 1987). Cal tenir present, però, que aquest bon resultat es fonamenta només en l'assaig de tres mostres.

Entre els factors naturals que condicionen l'explotabilitat d'aquests sediments al·luvials com a àrids destaquen el contingut en fins i el seu gruix. S'ha pogut

constatar que en nombroses zones el percentatge granulomètric de fracció fina (<0,008 mm) supera notablement els màxims admesos per a la seva utilització com a aglomerats o formigons. Per un altre costat, en aquelles zones on les qualitats naturals els converteixen en materials aptes per a l'ús com a àrids per a les aplicacions assenyalades, els gruixos o volums d'extracció queden limitats per la presència del nivell freàtic a poca profunditat. La legislació vigent limita les profunditats màximes d'extracció a la cota ocupada pel nivell freàtic o fins i tot estableix franges de protecció entre aquest i la base de l'excavació (Llei de mines, 1973; ACA, 2002).

METODOLOGIA DE TREBALL

La utilització de tècniques de prospecció geofísica per a la recerca de recursos disponibles d'àrids naturals és freqüent en els estudis regionals (Ellefsen, 1998; Barnett i Ellefsen, 2000). Generalment l'objectiu que es persegueix és conèixer la geometria dels dipòsits potencialment explotables i les seves variacions litològiques (Auton, 1992; Langer i Lindsey, 1999), característiques que també es busquen en treballs d'altra mena, com és el cas de les investigacions hidrogeològiques o geomorfològiques (Astier, 1975).

Per complir els objectius plantejats en aquest treball s'han seleccionat els mètodes de prospecció electromagnètica i sísmica per refracció a partir de l'experiència acumulada pel grup de recerca de Geologia Aplicada de la UdG i la de la nombrosa bibliografia existent respecte a aquest tema.

En l'última dècada la cartografia de conductivitats s'ha convertit en una tècnica d'exploració convencional. La tècnica consisteix a detectar els camps electromagnètics secundaris generats com a resposta induïda a un camp magnètic primari alternatiu. L'aplicació de l'equip d'inducció electromagnètica (EM) per mesurar conductivitats del terreny en dipòsits multicapa permet realitzar ràpids perfils sense necessitat d'elèctrodes de contacte amb el terreny. En aquest treball hem utilitzat el conductímetre EM-34 de la casa Geonics. Aquest aparell produeix lectures contínues dels valors de conductivitat aparent a diferents profunditats d'investigació (McNeill, 1980). Entre els factors que condicionen el valor de conductivitat aparent en els materials que ens ocupen destaca el contingut en aigua i en argila. A la zona no saturada, un increment en la conductivitat del terreny generalment implica un augment en el contingut d'argila (Edet, 1990; Hazell et al., 1988). S'han realitzat quatre perfils electromagnètics d'una longitud total aproximada de 230 m cada un. S'ha operat en mode de dipòls horitzontals i verticals amb una separació entre antenes de 10 m i de 20 m. Les mesures s'han fet a intervals de 10 m.

Els treballs de prospecció sísmica per refracció s'han realitzat utilitzant el sismògraf SmartSeis de dotze canals de la casa Geometrics i disparador manual mitjançant percussió. En aquest cas s'han utilitzat implantacions contínues de 50 m de dispositiu, amb cinc punts de tir per línia sísmica, seguint les recomanacions de Granda i

Camero (1998). S'han cobert les mateixes seccions que en el cas de la prospecció electromagnètica. A cada perfil sísmic s'han realitzat quatre implantacions, de manera que s'han cobert 800 m d'investigació efectiva. L'existència del nivell freàtic en el subsòl, és a dir, l'inici de la zona saturada, es reconeix en els registres sísmics per velocitats de propagació compreses entre 1.400 i 1.800 m/s (Custodio i Llamas, 1976) i entre 1.600 i 2.400 m/s (Astier, 1975). Si en el medi investigat es donen les condicions de contrast adequades, serà possible conèixer la morfologia del nivell freàtic (Haeni, 1988; Sjögren i Wager, 1969).

Les mesures geofísiques han estat tractades qualitativament i interpretades quantitativament mitjançant l'ajuda dels programes SIPx (Seismic Refraction Interpretation Programs) de la casa Rimrock Geophysics, en el cas de la informació sísmica. Lògicament, entre les diverses solucions compatibles amb les dades des d'un punt de vista físic o matemàtic, s'ha prioritzat la viabilitat geològica de la solució del model per damunt del menor error numèric del procés. En ambdós mètodes de prospecció, per a la correlació entre dades geofísiques i litològiques, s'han dut a terme mesures paramètriques de contrast.

