



**Escola de Camins**  
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports  
UPC BARCELONATECH

**Rebliment sedimentari d'un  
Paleokarst. Formació Utrillas.  
Terra Alta, Tarragona.**

Treball realitzat per:

**Caterina Maria Martorell Melià**

Dirigit per:

**Ferran Colombo Piñol**

Grau en:

**Enginyeria Geològica**

Barcelona, 14 de juny de 2019

Departament d' Estratigrafia, Paleontologia i Geociències  
Marines.

**TREBALL FINAL DE GRAU**

# Índex

<b>Resum</b> .....	<b>4</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>4</b>
<b>Introducció</b> .....	<b>5</b>
Situació geogràfica .....	5
Context geològic.....	6
Antecedents .....	10
Paleogeografia del Cretaci en les Serralades Costaneres .....	10
Paleoclimatologia de l'Albià .....	12
Formació Arenes d'Utrillas.....	12
Paleokarsts en la zona d'estudi .....	16
Objectius del treball .....	17
Interès econòmic.....	18
Metodologia .....	18
Treball de Camp .....	18
Microscopia òptica i mostres de mà .....	18
Microscopi utilitzat.....	19
<b>Descripció de fàcies</b> .....	<b>20</b>
Emplaçaments laterals .....	20
Antiga Estació de Prat de Comte.....	20
Carretera C-43 Km 10 .....	21
Monument de la Pau.....	21
Descripció de fàcies de mostres de mà.....	22
Antiga Estació de Prat de Comte.....	23
Carretera C-43 Km 10 .....	23
Monument de la Pau.....	26
Descripció de fàcies al microscopi .....	27
Antiga Estació de Prat de Comte.....	28
Carretera C-43 Km 10 .....	29
Monument de la Pau.....	32
<b>Geometria deposicional</b> .....	<b>34</b>
Hidrodinàmica aplicada a la sedimentologia .....	34
Laminacions.....	34
Tipus de fluid i <i>bedform</i> .....	35
Cronologia dels materials.....	39
Deposicions seqüencials i durada del procés de rebliment .....	41

Fragments caiguts i pèrdues de càrrega .....	42
Discordança en la base de la Formació Arenes d'Utrillas .....	42
Cartografia detallada de l'aflorament principal (carretera C-43 km 10).....	42
<b>Discussió .....</b>	<b>46</b>
<b>Conclusions .....</b>	<b>47</b>
<b>Agraïments.....</b>	<b>49</b>
<b>Referències .....</b>	<b>49</b>

## Resum

Històricament, la Formació Arenes d'Utrillas ha estat exhaustivament estudiada. Després del desenvolupament d'un relleu kàrstic que va originar coves en la Formació calcàries i dolomies tableadas de Cuevas Labradas, dins d'aquests paleokarsts s'hi han reconegut materials que pertanyen a la Formació Arenes d'Utrillas. Aquests materials han estat identificats a partir d'estudis sedimentològics, petrogràfics i estratigràfics. Aquests estudis indiquen que el rebliment terrigen dels paleokarsts formen part de la Formació Arenes d'Utrillas. Les estructures primàries que s'originen en el rebliment indiquen que el flux era d'alt règim (*upper flow regime*) i turbulent. La successió del rebliment es troba situada entre l'Albià i el Cenomanià. La mineralogia, textura i morfologia dels grans indiquen que l'origen dels materials es troba en les quarsites armoricanes de l'Ordovicià. En algunes zones, el material es troba fortament afectat per agents de la bioturbació.

**Paraules clau:** Cretàcic, paleokarst, Formació Arenes d'Utrillas, rebliment terrigen, discordança basal.

## Abstract

Historically, the Sands Formation of Utrillas has been thoroughly studied. After the development of a karstic relief that originated caves in the limestone and dolomites Formation of Cuevas Labradas, within these paleokarsts materials have been recognized that belong to the Sands Formation of Utrillas. These materials have been recognized from sedimentological, petrographic and stratigraphic studies. These studies indicate that the terrigenous filling of the paleokarsts is part of the Sands Formation of Utrillas. The primary structures that originate in the filling indicate that the flow was an upper flow regime and, turbulent. The succession of the filling is located between Albian and Cenomanian stages. The mineralogy, the texture and the morphology of grains indicate that the origin of the materials is found in the Armorican quartzites of the Ordovician period. In some areas, the material is strongly affected by bioturbation agents.

**Key words:** Cretaceous, paleokarst, Sands Formation of Utrillas, terrigenous filling, basal discordance.

## Introducció

### Situació geogràfica

L'àrea d'estudi es troba en tota la seva totalitat dins la comarca de Terra Alta a Tarragona i està representada en les figures 1 i 2. L'àrea es troba repartida entre els municipis de Gandesa, Pinell de Brai i Prat de Comte. Es troba també dividida, entre la Serralada de Pàndols i la Serralada de Cavalls.

Aquestes dues serralades formen part dels Catalànides en la seva component més meridional. Els Catalànides, nom amb que Hernández Pacheco al 1934 va definir aquests relleus, van des de l'Empordà al fins a trobar-se amb la desembocadura de l'Ebre (Anadon *et al.*, 1979). Així, segueixen tota la costa catalana amb orientació NE-SW. Aquestes serralades, actualment, també reben el nom de Serralades Costaneres Catalanes on s'hi distingeixen la Serralada Prelitoral Catalana i la Serralada Litoral Catalana.

La Serralada Litoral Catalana va seguint la costa des del golf de Roses fins a la desembocadura del riu Foix a Garraf. La Serralada Prelitoral Catalana segueix la costa però està separada d'ella uns 30-60 Km depenent de la zona. Es dins la Serralada Prelitoral Catalana en la seva part més meridional que s'hi troben les Serralades de Pàndols i la Serralada de Cavalls.



Figura 1. Situació de l'àrea a gran escala dins Catalunya. El fragment de la cartografia topogràfica pertany al mapa topogràfic 1:1.000.000 de l'ICGC.

Figura 2. Situació de l'àrea detalladament centrat en les comarques de Terra Alta, Ribera d'Ebre, Baix Ebre i Montsià. El fragment de la cartografia topogràfica pertany al mapa topogràfic 1:1.000.000 de l'ICGC.

Dins l'àrea es distingeixen tres sectors diferents d'on s'han extret les mostres i on s'han fets els diferents estudis pel que fa a la geometria deposicional. Les zones són l'Antiga

Estació de Prat de Comte, el Monument de la Pau i el kilòmetre 10 de la carretera C-43 que va de Gandesa a Benifallet.

El sector de l'Antiga Estació de Prat de Comte es troba al final de la T-361 que uneix Prat de Comte amb l'Antiga Estació de Prat de Comte. El sector del Monument de la Pau es troba en el Camí de Santa Magdalena que es una desviació del Camí de la Fontcalda. L'aflorament es troba uns 800 m des de la bifurcació. L'aflorament del sector del kilòmetre 10 de la carretera C-43 es troba al marge nord-est del kilòmetre 10 de la carretera. En el tercer apartat de es descriu de forma més concreta aquests tres sectors esmentats.

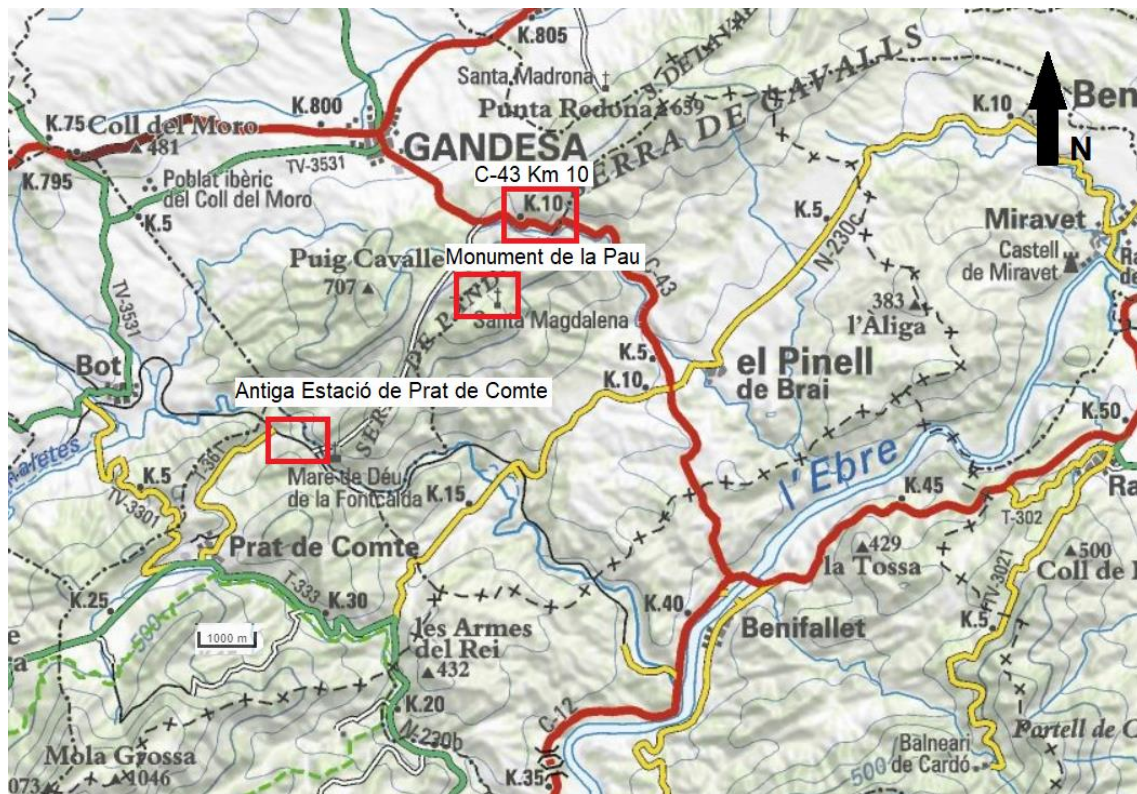


Figura 3. Distribució dels afloraments estudiats i la seva divisió per sectors. El fragment de la cartografia topogràfica pertany al mapa topogràfic 1:500.000 de l'ICGC.

### Context geològic

Les Serralades Costaneres Catalanes presenten una gran diversitat tant de materials com d'edat geològica. En part meridional, on es troba l'àrea d'estudi, representen la continuació oriental de la Serralada Ibèrica.

La història alpina dels Catalànides compren tres etapes. La primera és l'etapa prerogènica que inclou des de l'inici de la sedimentació postherciniana (Triàsic inferior) fins a l'inici dels primers episodis compressius. La segona etapa és la compressiva o orogènica que va tenir lloc durant el Paleogen i la darrera compren des del Neogen fins a l'actualitat i es l'etapa postorogènica o distensiva (Anadon *et al.*, 1979).



Geològicament es tracta d'una zona complexa on hi afloren molts tipus de materials de edats geològiques diferents i que s'ha vist afectada per diverses etapes tectòniques. De manera concreta, a l'àrea s'hi troben materials Cenozoics i Mesozoics. En la figura 4 es pot veure la distribució dels materials en l'àrea de l'estudi i en la taula 1 un resum de les diferents fàcies, formacions i grups que hi aforen.

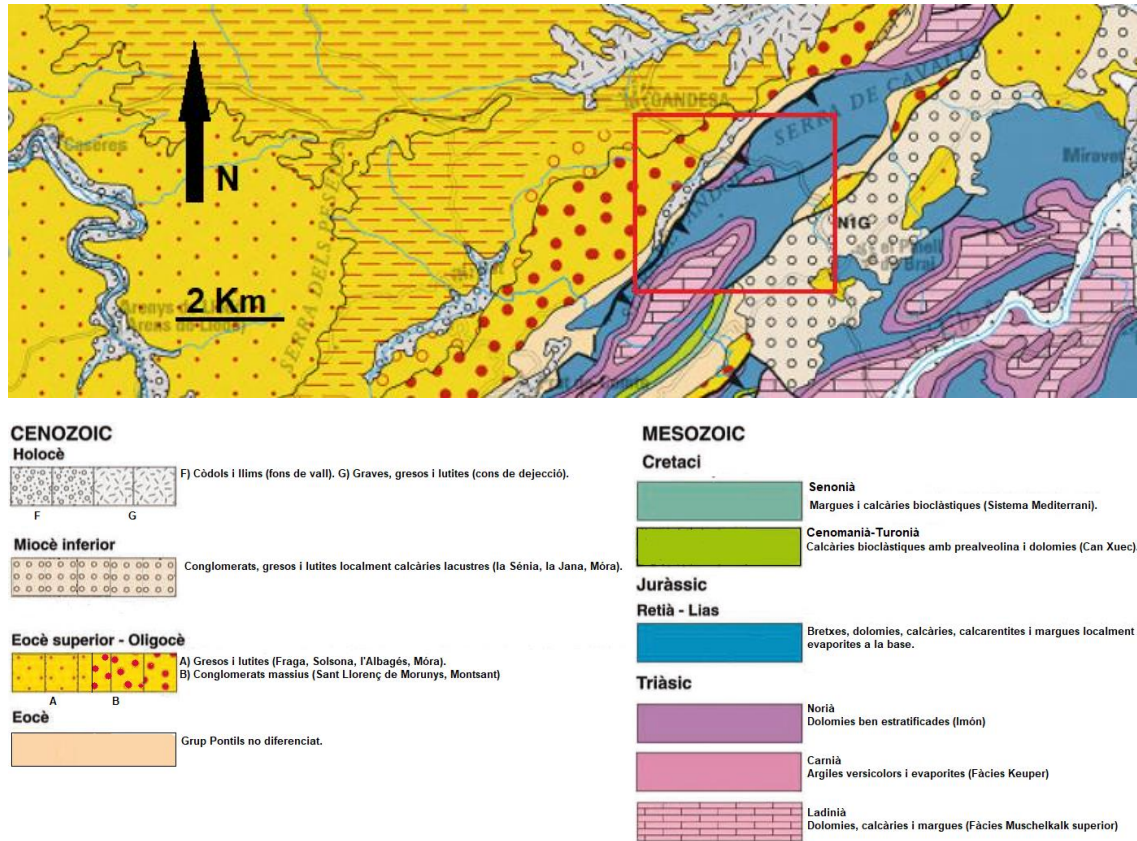


Figura 4. Situació de l'àrea detallada entre les poblacions de Pinell de Brai, Gandesa i Prat de Comte. El fragment de la cartografia geològica pertany al mapa geològic 1:250.000 de l'ICGC i Llegendra dels materials i temps geològic de la figura 4.

En el Cenozoic es troben còdols i llims de fons de vall, graves, gresos i lutites de cons de dejecció de l'Holocè. Conglomerats, gresos i lutites que localment poden ser calcàries lacustres del Miocè inferior. Gresos i lutites i conglomerats massius de l'Eocè superior-Oligocè. Finalment, s'hi troba el Grup Pontils que és un grup no diferenciat de l'època Eocena.

En el Mesozoic hi ha representades les tres eres: Cretaci, Juràssic i Triàsic. Del Cretaci afloren margues i calcàries bioclàstiques del Senonià i calcàries bioclàstiques amb prealveolines i dolomies del Cenomanià-Turonità.

Del Juràssic s'hi troben bretxes, dolomies, calcàries, calcarenites i margues amb evaporites localment a la base de l'estrat del Retià-Lias que poden formar part de la Formació calcàries i dolomies tableadas de Cuevas Labradas i la Formació Carnioles Cortes de Tajuña.

Del Triàsic hi ha representats les dolomies ben estratificades del Norià que són la Formació Dolomies Tableades d'Imón. Aquestes tres formacions van esser definides per Antonio Goy al 1976. Les argiles versicolors i evaporites del Carnià de les Fàcies Keuper. I finalment les dolomies, calcàries i margues del Ladinià que són les Fàcies Muschelkalk superior.

Totes aquestes unitats mesozoiques es veuen afectades per una falla inversa local d'orientació nord-est sud-oest. També s'hi troben algunes falles menors no estan classificades i d'orientació similar a la principal que afecten també a la totalitat de les unitats mesozoiques.

Existeix en aquesta zona una important llacuna estratigràfica que va des del Lias (Juràssic inferior) fins a l'Albià (Teixell, 1986).

Era	Període	Època	Edat	Grups, formacions i fàcies
Cenozoic	Neogen	Holocè		Grup Pontils
		Miocè Inferior		
	Paleogen	Eocè Superior		
		Eocè		
Mesozoic	Cretaci	Superior	Senonià	Formació Arenes d'Utrillas
			Turonià	
			Cenomanià-Albià	
	Juràssic	Lias		Formació calcàries i dolomies tableadas de Cuevas Labradas i Formació Carnioles Cortes de Tajuña
	Triàsic	Superior	Norià	Formació Dolomies Tableadas d'Imón
			Carnià	Fàcies Keuper
Mitjà			Fàcies Muschelkalk	

Tabla 1. Taula resum dels temps geològics i les seves respectives formacions que apareixen en l'àrea d'estudi.



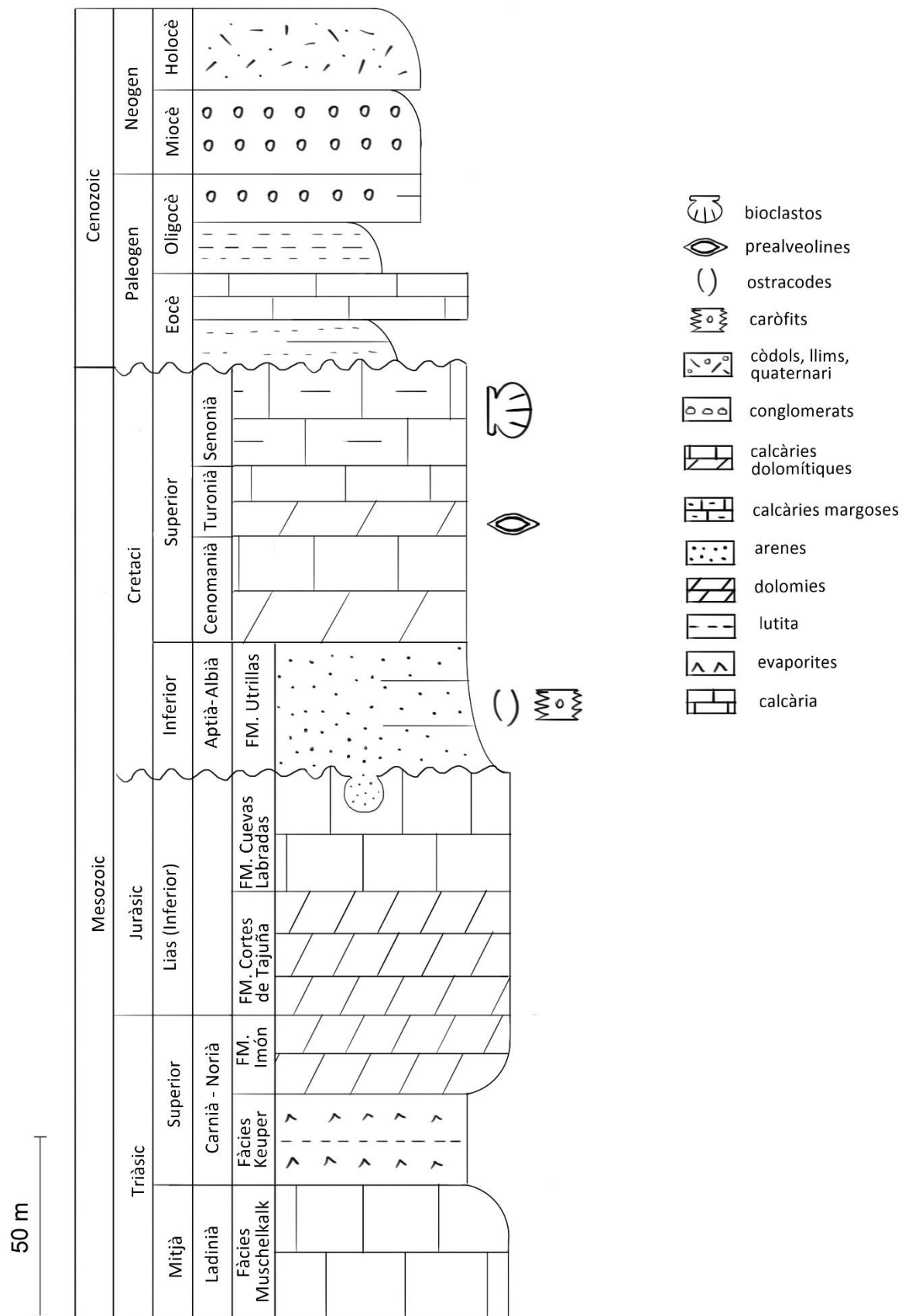


Figura 5. Columna estratigràfica dels materials que s'han observat en la zona de treball.

Una vegada al camp s'ha pogut confirmar bona part del que indicava el mapa geològic i s'ha confeccionat una columna estratigràfica amb els materials que s'han pogut observar a la zona (figura 5).

Les unitats que s'han observat al camp concorden en gran mesura amb les que es van observar amb el mapa. En l'era Cenozoica no coincideixen del tot. Al camp s'han pogut observar unes lutites laterítiques (unitat laterítica, Eocè), calcàries d'origen lacustre (unitat lacustre, Eocè), una unitat de gresos i lutites (grup Cornudella, Oligocè) i una unitat de conglomerats i gresos (grup Scala Dei, Miocè). Així com un Quaternari (Holocè) format majoritàriament per còdols, arenes i llims. Aquestes unitats es troben totes representades en la columna estratigràfica de la figura 5.

Les discordàncies que s'han pogut observar són entre la Fm. Arenes d'Utrillas i la Fm. Cuevas Labradas (discordància basal d'Utrillas) i la discordància entre les calcàries margoses del Senonià i les lutites i arenes laterítiques de l'Eocè. La discordància que interessa més per aquest treball és la primera discordància ja que afecta als materials que constitueixen tant els paleokarst com els rebliments de la Formació Arenes d'Utrillas.

## **Antecedents**

### Paleogeografia del Cretaci en les Serralades Costaneres

Durant el Cretaci la conca catalànide va ésser molt mòbil i per tant es van crear diverses situacions paleogeogràfiques. Aquests canvis s'intenten explicar relacionant-los a la tectònica regional o amb altres causes de major magnitud. També depèn de la secció i del domini dels Catalànides que s'estudiï (veure figura 6).

Durant el Juràssic la paleogeografia i la sedimentació de la conca es veia afectada per un sistema de fractures amb direcció NW-SE. Això afavoria que es sedimentés de manera més continua i potent el domini meridional (Anadon *et al.*, 1979). Durant aquest període es desenvolupen la Formació calcàries i dolomies tableadas de Cuevas Labradas i la Formació Carnioles Cortes de Tajuña.

Després del Kimmeridgià inferior (155,7 Ma) la conca esdevé més somera de forma progressiva. Aquest procés acaba amb una emersió que afecta a bona part de la regió fins i tot a zones internes de la conca (àrea de Perelló) això provoca la discontinuïtat de la base de la macroseqüència del Neocomià. Es considera que es llavors que s'inicia el cicle sedimentari del Cretaci (Robles, 1982).

L'inici del cicle cretàic també va lligat al canvi de l'esquema de control tectònic de la conca. A partir d'aquest moment i durant tot el Cretaci inferior la paleogeografia i la sedimentació es troben sota l'influència d'un sistema de fractures direcció NE-SW. Això provoca l'esfondrament dels blocs sud-orientals i afavorint que la sedimentació es concentri en el sector intern (Anadon *et al.*, 1979).

En el Berriasià s'inicia la transgressió i com a mínim tot el sector intern (Perelló-Montmell-Garraf) queden per sota del nivell d'un mar somer. El sector intern abans havia estat emergit juntament amb el sector extern i l'intermedi i per tant sotmesos a processos erosius. En les zones cobertes per el mar es desenvolupa una plataforma interna, somera i restringida on sedimenten fàcies carbonatades d'algues de tipus Dasycladàcies i Miliòlids (Robles, 1982).

Aquest esquema general es manté durant el Valanginià, el Hauterivià i bona part del Barremià. Esporàdicament, es desenvolupen ambients lacustres i palustres on s'hi formen fàcies carbonatades i margoses de Caròfits i Ostracodes que sofreixen una gran reducció de l'espessor. Això canvia dràsticament durant el Barremià quan el sector intern emergeix quedant en un ambient continental que fa que es desenvolupin horitzons laterítics (Robles, 1982).