RESULTATS I DISCUSSIÓ

En el cas de les mesures de conductivitat obtingudes per a la separació entre antenes de 10 m ($S=10$), s'observa una clara diferenciació entre el comportament elèctric dels dipòsits fluvials associats a la terrassa baixa (T1) i els de la terrassa mitjana (T2) (figura 6). Els primers es caracteritzen pel fet de presentar una certa homogeneïtat en els valors de conductivitat, els quals són baixos, de l'ordre de 2,5-5 mS/m. En canvi, els valors obtinguts a la terrassa mitjana (T2) són variables. En aquest cas dominen les conductivitats d'entre 15 i 27 mS/m.

Quan es contrasten aquestes dades geofísiques amb la informació directa disponible del subsòl (cotes del nivell freàtic i tipus de materials) es dedueixen diversos fets d'especial projecció amb els objectius de la investigació. D'acord amb les profunditats màximes de penetració efectiva assolides, de l'ordre d'uns 15 m amb dipòls verticals (DV) i d'uns 7,5 m amb dipòls horitzontals (DH), les mesures s'han realitzat, de manera predominant, a la zona no saturada. En conseqüència, en aquesta franja més superficial del terreny, les variacions de conductivitat s'associen a canvis litològics, principalment a variacions en el contingut d'argila. Els valors més grans de conductivitat (d'entre 20 i 30 mS/m), localitzats en el subsòl del marge esquerre del riu Ter, als voltants de la població de Cervià de Ter, són deguts a l'existència d'abocaments de residus inerts i de terres que es van dur a terme en els forats deixats per antigues activitats extractives. Aquests fets apareixen menys marcats en els registres obtinguts amb separacions d'antenes de 20 m ($S=20$ m), és a dir, en zones d'exploració situades al voltant dels 30 m en DV i d'uns 15 m per a configuracions de DH. En aquestes profunditats la presència de materials diferents dels fluviotorrencials quaternaris i/o l'existència d'aigua subterrània són els elements del medi que modifiquen els valors de conductivitat descrits anteriorment.

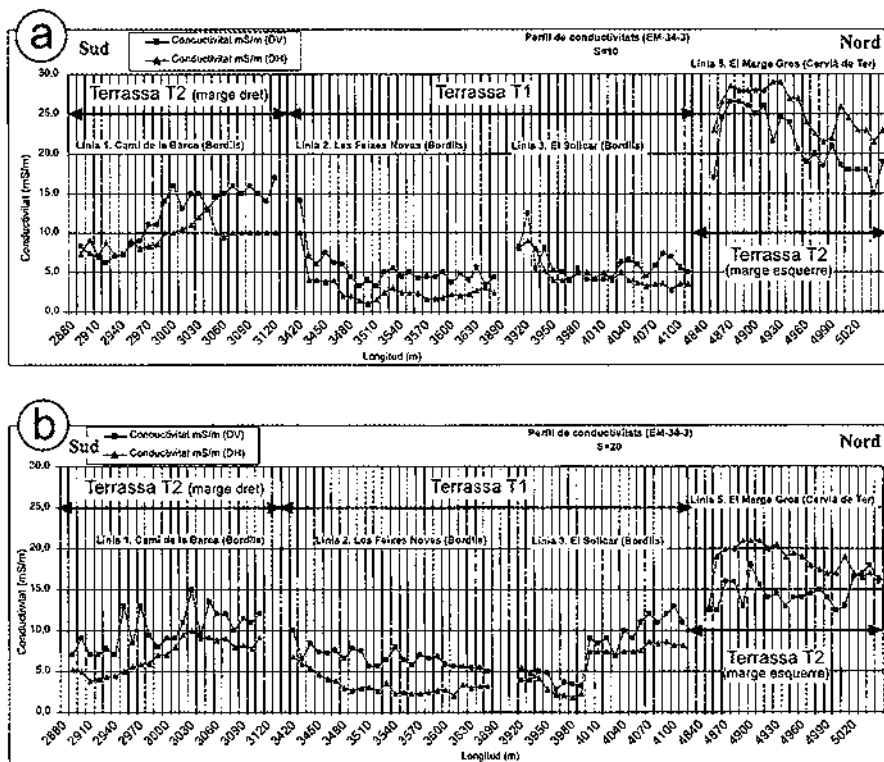


Figura 6. Perfil de conductivitats amb l'EM-34. a) $S=10$, separació entre antenes de 10 m, b) $S=20$, separació entre antenes de 20 m.