Aquest episodi continental no te una durada molt llarga. Durant el Barremià superior ocorre una nova transgressió que arriba fins al sector intermedi. En la seva base es desenvolupen fàcies d'Ostreïds, Miliòlids i Dasycladàcies que són substituïts ràpidament per fàcies calcàries de Rudistes, Orbitolines i Dasycladàcies. Aquests dipòsits sofreixen una reducció de l'espessor. Durant el Barremià i part de l'Aptià la transgressió del mar es fa més forta i apareixen fàcies més marines (Robles, 1982).

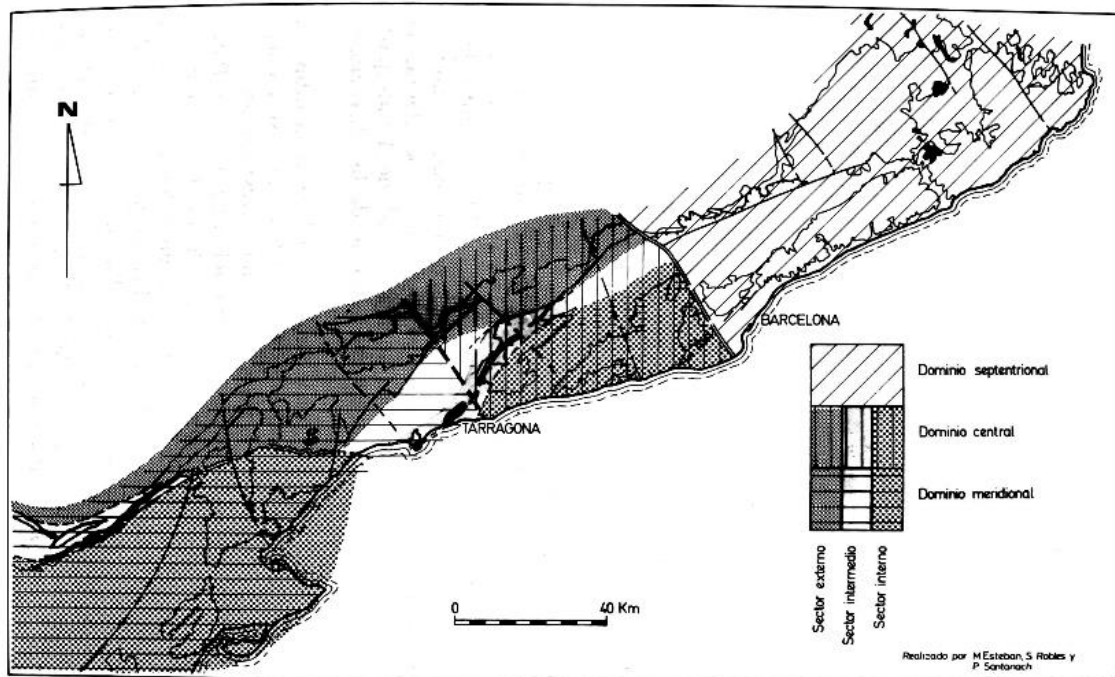


Figura 6. Dominis i sectors dels Catanànides (Robles, 1982).

Durant l'Albià inferior s'inicia una fase regressiva que afecta de ple als sectors externs i intermedi que queden en condicions subaèries, mentre que en el sector intern de la conca es desenvolupen fàcies més profundes i distals. Es durant aquesta emersió dels sectors intermedi i extern que es formen les fàcies detrítiques continentals en la Serra de Llabreria que Aguilar *et al.* al 1971 defineix com Formació Arenes d'Utrillas (Robles, 1982).

De nou en el Cenomanià el mar torna transgredir el sector extern del domini meridional i es formen ambients litorals i unes fàcies constants de calcàries amb Prealveolines que van precedides dipòsits dolomítics litorals (Robles, 1982).

### Paleoclimatologia de l'Albià

Durant l'Albià inferior basal es genera i desenvolupa un cinturó equatorial humit relacionat amb la connexió de l'Atlàntic Nord i l'Atlàntic Sud. Això, va forçar el desplaçament dels cinturons àrids a paleoaltituds majors. La Conca Ibèrica i la major part d'Iberia van quedar situades en latituds subtropicals sota l'efecte de condicions climàtiques àrides (Chumakov et al., 1995).

### Formació Arenes d'Utrillas

La Formació Arenes d'Utrillas ha estat estudiada per experts de la geologia des de fa més de 150 anys. Fallot i Bataller (1927) van començar a utilitzar el concepte de "Capès d'Utrillas". Però no va ser definida formalment fins 1971 per Aguilar, Ramírez Del Pozo y Riba, a la zona d'Utrillas-Villarroya de los Pinares (Teruel) que també van definir la Fm. Lignits d' Escucha que estratigràficament es troba a sota de la Formació Arenes d'Utrillas (figura 8).

La Fm. Arenes d'Utrillas està formada per arenès siliciclàstiques de colors variats i es troben poc consolidades. Es van depositar entre l'Albià (entre 113 i 99,6 Ma) i el Cenomanià (entre 99,6 i 93,5 Ma). De manera més concreta, entre l'Albià superior i el Cenomanià inferior segons Aguilar *et al.* (1971).

### *Descripció*

La potència de la Fm. Arenes d'Utrillas varia molt en relació al lloc, així, en la regió vasco-cantàbrica es poden arribar a entre 100 i 500 m de potència i en d'altres com a les Serralades Costaneres és més escassa i es troba al voltant d'uns 4-5 m o menys en algunes regions marginals (Robles, 1982).

Està formada per arenès, gresos i argiles amb una coloració molt marcada que varien entre el blanc, groc, verd grisenc i vermell (Esteban, 1973). En el sostre i en la base de la Formació es poden observar crostes de limonita al voltant de grans de quars, nòduls ferruginosos i capes de gresos limonítics amb restes vegetals limonitzats (Robles, 1974). En les zones deprimides s'hi concentra una major quantitat d'argiles també de colors variats (Robles, 1982).

La mineralogia de les arenès és bàsicament quars. Presenten estructures tractives primàries de petita a gran escala. Les mides més abundants són arenès de gra fi i de gra mitjà. Pel que fa a la mida, els grans són bastant semblant entre ells. La Formació no presenta matriu i rarament es troben cimentades (Robles, 1982). Es per això, que es denomina la Formació com Arenes d'Utrillas i no com a gresos.

En els sectors extern i intermedi el contacte inferior de la Formació és erosiu. A sota hi trobem diferents nivells de Lias (Juràssic Inferior) o Dogger (Juràssic Mitjà) en el sector extern i nivells de Cretàcic en el sector intermedi (Robles, 1974). D'altra banda, el límit superior de la Formació és sobtat i nítid. Lateralment la Formació pot quedar reduïda a algun decímetre de crosta ferruginosa o fins i tot desaparèixer per complet per no deposició (Robles, 1982).

La Formació Utrillas ha estat interpretada com un conjunt d'acumulacions residuals i depòsits continentals fluvials que poden estar alterats per processos edàfics sinsedimentaris en algunes zones (Robles, 1982).

#### Aspectes regionals i fòssils

En les Serralades Costaneres, la Fm. Utrillas aflora sobretot en el sector extern del domini meridional. De forma més local també aflora en el sector intermedi dels dominis central i meridional. En el sector septentrional de les Serralades Costaneres no hi ha presència de materials Mesozoics. En els sectors intermedi i extern del domini meridional no s'hi troben grans variacions, només pel que respecta a la potència que pot arribar als 14 m i a la proporció d'arenas i argila.

En zones del sector intermedi de les Serralades Costaneres s'hi ha trobat fòssils marins, pel que s'hi troben algunes intercalacions d'episodis marins somers (Robles, 1982). Aquests sectors estan representats en la figura 7. Freqüentment, es poden trobar en aquesta Formació restes fòssils d'ostracodes, ostreïds, gasteròpodes, equinoderms, miliòlids i foraminífers (Robles, 1982).

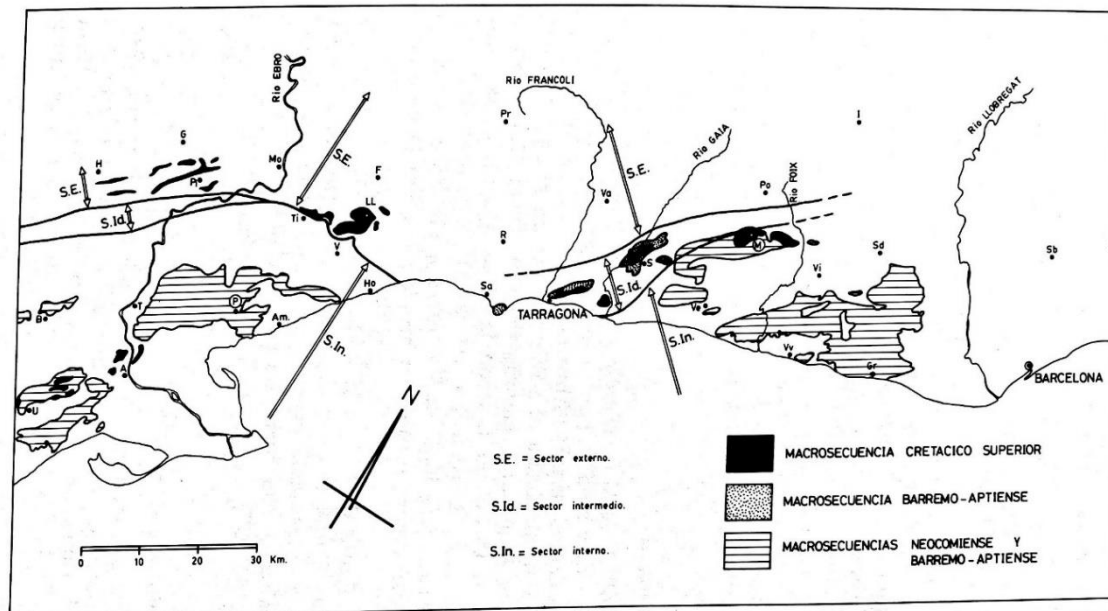


Figura 7. Afloraments de Cretaci en les Serralades Costaneres. Distribució de les macroseqüències Cretaci Superior, Barremià-Aptià i Neocomià. En el sector extern aflora exclusivament la macroseqüència del Cretaci Superior, en el sector intermedi apareixen principalment les



macroseqüències Barremià-Aptià i del Cretaci Superior i en el sector intern afloren les macroseqüències Barremià-Aptià i localment la del Cretaci Superior. (Robles, 1982)—U. Uldecona. —B. Mas de Barberans. —A. Amposta. —T. Tortosa. —P. Perelló. —Am. Ametlla de Mar. —Ho. Hospitalet de l'Infant. —V. Vandellós. —Ti. Tivissa. —H. Horta de Sant Joan. —G. Gandesa. —Pi. Pinell de Brai. —Mo. Mora d'Ebre. —Ll. Llabreria. —F. Falset. —Sa. Salou. —R. Reus. —Pr. Prades. —Va. Valls. —S. Salomó. —Po. Ponstons. —I. Igualada. —Ve. Vendrell. —M. Marmellar. —Vi. Vilafranca del Penedès. —Vv. Vilanova i la Geltrú. —Sd. Sant Sadurní d'Anoia. —Gr. Garraf —Sb. Sabadell.

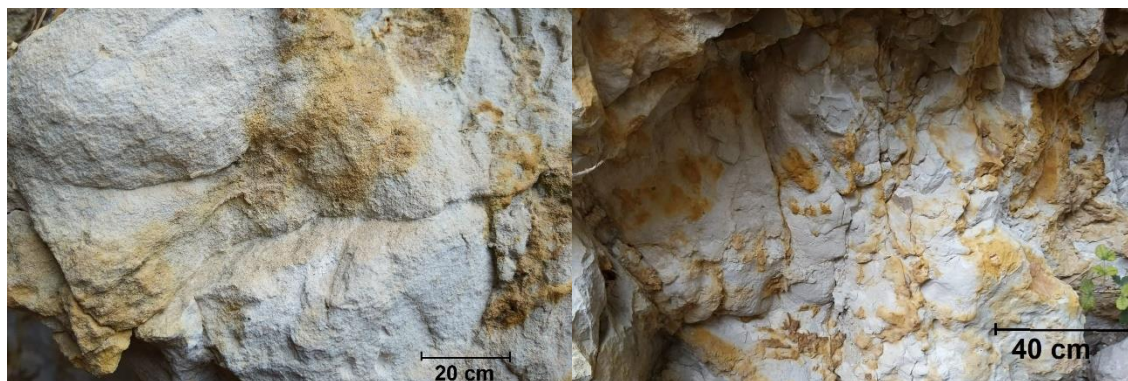


Figura 8. Formació Arenes d'Utrillas en la zona d'estudi.

### Gènesi

Segons Segura *et al.* (2013) i Marfil *et al.* (1992) els grans de quars que conformen la Fm. Arenes d'Utrillas tenen les quarsites armorianes i quarsos de venes hidrotermals com a font litològica.

En general, la Formació Arenes d'Utrillas va ser interpretada per Pardo (1979) com un depòsit en un sistema fluvial. Aquest depòsit es desenvoluparia de NO a SE en forma de cursos meandriformes amb amplies conques d'inundació o trenats (*braided*). Més endavant Pardo *et al.* (1981) apunten que en la part del sostre aquestes arenas podrien presentar influència mareal.

De manera més concreta Robles (1982) interpreta que en el sector extern i en bona part del sector intermedi dels dominis meridionals de les Serralades Costaneres tenen caràcters continentals, es tracta de depòsits residuals i fàcies fluvials. En la resta del sector intermedi meridional es tracta de fàcies costaneres litorals amb intercalacions continentals. Això reflecteix un període d'emersió generalitzat en tots els dominis de les Serralades. El sector intern aquesta sedimentació marina pot haver estat pràcticament continua.

Les Formacions Escucha i Utrillas es troben compreses en la seva àrea tipus entre les plataformes carbonatades urgonianes (complexos blancs i rics en rudistes) i les plataformes carbonatades del Cretaci Superior. La Fm. Escucha es considerada l'última unitat *sinrift* depositada durant el *rifting* Juràsic Superior-Cretaci Inferior que va afectar a la Conca Ibèrica, mentre que la Formació Arenes d'Utrillas es considera la primera unitat *postrift* (Salas *et al.*, 1993).

En la zona de Terra Alta on aflora només la Formació Arenes d'Utrillas aquesta no està compresa entre les plataformes carbonatades urgonianes i les plataformes carbonatades del Cretaci Superior. Com es detalla en els següents apartats, s'ha pogut observar que la Fm Arenes d'Utrillas es troba per sobre de la Formació Cuevas Labradas (calcàries micrítiques) i en algunes zones per sobre de la Formació Cortes de Tajuña (dolomies i calcàries bretxoides) i per sota de les plataformes carbonatades del Cenomanià (dolomies ocre ben estratificades i calcàries amb fauna en el sostre). Per tant, la unitat del sostre coincideix amb les observacions dels autors esmentats amb anterioritat.

### *Edat*

L'edat de la Formació Arenes d'Utrillas ha estat font de discussió. És difícil determinar amb exactitud l'edat geològica de la Formació ja que no s'hi troben una quantitat important de fòssils que serveixin per a determinar-la. Depenent de l'autor la Utrillas pot haver-se format en moments diferents.

Els primers en datar la Fm. Arenes d'Utrillas van ser Tricalinos (1929), Brinkmann (1931) i Richter i Teichmüller (1933) que van agafar el concepte de "capes d'Utrillas" de Fallot y Bataller (1927). Tots aquests autors recullen tots el dipòsits terrigen que estan sobre les fàcies calcàries de l'Aptià es a dir inclouen l'actual Formació Lignits d'Escucha i daten el conjunt d'Utrillas i Escucha en l'Albià.

Gairebé mig segle després Aguilar et al. (1971) diferencien en aquests materials de la regió d'Utrillas dos cossos rocosos. La Formació Lignits d'Escucha i la Formació Arenes d'Utrillas. Situen el primer cos en una edat Aptià Superior-Albià Inferior i coincideix amb el final de la sedimentació del cicle urgonià. Mentre que el segon es d'edat Albià superior-Cenomanià inferior, i constitueix el principi de la sedimentació del Cicle superior del Cretaci (Meléndez *et al.*, 1975).

Per a Robles (1982) tant els materials de la Formació Arenes d'Utrillas amb fàcies amb intercalacions marines com en les fàcies continentals es situen entre materials de l'Aptià i del Cenomanià inferior.

El fet de que s'hagin trobat foraminífers bentònics en els materials suprajacents a la Fm. Arenes d'Utrillas ha fet possible estudis més precisos i detallats pel que fa a la cronoestratigrafia.

Autors com García *et al.*, (1978), Carenas (1987), Calonge (1989) i Bravo i García (1993) han realitzat anàlisis seqüencials més elaborats i exactes que han acabat determinant l'edat de la Fm. Arenes d'Utrillas com Albià superior-Cenomanià inferior. Avui en dia es contempla que les Arenes d'Utrillas s'extenen de l'Aptià (Arias, 1978) fins al Santonià (Gil, 2002).

## Reinterpretacions

La Formació Arenes d'Utrillas s'havia interpretat com un sistema fluvial trenat i meandriforme (Pardo, 1979). Aquesta tesi va estar sostinguda per Pardo *et al.* (1991) Querol *et al.* (1992). Recentment autors com Gil *et al.* (2004) i Rodríguez-López *et al.* (2009) han fet algunes reinterpretacions al respecte.

El primer sosté que es tracta d'un conjunt de cossos de roques amb diferències de fàcies, de disposició paleogeogràfica i d'edat però amb un significat genètic en comú. Constitueixen les terminacions terrígenes de les plataformes carbonatades desenvolupades en la Vall Ibèrica cap al Massís Ibèric durant els varis episodis deposicionals del Cretaci superior. Així, inclou la Fm. Escucha dins la Fm. Utrillas.

Rodríguez-López *et al.* (2009) van més enllà i deixen de relacionar la Fm. Utrillas amb un sistema fluvial per interpretar-lo com un sistema desèrtic erg, es a dir un sistema eòlic. Primerament situen una superfície de discontinuïtat regional que es trobaria per sobre de l'interval superior argilós de la Formació Lignits d'Escucha. El límit entre la Fm. Lignits d'Escucha i la Fm. Arenes d'Utrillas que va ésser estudiat i establert per Cervera *et al.* (1976) i Prado (1979) és reconegut per Rodríguez-López *et al.* (2009) com a una superfície límit vinculada a la deflació i l'exposició subaèria que es desenvolupa dins d'un sistema sedimentari desert i que separa diferents estadis evolutius del mateix sistema (Rodríguez-López, 2008). La majoria de les diferents unitats definides pels autors anteriors Aguilar *et al.* (1971), Cervera *et al.* (1976), Pardo (1979), Querol (1990) i Querol *et al.* (1992) tenen la seva equivalència en les noves unitats, que són definits com intervals, de Rodríguez-López *et al.* (2009) (figura 9).



Figura 9. Equivalència de les unitats prèvies proposades per Aguilar *et al.* (1971), Cervera *et al.* (1976), Pardo (1979), Querol (1990) i Querol *et al.* (1992) i les propostes de Rodríguez-López *et al.* (2009).

## Paleokarsts en la zona d'estudi

Per a referir-se a un sistema kàrstic relacionat amb un context hidrològic (sovint amb una superfície d'exposició subaèria) que es desenvolupa en gran part o totalment durant períodes geològics passats s'utilitza el terme paleokarst (Choquette y James, 1988). El tipus de morfologia kàrstica que interessa per aquest treball són les coves i els avencs ja que es poden convertir amb veritables rius subterranis.

Els sistemes kàrstics són típics de zones amb un clima temperat i pluges abundants. Aquests es creen per la dissolució de la calcita. Ja que el karst es un sistema drenatge,

es diu que aquest deixa de ser actiu quan perd la seva funció hidrològica. Això es dona per canvis en el context geotectònic i canvis en el nivell del mar (Andreu *et al.*, 2016). Ambdues situacions es van donar en el canvi entre el Juràssic i el Cretaci en els Catalànides. També pot ocórrer aquesta pèrdua de funcionalitat degut a canvis climàtics (Galán, 1991).

La zona d'estudi presenta unitats calcàries juràssiques que en aquest treball son reconegudes com la Fm. Carnioles de Cortes de Tajuña i Fm. Calcàries i Dolomies Tableades de Cuevas Labradas definides per Goy, A., Gómez, J.J. i Yébenes, A. (1976) en les quals s'hi troben paleokarsts.

En la zona de Prat de Comte s'hi troben gresos quarsosos poc cimentats, de color blanquinós i amb ferruginitzacions que aporten als gresos, apart del blanc, tonalitats liles i grogues. Els gresos i arenes omplen cavitats juràssiques de dimensions mètriques i decimètriques. Aquests materials tenen les mateixes característiques que la Fm. Arenes d'Utrillas que es troba per sobre de les unitats del Lias (Teixell, 1986).

### **Objectius del treball**

El present treball s'ha centrat en l'estudi del rebliment terrigen de gresos poc cimentats i arenes quarsítiques que hi ha en els paleokarsts juràssics de les Serres de Pàndols i Cavalls a la comarca de Terra Alta.

Aquests rebliments ja havien estat mencionats en el passat (Teixell, 1986) tot i que no s'havia aprofundit en la seva descripció ni en la geometria deposicional que presenten dins dels paleokarsts. Així doncs, els principals objectius d'aquest treball es poden resumir en els següents punts:

- Aportar noves dades sobre la mineralogia del rebliment del paleokarst.
- Determinar l'origen primari dels materials terrígens que formen el conjunt del rebliment.
- Dur a terme una caracterització mineralògica i petrogràfica, textural i de fàbrica a partir de les mostres obtingudes en la campanya de camp.
- Cartografiar l'aflorament principal en detall.
- Descriure el tipus de flux que va afectar el paleokarst i va permetre la sedimentació del rebliment. Així com els tipus de deposicions i les seves característiques.
- Acotar la durada del procés de creació de l'aflorament.
- Explicar l'ordre cronològic de successió dels diferents episodis i elements que formen el conjunt dels afloraments.

## **Interès econòmic**

La naturalesa porosa dels sistemes kàrstics fan d'ells uns ambients òptims per a la concentració de recursos minerals i energètics. Destaquen entre ells jaciments de sulfurs metàl·lics i d'hidrocarburs. Aquests sistemes que es troben en climes temperats i plujosos son susceptibles per a que s'hi concentrin determinats minerals generats per lixiviació de silicats com poden ser els oxihidroxids d' alumini, ferro, manganès i titani (Galán, 1991).

En el cas dels paleokarsts de la zona d'estudi, el karst es va veure enterrat i omplert per la Formació Arenes d'Utrillas, que estratigràficament es troba per sobre del karst. Al tractar-se d'arenes poc cimentades aquestes constitueixen un sistema porós. Tant les arenas com les calcàries són roques magatzem per a possibles jaciments. Això, conjuntament amb trampes de tipus estructural i/o estratigràfiques fa que aquest grup de materials puguin constituir un jaciment d'hidrocarburs.

D'altra banda aquests materials també poden constituir un aqüífer. Es tractaria d'un bon magatzem per la seva porositat i un bon transmissor pel que fa a la velocitat de l'aigua al tractar-se d'arenas i calcàries amb cavitats (Bosch, 2001).

Mitjançant mètodes geofísics es podria determinar si algun tipus de fluid ocupa els porus i fissures dels materials de la zona en l'actualitat, ja que hi ha ara per ara pous en la zona que exploten aquestes aigües.

## **Metodologia**

### Treball de Camp

Per a realitzar el present treball es va portar a terme una campanya de camp al juny de 2018. La campanya va consistir en reconèixer, escollir i descriure els principals afloraments. Així com, recollir les mostres necessàries per poder-les analitzar tant com a mostres de mà com amb microscopi òptic. També es va cartografiar a mà l'aflorament principal per així després poder-lo cartografiar de manera detallada. Finalment, es van realitzar una sèrie d'esbossos i observacions dels afloraments per després poder descriure tant el tipus de flux que va facilitar la deposició com la seva mineralogia i aspectes texturals.