La zona investigada mitjançant aparells de prospecció sísmica correspon al tram central de la secció estudiada mitjançant equips EM. En concret, la zona se situa sobre els dipòsits fluvials baixos (T1) als voltants de la població de Bordils (figures 7 i 8). Les correlacions realitzades entre refractors reconeguts i la informació disponible del subsòl posen de manifest uns bons contrastos sísmics entre els diversos grups litològics de la zona. Els dipòsits quaternaris associats a la dinàmica fluvio-torrential presenten velocitats de propagació de les ones compressives compreses entre 256 i 2.196 m/s. L'existència d'una zona saturada en aquests materials es manifesta sísmicament per un canvi de velocitat. El nivell freàtic mostra una velocitat de propagació de les ones P d'entre 1.695 i 2.196 m/s.

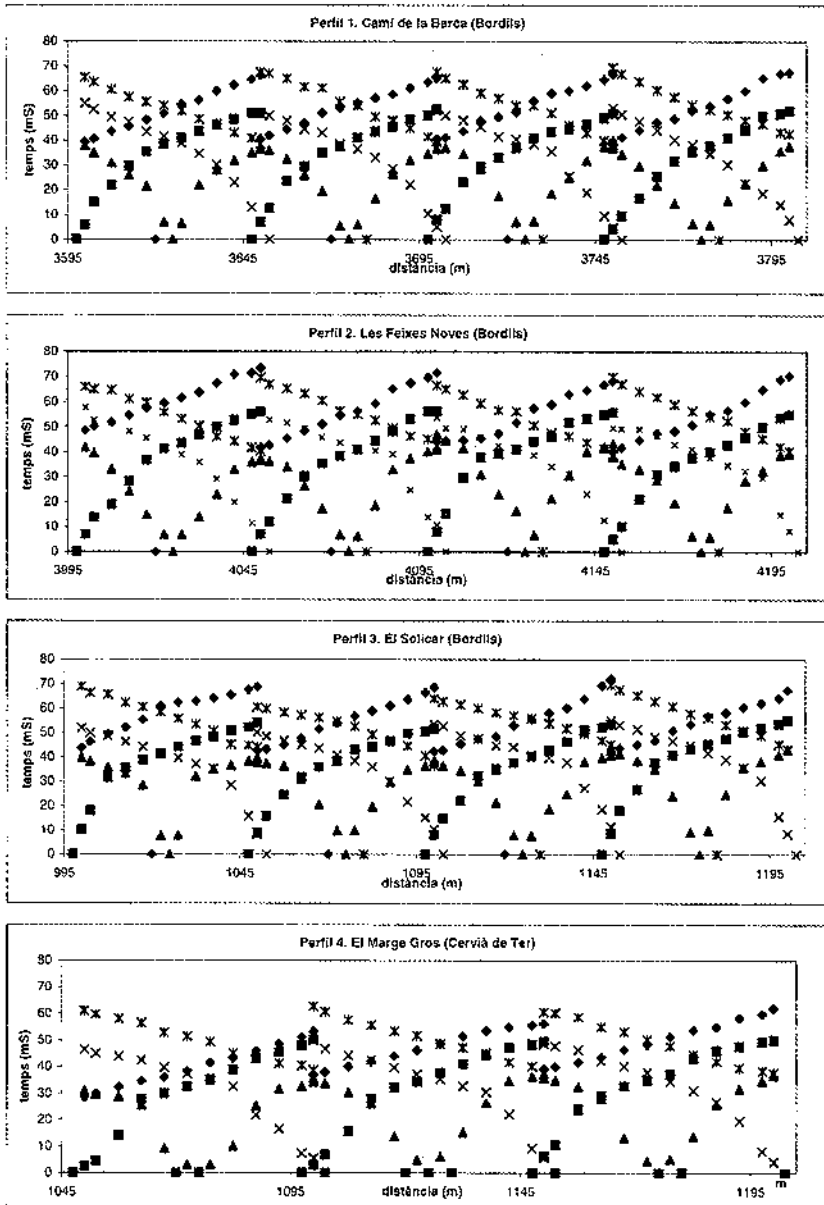


Figura 7. Exemples de cromocroniques dels perfils sísmics 1, 2, 3 i 4.