Abans d'anar al camp es va realitzar una recopilació bibliogràfica i cartogràfica que va permetre acotar l'àmbit del treball. Aquesta recopilació es va utilitzar en bona part per fer la introducció d'aquest treball.

### Microscopia òptica i mostres de mà

Es van serrar seccions de les mostres per poder observar amb més detall les textures que presenten les mostres. Seguidament es van escollir les mostres amb les estructures més ben desenvolupades així com també les que mostraven alguna característica diferent a la resta.



Es van polir 12 d'entre totes les mostres que es van recollir al camp i amb aquestes mostres es van preparar un total de 13 làmines primes per observar amb un microscopi òptic de llum transmesa.

#### Microscopi utilitzat

El microscopi emprat per a l'observació i descripció de les làmines primes és un microscopi òptic marca Zeiss i model MRc-5 amb càmera AxioCam. El microscopi té cinc objectius diferents: 2,5x / 0,075; 5x / 0,15; 10x / 0,30; 40x / 0,85 i 100x / 1,30. Els objectius que s'han utilitzat per realitzar les observacions són els quatre primers.

Pel que fa a les fotografies, l'objectiu utilitzat és el 10x, ja que es com es poden observar millors tots els components mineralògics i petrogràfics.

### **Descripció de fàcies**

Aquest apartat del treball es centra en descriure les fàcies tant a escala microscòpica com a nivell de mostres de mà. Es caracteritzen la mineralogia, els aspectes texturals i de fàbrica, la presència de fòssils, porositat i d'estructures sedimentaries de cada mostra.

### **Emplaçaments laterals**

Els emplaçaments laterals escollits són, com es deia en la introducció, la zona de l'Antiga Estació de Ferrocarrils de Prat de Comte, el kilòmetre 10 de la carretera C-43 i un aflorament en la zona del Monument a la Pau a la Serra de Pàndols.

#### Antiga Estació de Prat de Comte

El primer aflorament correspon a la zona de l'Antiga Estació de Ferrocarrils. Allà es recolliren mostres del sostre del túnel i de la zona lateral sud just devora la boca del túnel (figura 10). En aquest aflorament es pot veure el contacte entre la Fm. Arenes d'Utrillas i la Fm. Cuevas Labradas. Les coordenades exactes de l'emplaçament són les següents UTM31N-ERTS89 4542260,2N i 283189,4E.



*Figura 10. Aflorament de la Fm. Arenes d'Utrillas i emplaçament de la zona de l'Antiga Estació de Ferrocarrils de Prat de Comte.*

### Carretera C-43 Km 10

El segon emplaçament és molt més fàcil d'ubicar que els altres dos ja que correspon a la fita del kilòmetre 10 de la carretera C-43. De totes maneres, les coordenades exactes de l'aflorament són les que segueixen: UTM31N-ERTS89 4546295,2N i 287305,9E.

Aquest és l'aflorament principal en que es basa el treball ja que es pot observar clarament com la Fm. Arenes d'Utrillas es troba dins del paleokarst de la Fm. Cuevas Labradas (figura 11).

Més enllà en el km 9 de la carretera es pot observar un plec. Aquest plec afecta a tots els materials de la zona fins als materials cenozoics. Es tracta d'un plec anticlinal ja que, en el nucli hi ha les Fàcies Keuper i per sobre les unitats juràssiques. Això origina una discontinuïtat entre la Formació Utrillas i la Formació Cuevas Labradas.

En aquest aflorament podem observar la geometria deposicional de la Fm. Arenes d'Utrillas dins el paleokarst de la Fm. Cuevas Labradas que s'explica de manera més extensa en el següent apartat.



*Figura 11. Aflorament del paleokarst de Fm. Cuevas Labradas amb el rebliment de la Fm. Arenes d'Utrillas i emplaçament de la zona del kilòmetre 10 en la carretera C-43 entre les Serres de Pàndols i Cavalls.*

### Monument de la Pau

L'últim emplaçament és tal vegada el més difícil d'ubicar. Es tracta d'un petit aflorament on aflora la Fm. Arenes d'Utrillas. El més interessant d'aquest emplaçament



són les mostres que es poden preparar ja que es on més cimentades es troben les arenas (figura 12).

L'aflorament es troba en el camí de la Fontcalda (camí a la dreta de la carretera C-43 a l'alçada del km 11) agafant la segona desviació a l'esquerra cap al camí de Santa Magdalena que va al Monument de la Pau. Les coordenades exactes de l'aflorament són: UTM31N-ERTS89 4544630,0N i 286389,6E.



*Figura 12. Aflorament de la Fm. Arenes d'Utrillas i emplaçament de la zona del Monument a la Pau a la Serra de Pàndols.*

### **Descripció de fàcies de mostres de mà**

En el següent apartat es descriuen els aspectes texturals i de fàbrica (mida de gra, selecció, morfologia dels grans, estructures sedimentaries, caràcter clast o matriu suportat...), components petrogràfics, porositat, ciments, presència de fòssils i maduresa de mostres de mà polides que es van recollir durant la campanya de camp i que s'observen amb lupa.

En general, es tracta de mostres de sorres poc cimentats, com és propi en la Formació Arenes d'Utrillas. Però, algunes mostres presenten quantitats rellevants de ciment. La mida de gra de la majoria de les mostres no es observable en aquesta escala i en l'apartat de microscopia se'n fa una descripció més detallada. El ciment predominant és de mineralogia quarsítica. A ull nu amb la lupa no s'observen fòssils i tampoc es pot fer un estudi de la porositat ja que aquesta és interparticular encara que es troben algunes petites cavitats amb recristal·litzacions de quars en algunes mostres concretes. En general, per la gran presència de quars de les mostres és tracta de mostres

mineralògicament madures. En canvi, la maduresa textural depèn de cada mostra, ja que la presència o no de matriu varia depenent de cada una d'elles.

També hi ha algunes mostres de roques calcàries. Es tracta de fragments de la Formació Cuevas Labradas que van precipitar dins el propi rebliment. El motiu de que aquests fragments es trobin comunament dins el rebliment es discuteix en els pròxims apartats del treball.

#### Antiga Estació de Prat de Comte

Les mostres FMM1, FMM1 (sostre) i FMM2 corresponen a la zona de l' Antiga Estació de Prat de Comte. La primera es de sobre del túnel, la segona del lateral devora la boca del túnel i la tercera és un nòdul ferruginós.

La mostra FMM1 es troba molt afectada per òxids de ferro. Es poden observar grans de 0,5 cm i una matriu fina. La mineralogia d'ambdues fraccions és quars. Es tracta d'una mostra matriu suportada. La morfologia dels grans és subangulosa i poc arrodonida. No es pot observar porositat ni tampoc cap tipus de restes fòssils. La maduresa textural es baixa deguda a la gran quantitat de matriu que conté la mostra mentre que la maduresa mineralògica és alta per l'abundància de quars en la mostra (figura 13a).

En la mostra FMM1 (sostre) es pot distingir una sola fracció de gra a simple vista la mineralogia de la qual es quarsítica. El fet més interessant d'aquesta mostra són les recristal·litzacions de quars que es donen en petites cavitats. Això segurament sigui el resultat de fluids rics amb  $\text{SiO}_2$  posteriors a la sedimentació de les arenes dins el karst (figura 13b).

La mostra FMM2 correspon a un nòdul ferruginós que són molt abundants en aquesta zona. L'origen d'aquests nòduls pot esser diversa, podria ser per lixiviació dels materials o per bioturbació. Pel que s'observa a gran escala les bandes ferruginoses no són progressives i per tant és més probable que el motiu sigui les bioturbacions. Això també indica que el material va estar grans períodes de temps en condicions subaèries (figura 13c).

#### Carretera C-43 Km 10

En la zona de la carretera C-43 en el kilòmetre 10 es situen les mostres FMM3, FMM4, FMM5, FMM6, FMM7, FMM8 i FMM9. En aquest aflorament hi trobem els paleokarst reblerts de la Formació Arenes d'Utrillas. Totes les mostres amb l'excepció de la FMM6 pertanyen a la Fm. Utrillas. La mostra FMM6 és un bloc caigut dins del rebliment de la roca encaixant (Formació Cuevas Labradas).

La FMM3 es troba afectada per òxids de ferro. Es pot observar una granulometria fina. Pel que fa a la mineralogia de la mostra el mineral més abundant és el quars. La morfologia dels grans és difícil de descriure en aquesta escala, probablement amb el microscopi es pugui observar millor. El que millor es pot observar en aquesta mostra són



les recristal·litzacions de quars en cavitats que és una característica comuna de moltes mostres d'Utrillas el que fa pensar que els fluids que posteriorment han afectat a la Formació en aquesta zona eren rics en  $\text{SiO}_2$ . Es poden observar també alteracions de minerals com la clorita i l'epidota. La maduresa mineralògica és alta per l'abundància de quars en la mostra (figura 13d).

La mostra FMM4 a diferència de les mostres anteriors, no es troba tan afectada per minerals d'òxids de ferro cosa que pot indicar que no estava tan exposada a la bioturbació. Es poden observar grans de mida mil·limètrica. El mineral dels grans és el quars. Respecte a les estructures sedimentàries es poden observar laminacions planars. La maduresa mineralògica és elevada degut a la gran presència de quars que hi ha (figura 14e).

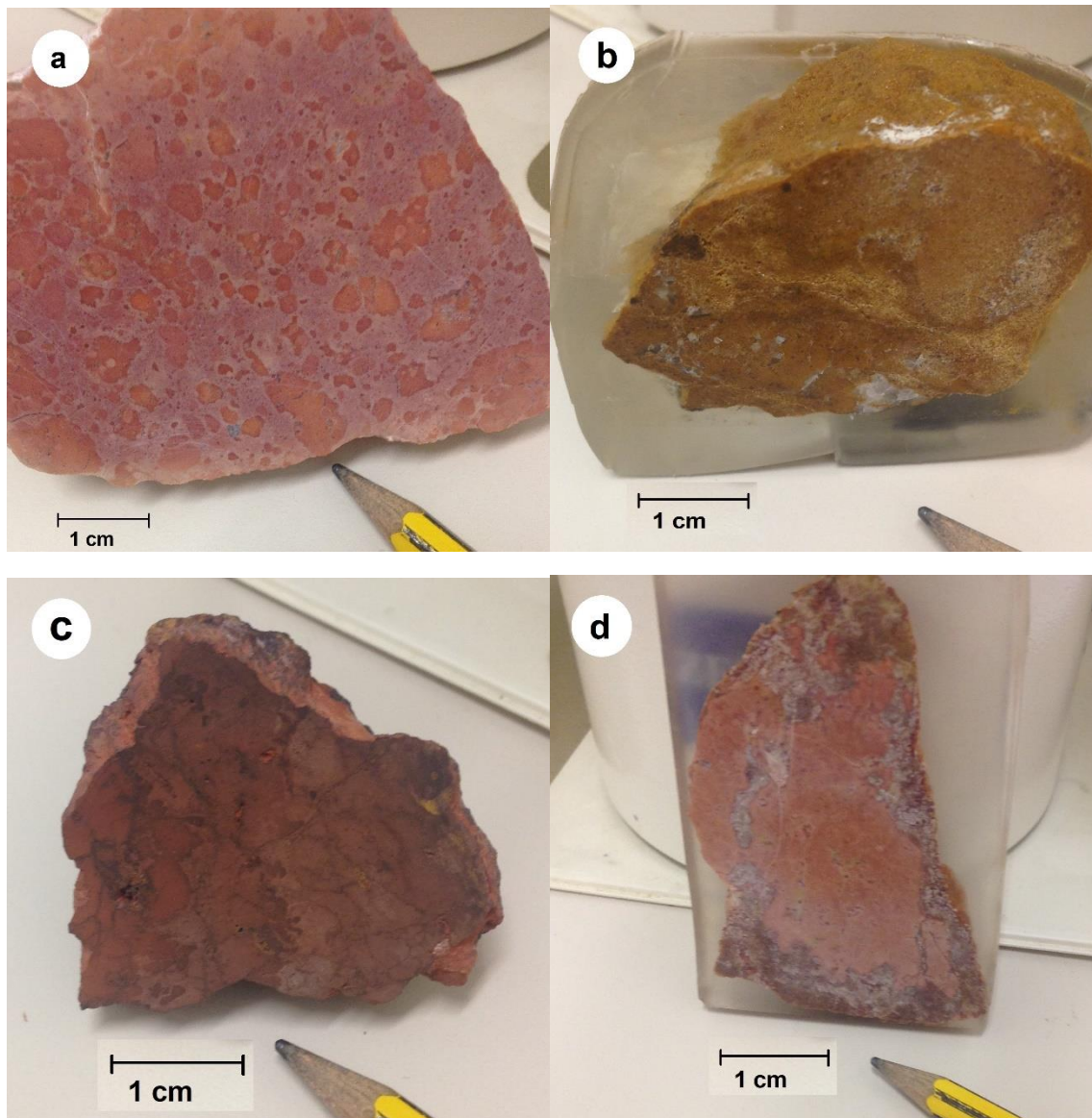


Figura 13. (a) FMM1, (b) FMM1(sostre), (c) FMM2 i (d) FMM3.

En la mostra FMM5 no s'hi observa cap tipus d'afectació per part dels minerals d'òxids de ferro com si passa en totes les mostres anteriors. Això pot indicar que es una mostra

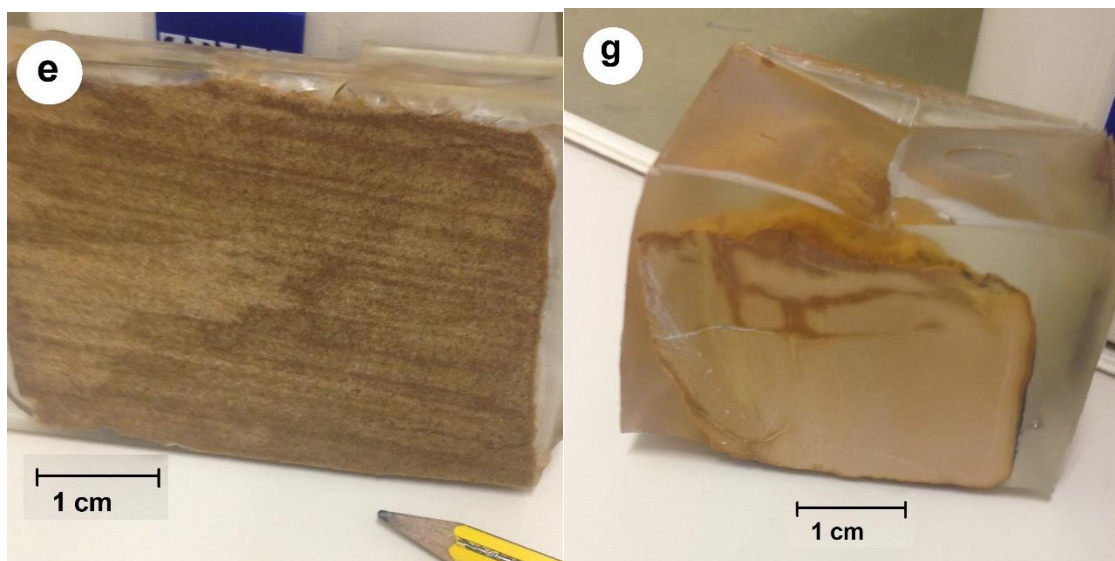
de la part més profunda del rebliment i que per això no es veia afectada per les condicions subaèries com la resta de les mostres. Així es poden observar clarament les estructures sedimentaries entre les quals hi trobem laminacions planars pròpies de fluxos d'alt règim. Pel que fa a la mineralogia, com les mostres anteriors es tracta de quars i per tant la maduresa mineralògica de la mostra es elevada. També es pot observar una porositat en forma de petites cavitats que pot arribar a mesurar uns 2 mm i algunes formes que semblen ésser restes fòssils però per poder saber concretament de que es tracta cal observar-ho amb el microscopi (figura 14f).

La mostra FMM6 forma part dels blocs caiguts per part de la Formació encaixant i constituent del paleokarst, la Fm. Cuevas Labradas. Aquesta Formació composta per calcaries micrítiques i dolomies te aquest color beix característic. A simple vista no es pot observar la granulometria. Tampoc s'hi observen estructures ni fòssils. El que si es pot observar amb claredat és la porositat. La porositat es significant i abundant en aquesta escala es poden observar petites cavitats. Segurament amb el microscopi s'observin porositats entre les pròpies partícules. La maduresa mineralògica es baixa ja que aquesta mostra no conté quars (figura 14g).

Les mostres FMM7 i FMM8 són molt semblants entre elles. Son dues mostres de la Fm. Utrillas de la part superior de l'aflorament de la C-43.

Ambdues estan constituïdes per grans de quars i bastant afectades per l'acció de minerals d'òxids de ferro. Mentre que en la FMM7 no s'hi observen estructures sedimentaries, en la FMM8 s'hi observen laminacions planars primàries.

D'altra banda la FMM7 presenta una porositat molt més elevada que la FMM8 amb petites cavitats que arriben a mesurar uns 0,4 cm. La maduresa textural d'ambdues mostres és elevada ja que estan formades per grans d'arenera quarsítics. Igual que en la resta de mostres, en el microscopi es poden observar amb més detall les estructures sedimentaries que es troben en la mostra (figures 14i i 14j).



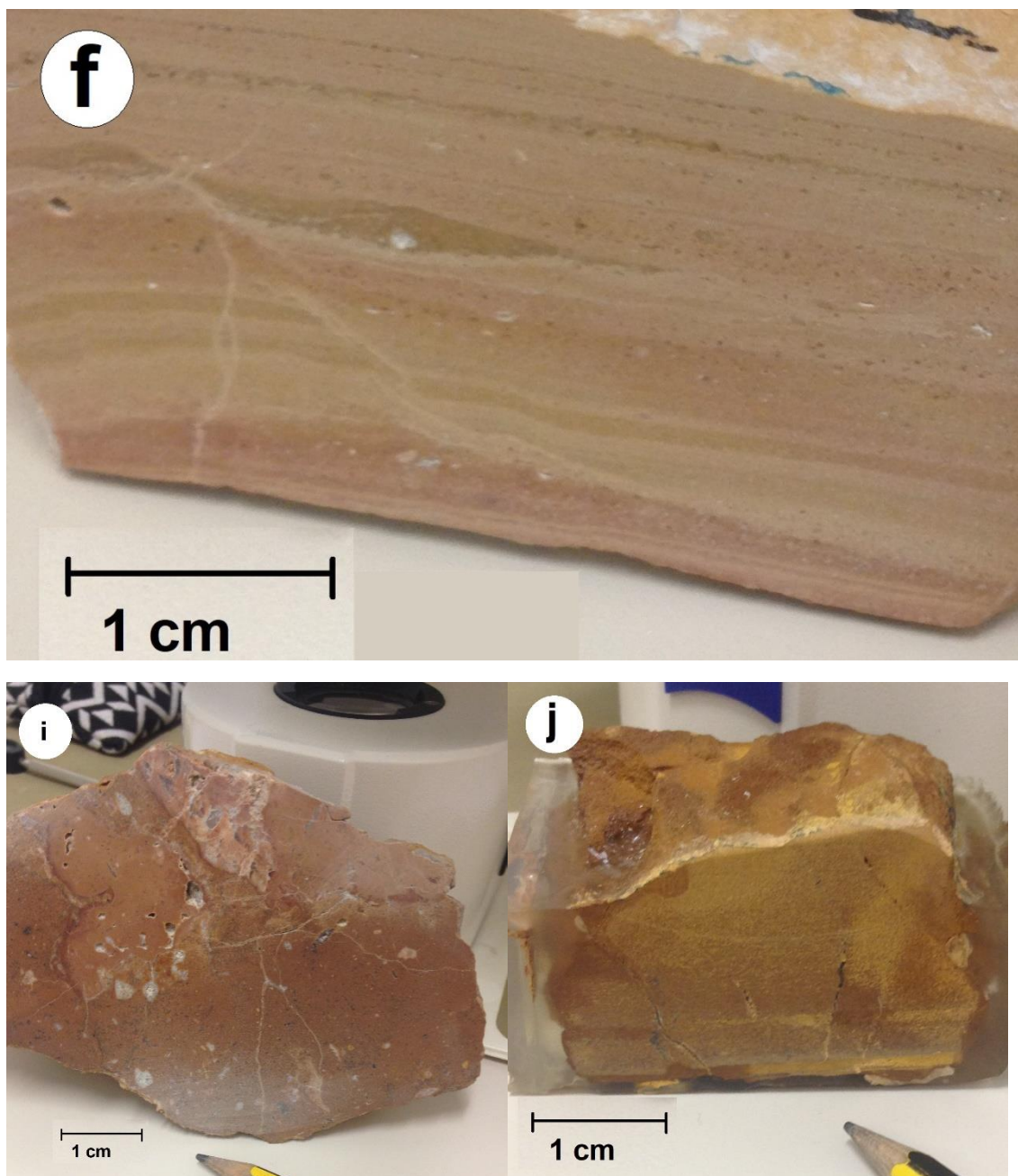


Figura 14. (e) FMM4, (f) FMM5, (g) FMM6, (i) FMM7 i (j)FMM8.

#### Monument de la Pau

Les mostres FMM9 i FMM10 pertanyen a l'aflorament del Monument de la Pau i ambdues tenen moltes similituds.

Es tracta d'Arenes d'Utrillas prou més cimentades que la resta de mostres. No s'hi observen fòssils ni estructures sedimentaries. La mida del grans es bastant variable; s'hi poden trobar grans de uns 0,3 cm i d'altres de mida mil·limètrica. Per tant hi ha dues fraccions diferenciades però que comparteixen la mineralogia quarsítica. La principal diferència entre les dues mostres és el ciment.



La mostra FMM9 és rica en ciment quarsític mentre que la FMM10 apart del ciment de quars també té ciment d'òxids de ferro que ocupen posicions que previ a l'aparició del flux ric amb òxids de ferro eren vetes interconnectades. Mineralògicament, es tracta de mostres madures (figures 15k i 15l)



Figura 15. (k) FMM9 i (l) FMM10.

### Descripció de fàcies al microscopi

En el següent apartat es descriuen els aspectes texturals i de fàbrica (mida de gra, selecció, morfologia dels grans, estructures sedimentaries, caràcter clast o matriu suportat...), components petrogràfics, porositat, ciments, presència de fòssils i maduresa de les làmines primes observades amb el microscopi òptic de llum transmesa de la marca Zeiss model MRc-5.

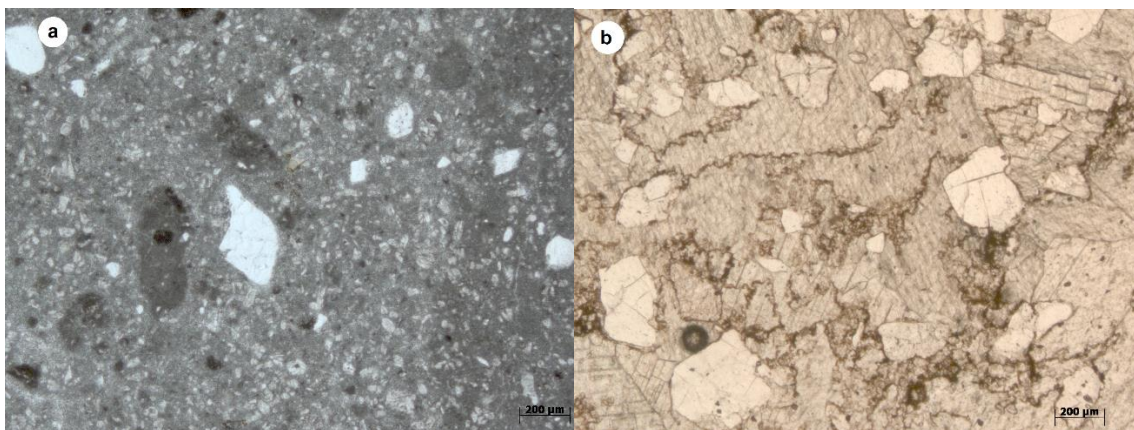
En general, es tracta de mostres de sorres poc cimentats, com és propi en la Formació Arenes d'Utrillas encara que algunes mostres presenten força ciment. La mida de gra i la seva forma varia en relació a la mostra però la mida es manté més o menys continua entre arenes de gra fi i gra molt fi. Essent els grans més petits de uns 0,5 mm i els més grans d'uns 0,3 mm de diàmetre (prenent el diàmetre major). El ciment predominant és de tipus *blocky* i de mineralogia quarsítica. En alguna mostra s'hi poden observar fòssils de caròfits del Cretàcic i ostracodes. Ambdós fòssils han estat dissolts i en el motllo hi ha precipitat ciment quarsític. La porositat es rellevant en algunes mostres indicant la possibilitat de ser un aqüífer. En general, per la gran presència de quars de les mostres és tracta de mostres mineralògicament madures. Pel que fa a la maduresa textural depèn de cada mostra, ja que la presència o no de matriu varia depenent de cada una d'elles. També hi ha algunes mostres que són calcàries. Es tracta de fragments de la Formació Cuevas Labradas que degut al propi reblliment que sofriren els karsts quedaven entre les arenes. Es tracta en general de calcàries micrítiques sense estructures ni fòssils i amb una porositat important. Són mostres mineralògicament immadures ja que no contenen quars.