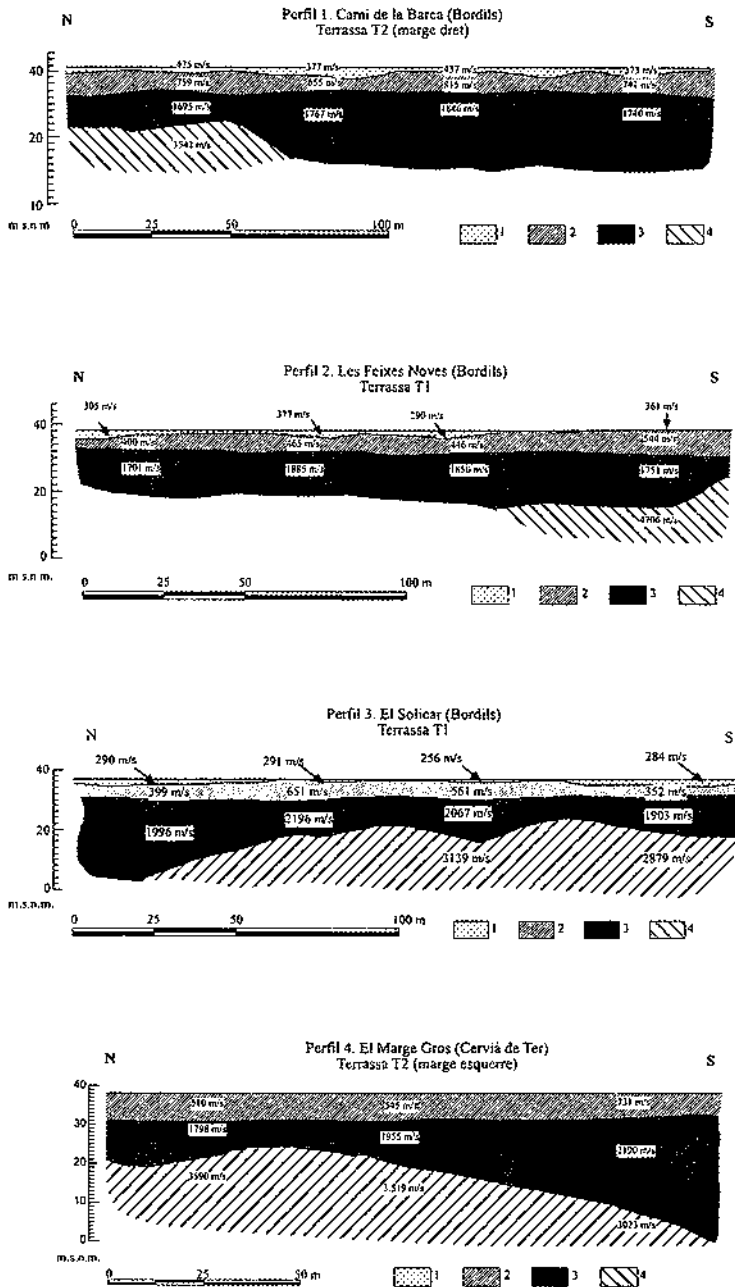


Figura 8. Interpretació dels perfils 1, 2, 3 i 4. Llegendra: 1, sòl superficial; 2, sediments al·luvials no saturats; 3, sediments al·luvials saturats; 4, sòcol prequaternari.

CONCLUSIONS

L'estudi regional dels àrids ha de ser abordat amb mètodes i tècniques adequades a les escales de treball i que permetin valorar les quantitats i les qualitats naturals dels recursos disponibles. El procediment metodològic més estès dona prioritat a l'ús conjunt de mètodes tradicionals de camp i mètodes de prospecció geofísica, dissenyats per proporcionar el màxim d'informació útil amb el mínim cost (Langer i Knepper, 1995; Lindsey, 1997; Sutphin et al., 1999; Barnett i Ellefsen, 2000).

A la zona estudiada s'han obtingut correlacions satisfactòries entre les variables geològiques analitzades i els paràmetres mesurats. Aquests són: profunditat i forma del nivell freàtic i velocitat sísmica, per un costat, i contingut en argila i conductivitat, per un altre. Destaquem el fet que el millor contrast de conductivitats entre les terrasses aptes i no aptes per a l'explotació d'àrids es dona per a zones d'exploració per sobre del nivell freàtic. La presència d'aigua tendeix a uniformitzar els registres de conductivitat aparent.

En aquesta línia, els bons resultats obtinguts amb els mètodes de prospecció geofísica utilitzats (EM i sísmic per refracció) ens porten a proposar-ne la utilització de manera extensiva en estudis regionals d'àrids naturals en l'àmbit del Ter mitjà.