### Antiga Estació de Prat de Comte

Les mostres FMM1, FMM1', FMM2a i FMM2b corresponen a la zona de l'antiga estació de Prat de Comte. Les dues primeres mostres són mostres de la Formació Arenes d'Utrillas mentre que les altres dues mostres són de nòduls de ferro que es troben en les arenes.

En la mostra FMM1, la mida de gra varia entre fi i molt fi i la forma dels grans es subarrodonida. Els grans majors tenen un diàmetre d'uns 0,2 mm i els més petits 0,05 mm. Hi ha presència de petits nòduls de ferro i és una roca matriu suportada. Els components petrogràfics que es poden observar són quars i òxids de ferro. En la fracció arena hi ha grans de quars i òxids de ferro mentre que la matriu està composta només per quars. La porositat és poc significativa, suposa menys del 2% de la mostra, i es tracta de porositat interparticular. La mostra conté un sol tipus de ciment, ciment de tipus mosaic *dursy*. La mineralogia del ciment és quars. No hi ha restes fòssils. És una mostra madura mineralògicament (conté grans quantitats de quars) però immadura textualment ja que conté més d'un 15% de matriu fina (figura 16a).

En la mostra FMM1' correspon a la part del sostre de la mostra. S'observa una sola mida de gra. Els grans són de granulometria fina i estan ben seleccionats. Tenen una mida de gra d'entre 0,3 i 0,1 mm. La seva morfologia és subangulosa i poc esfèrica. Es tracta d'una mostra clast suportada. Entre els components petrogràfics que formen part de la mostra podem trobar quars en un 80%, un 10% de miques (biotita i clorita) i un 10% de minerals foscos. La porositat es baixa, 2%, de tipus interparticular. La mostra conté ciment de tipus *blocky* únicament i no té restes fòssils. La mineralogia del ciment és quars. La maduresa mineralògica és elevada degut a l'alt contingut de quars. La maduresa textural també és alta ja que no hi ha una gran presència de matriu (figura 16b).



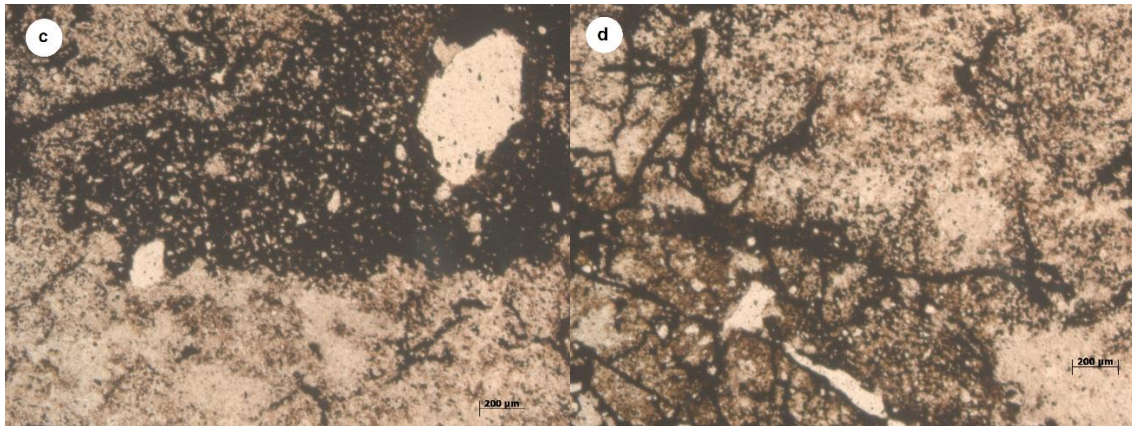


Figura 16. (a) FMM1, (b) FMM1', (c) FMM2a i (d) FMM2b.

Les mostres FMM2a i FMM2b són part d'uns nòduls ferruginosos on es poden observar alguns grans de quars juntament amb una matriu també quarsítica. Els grans en aquesta mostra poden arribar a fer 1 mm. Aquests nòduls són molt abundants al primer aflorament (antiga estació de Prat de Comte). Es pot trobar ciment en petites fissures. La mineralogia del ciment és quars i també d'òxids de ferro. La maduresa mineralògica és alta per la quantitat de quars de la mostra mentre que es poc madur textualment ja que hi ha prou matriu (figura 16c i 16d).

#### Carretera C-43 Km 10

Les mostres FMM3, FMM4, FMM5, FMM6, FMM7, FMM8 i FMM9 corresponen a la zona del kilòmetre 10 de la carretera C-43. Les tres primeres corresponen al rebliment de la Formació Arenes d'Utrillas dins el paleokarst. La mostra FMM6 és un bloc caigut de les calcàries dins el rebliment i les mostres FMM7, FMM8 i FMM9 són també el rebliment Utrillas.

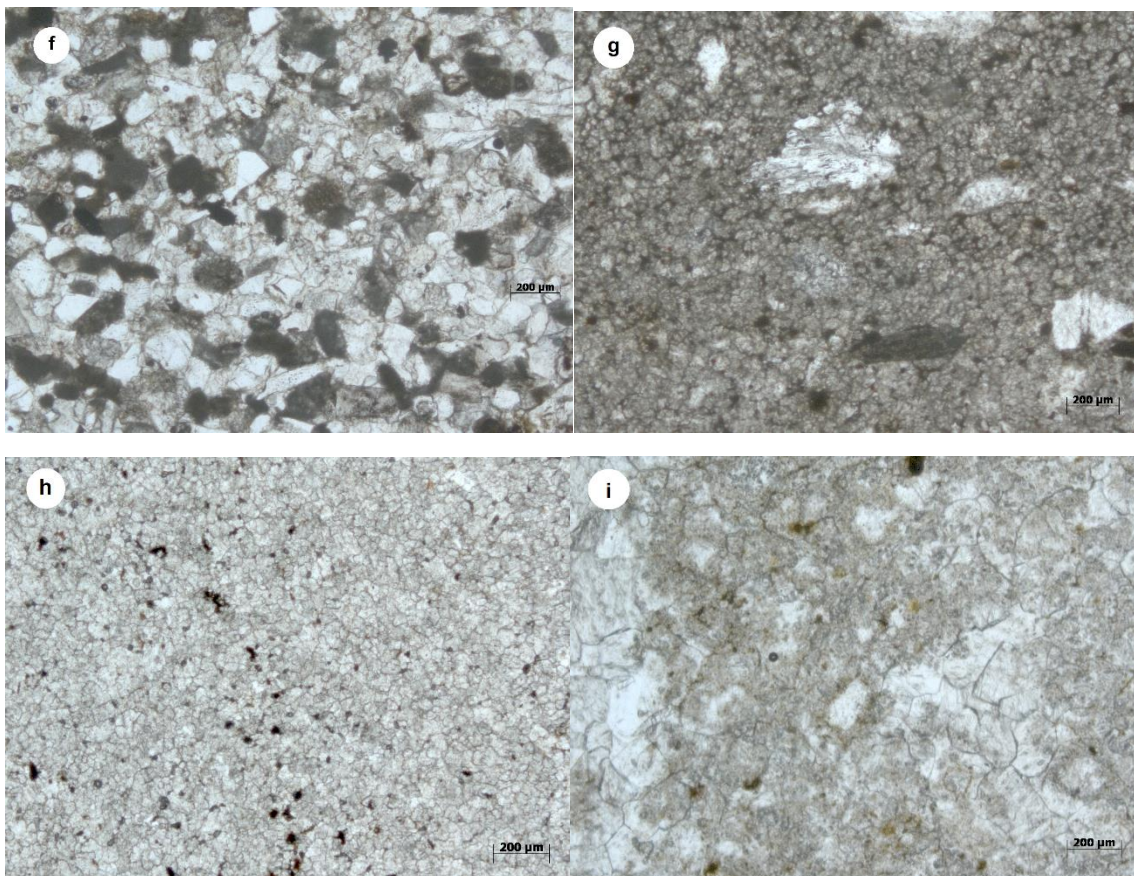
En la mostra FMM3 es pot observar una matriu molt fina de quars i alguns grans de quars de major mida. Els grans de quars van de 0,05 mm a 0,2 mm. Aquests grans més grans son subarrodonits i bastant esfèrics. La selecció no és molt bona ja que hi ha dues fraccions molt diferents. Per tant, tant la fracció arena com la matriu estan conformades per quars. La porositat és poc representativa essent gairebé nul·la ja que la mostra està prou cimentada. Hi ha dos tipus de fòssils: caròfits del Cretàcic i bivalves. Els tipus de ciment que hi està representat és interparticular i mòldic. La mineralogia del ciment és quars. El ciment mòldic es troba en els ostracodes ocupant el lloc que la dissolució que l'aragonita va deixar. La maduresa textural es baixa deguda a la gran quantitat de matriu que conté la mostra mentre que la maduresa mineralògica és alta per l'abundància de quars en la mostra (figura 17e).

En la mostra FMM4 es pot observar una selecció molt bona de grans de mida fina. Els grans tenen una mida d'entre 0,1 i 0,2 mm. La morfologia d'aquests grans es subangulosa i subesfèrics. Com a estructures sedimentàries es pot observar formes de laminació planar. Es tracta d'una mostra de caràcter clast suportat. Només es pot veure una fracció de tipus arena on es poden distingir alguns minerals. Entre els quals el quars,



que és el més abundant representant un 80% dels minerals de la mostra, alguns minerals foscos que no es poden veure amb microscopi de llum transmesa que representen prop d'un 17% de la mostra, mentre que el 3% restant són grans de calcita. La porositat observada sobre el total de la mostra és més rellevant que en mostres anteriors, essent aproximadament d'un 5% de tipus primari i interconnectada en alguns punts. La mostra no presenta ningun tipus de matriu. Es pot observar, encara que no es predominant, ciment de tipus *blocky*. No hi ha presència de fòssils. Es tracta d'una mostra mineralògicament madura degut a la gran presència de quars i textualment madura per l'absència de matriu. En aquesta mostra s'hi poden observar oxidació molt marcada d'alguns minerals foscos de ferro (figura 17f).

En la mostra FMM5 es poden observar dues fraccions. La fracció matriu i la fracció gra. La fracció gra té una mida voltant els 0,4 mm, mentre que la fracció matriu és molt menor. Els grans són poc esfèrics i poc arrodonits. La mostra té un caràcter matriu suportat. Els component petrogràfic principal de la fracció matriu és el quars. En la fracció gra trobem fragments de roca en un 10%, òxids de ferro en un 5%, minerals foscos en un 5% de la mostra i quars en un 80%. Es tracta d'una mostra mineralògicament madura degut a la gran presència de quars i textualment immadura per la presència de matriu (figura 17g).