Referències bibliogràfiques

- AGENCIA CATALANA DE L'AIGUA (ACA), 2002. Edicte de 24 de gener de 2002, pel qual es dona publicitat a l'Acord de 4 d'octubre de 2001, relatiu a l'ordenació de les extraccions d'àrids als aqüífers del delta del Fluvià i la Muga. DOGC núm. 3625, de 29-04-2002.
- ALMANZA, X. 2002. Aportació al coneixement i a la gestió ambiental dels recursos geològics en medis fluvials. Estudi de la cubeta de Celrà (tram mitjà del riu Ter. Girona). Treball de recerca. Inèdit.
- ASTIER, J.L. 1975. *Geofísica aplicada a la hidrogeologia*. Paraninfo. Madrid.
- AUTON, C.A. 1992. The utility of conductivity surveying and resistivity sounding in evaluating sand and gravel deposits and mapping drift sequences in north-east Scotland. *Engineering Geology*, 32, 11-28.
- BARNETT, A. i ELLEFSEN, K.J. (2000). *Assessment of the Alluvial Sediments in the Big Thompson River Valley, Colorado*. US Geological Survey Digital Data Series DDS-66. 11. <<http://greenwood.cr.usgs.gov/pub/dds/dds-066>>.
- BRINGEZU, S. i SCHÜTZ, H. (2001). *Total Material Requirement of the European Union. Technical report No 55*. European Environment Agency (EEA). <<http://www.eea.eu.int>>.
- CARRANZA, E.J. MANGAOANG, J.C. i HALE, M. 1999. Application of mineral exploration models and GIS to generate mineral potencial maps as input for optimum land-use planning in the Philippines. *Natural Resources Research*, vol. 8, núm. 2, 165-173.

- CUSTODIO, E. i LLAMAS, M.R. 1976. *Hidrología Subterránea*, vol. I i II. Barcelona. Ediciones Omega, SA
- EDET, A.E. 1990. Application of photogeological and electromagnetic techniques to groundwater exploration in Northwestern Nigeria. *Journal of African Earth Sciences*, vol. 11, núm. __, p. 321-328.
- ELLEFSSEN, K.J., LUCIUS, J.E. i FITTERMAN, D.V. 1998. *An Evaluation of Several Geophysical Methods for Characterizing Sand and Gravel Deposits*. US Geological Survey Open-File Report 98-221. 26.
- FONT, M., GOMÀ, F. i ROMANS, J. 1982. *Estudi sobre els àrids de les pedreres de les comarques gironines destinats principalment a la fabricació de morter i formigó*. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Girona. Girona.
- HAENI, F.P. 1988. *Application of Seismic-refraction Techniques to Hydrologic Studies. Techniques of Water-Resources*. Investigations of the United States Geological Survey. US Geological Survey. 86.
- HAZELL, J.R.T., CRATCHLEY, C.R. i PRESTON, A.M. 1988. The location of aquifers in crystalline rocks and alluvium in Northern Nigeria using combined electromagnetic and resistivity techniques. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, Londres, vol. 21, p. 159-175.
- LANGER, W.H. i KNEPPER, D.H. 1995. *Geologic Characterization of Natural Aggregate. A Field Geologist's Guide to Natural Aggregate Resource Assessment*. US Geological Survey Open-File Report 95-582. 32.
- LANGER, W.H. i LINDSEY, D.A. 1999. *Preliminary Report on Deposit Models for Sand and Gravel in the Cache la Poudre River Valley*. Open File Report 99-587. 27.
- LLEI 21 de juliol de 1973 (1973). MINAS. Llei reguladora. BOE 24 de juliol de 1973. Núm. 176.
- LINDSEY, D.A. 1997. *An Introduction to Sand and Gravel Deposit Models, Front Range Urban Corridor*. US Geological Survey Open-File Report 97-81. 6.
- Mc NEILL, J.D. (1980). *Electromagnetic Terrain Conductivity Measurement at Low Induction Numbers. Technical note TN-6*. Geonics Limited. Mississauga, Ontario, Canadà.
- SCOTT, M. i DIMITRAKOPOULOS, R. 2001. Quantitative analysis of mineral resources for strategic planning: implications for Australian Geological Surveys. *Natural Resources Research*, vol. 10, núm. 3, 159-177.
- SGC (1997). Mapa geològic de Catalunya 1:25.000, Sarrià de Ter 296-1-2. Institut Cartogràfic de Catalunya. Servei Geològic de Catalunya.
- SJÖGREN, B. i WAGER, O. 1969. On a soil and ground water investigation with the shallow refraction method at Mo I Rana. *Engineering Geology*, 3, 61-70.
- SUTPHIN, D. M., DREW, L. J. i FOWLER, B. K. 1999. *Estimated Gravel Resources of the Soucook River Valley, Loudon, New Hampshire, 7.5' Quadrangle Using Improved Techniques for Assessing Gravel Resources in Glaciofluvial Deposits*. US Geological Survey. <http://pubs.usgs.gov/posters/NH_gravel/index.html>.