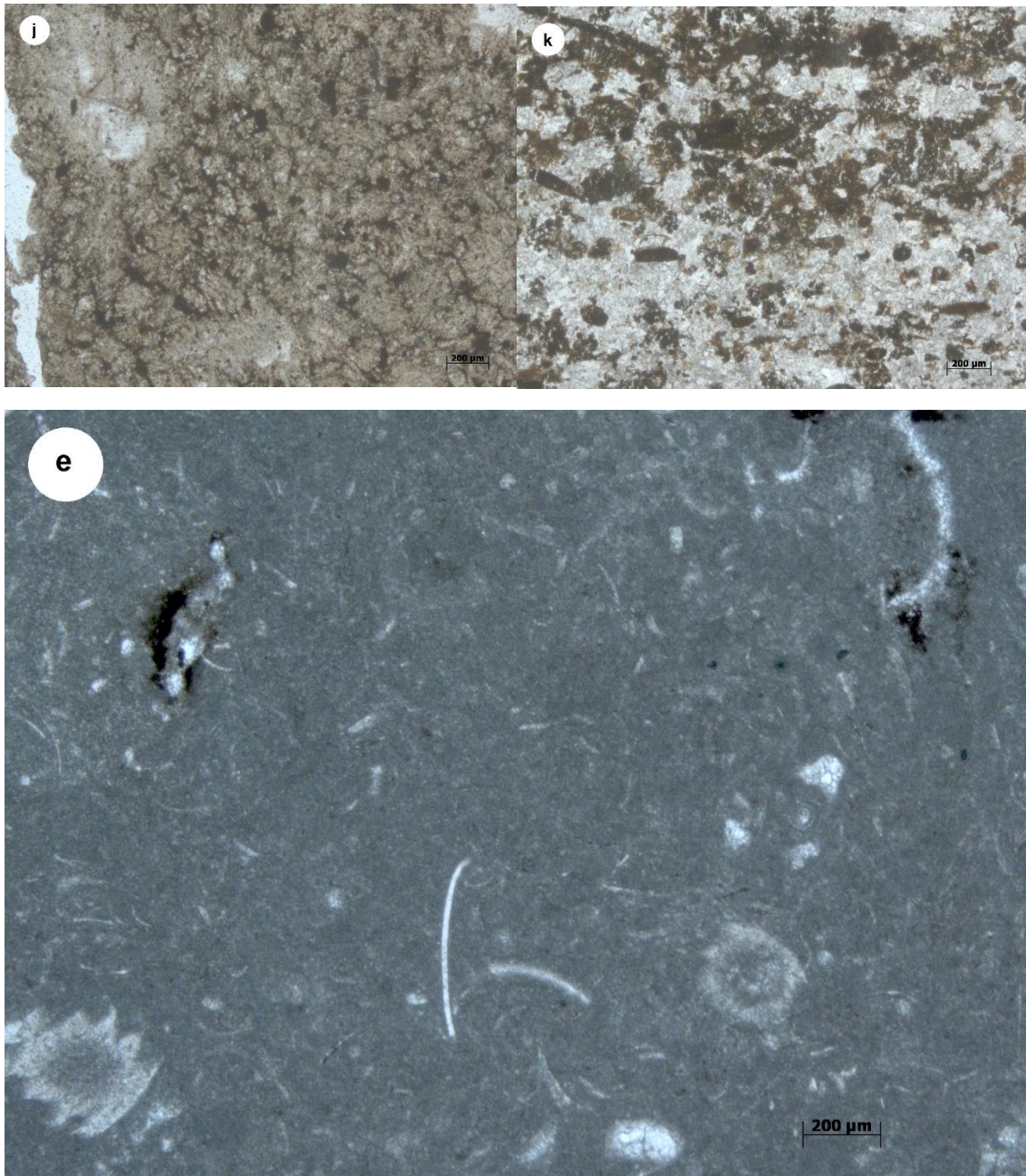


Figura 17. (e) FMM3, (f) FMM4, (g) FMM5, (h) FMM6, (i) FMM7, (j) FMM8 i (k) FMM9.

En la mostra FMM6 s'observa una sola fracció de gra molt fi d'uns 0,05 mm aproximadament. Es tracta d'una mostra de roca calcària que pertany al karst i que es troba dins les cavitats. Mineralògicament, el 90% es calcita mentre que el 10% restant són òxids de ferro (goethita). Els grans són poc esfèrics però arrodonits. Al no haver matriu es tracta d'una mostra clast suportada. No s'hi troben estructures sedimentaries. La porositat és rellevant podent arribar a un 5%. És de tipus primari i està interconnectada en alguns punts de la mostra. Es tracta d'una mostra mineralògicament immadura ja que no hi ha quars i textualment madura per l'absència de matriu (figura 17h).

La mostra FMM7 pertany a la Formació Arenes d'Utrillas que es troba en el rebliment del paleokarst. Es pot observar una sola fracció de gra. Es tracta de grans d'uns 0,2mm

aproximadament (gra fi). Només es pot veure una fracció de tipus arena on es poden distingir alguns minerals. Entre els quals el quars, que és el més abundant representant un 90% dels minerals de la mostra, alguns minerals foscos que no es poden veure amb microscopi de llum transmesa que representen prop d'un 10% de la mostra. Els grans són subesfèrics i subarrodonits. Es tracta d'una mostra de caràcter clast suportat. També s'hi troba ciment de calcita de tipus *blocky* que ocupa posicions que anteriorment formaven part de la porositat. La porositat observada sobre el total de la mostra és més baixa que en mostres anteriors, essent aproximadament d'un 2-3% de tipus primari i interconnectada en alguns punts. La mostra no presenta ningun tipus de matriu. No hi ha presència de fòssils. Es tracta d'una mostra mineralògicament madura degut a la gran presència de quars i textualment madura per l'absència de matriu (figura 17i).

En la mostra FMM8 es pot observar una sola fracció de gra. Es tracta de grans d'uns 0,6 mm aproximadament, és a dir es tracta de gra fi. El mineral predominant és el quars que representa 80% dels minerals de la mostra, alguns minerals foscos representen prop d'un 10% de la mostra que ocupen llocs entre partícules i calcita en un 10% que ha ocupat els llocs on abans hi havia petites cavitats i fissures. Els grans són poc esfèrics i subarrodonits. Es tracta d'una mostra de caràcter clast suportat. També s'hi troba ciment d'òxids de ferro de tipus *blocky* que ocupa posicions que anteriorment formaven part de la porositat. La porositat observada sobre el total de la mostra és més baixa que en altres mostres anteriors, i és d'un 2% i de tipus primari. La mostra no presenta cap matriu. No hi ha presència de fòssils. Es tracta d'una mostra mineralògicament madura degut a la gran presència de quars i textualment madura per l'absència de matriu (figura 17j).

En la mostra FMM9 s'observa unes dimensions de gra molt fines d'uns 0,05 mm. En aquesta mostra s'hi poden observar oxidació molt marcada d'alguns minerals foscos de ferro com la goethita. El mineral predominant és el quars en un 90% i alguns minerals foscos representen prop d'un 10%. Els grans són poc esfèrics i subarrodonits. Es tracta d'una mostra de caràcter clast suportat.

### Monument de la Pau

Les mostres FMM10 i FMM11 corresponen les mostres recollides en la zona del Monument de la Pau i pertanyem a la formació Arenes d'Utrillas i és on aquestes es poden observar sense tants òxids de ferro.

La FMM10 i la FMM11 són molt similars. Ambdues mostres tenen una sola dimensió de gra i es troben fortament cimentades. També comparteixen la mida i morfologia dels grans.

En les dues mostres, els grans són d'uns 0,5 mm aproximadament i són subarrodonits i subangulosos. En les mostres el mineral predominant és el quars (90%) però també es poden trobar alguns fragments de roca (10%) com es pot veure en la figura 18l. Les mostres no tenen matriu però presenten un ciment quarsític de tipus *blocky*. Aquest ciment es col·loca entre les partícules. Es tracta d'unes mostres clast suportades. La

porositat observada sobre el total de la mostra baix (2% o inferior) ja que bona part dels buits l'ocupa el ciment. La porositat que hi ha és de tipus primari. La mostra no presenta cap matriu. No hi ha presència de fòssils. Es tracta d'una mostra mineralògicament madura degut a la gran presència de quars i textualment madura per l'absència de matriu (figura 18l i 18m).

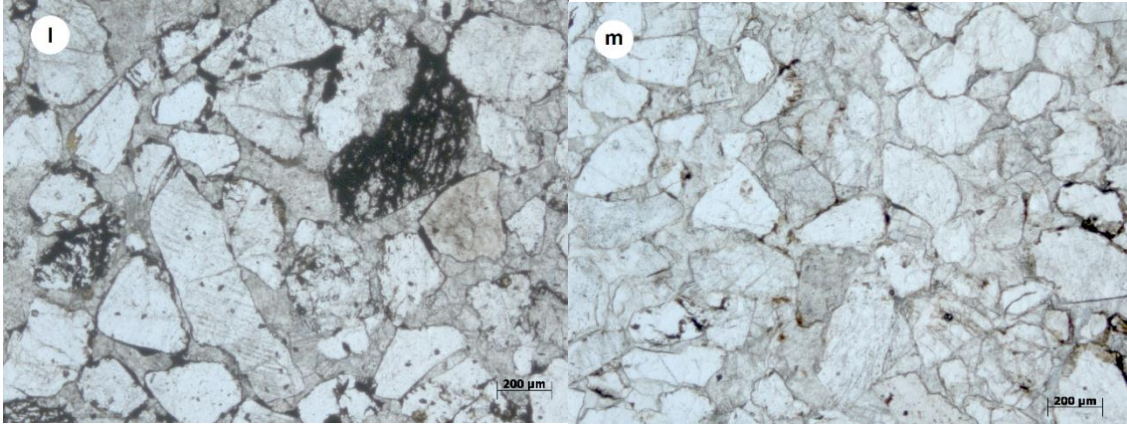


Figura 18. (l) FMM10 i (m) FMM11.

## **Geometria deposicional**

En aquest apartat es descriu la geometria deposicional de l'aflorament principal (carretera C-43 km 10), es discuteix sobre el tipus de flux que va fer que es dipositessin les arenes en el karst i les seves característiques i es caracteritzen el tipus de deposicions que es troben en l'aflorament.

## **Hidrodinàmica aplicada a la sedimentologia**

Quan un fluid es mou sobre una superfície coberta de sediment solt, amb una velocitat que pugui ésser suficient per moure els grans, els acumula formant morfologies particulars en el fons que varien segons el tipus de flux i sediment del que disposa el sistema en concret.

Cada unitat constituent d'aquesta geometria es denomina fons o *bedform*. La majoria dels fluxos naturals són capaços de moure sediments de mides molt diferents i així, originen diferents formes de fons que donen lloc a diferents tipus d'estructures sedimentàries (figura 19). Aquesta morfologia depèn d'uns quants factors, entre els quals, s'hi troba l'energia del flux i la mida de les partícules, de manera que es poden utilitzar aquestes formes per poder saber, interpretar i descriure els processos sedimentaris.

Per descriure un flux es necessiten al menys dos paràmetres. Un dels paràmetres ha d'indicar l'escala vertical (s'acostuma a utilitzar la profunditat mitja,  $h$ ) i un altre que expressi la velocitat mitja del flux ( $u$ ) o la força que aquest exerceix sobre el fons manifestat com esforç tangencial (*shearing*) en el límit entre el fluid i el sediment (Dabrio, 1984).

## **Laminacions**

Algunes laminacions es formen per la repetició d'interval·ls sense depòsit on té lloc la concentració del material més gruixut en el fons d'una llera, seguits d'interval·ls de depòsit. Hi ha laminacions arenoses paral·leles que es formen com una estructura interna d'estrats paral·lels formats per corrents de baixa tracció però amb un règim de flux alt (Torres, 1994).

L'espessor de les làmines va disminuint a mesura que es va cap al sostre de la deposició. Encara que en algunes zones es troben molt deformats es pot observar si s'agafa una secció petita. També es pot observar la gradació normal dels materials, ja que les arenes de la part superior de la capa són de menor mida que els grans que es troben en la part inferior (figura 22a).

Pel que s'ha pogut observar tant en camp com en l'apartat de descripció de fàcies es pot concloure que en l'aflorament hi ha abundants exemples de laminacions planars o paral·leles (*plane beds o flat beds*). Això ens ajuda a determinar el tipus de fluid que va ocupar el karst i va permetre que es dipositessin les arenes de la Fm. Utrillas. Comparant

les observacions amb el gràfic de la figura 19 es pot dir que es tractava d'un fluid d'alt règim o *upper flow regime* (UFR).

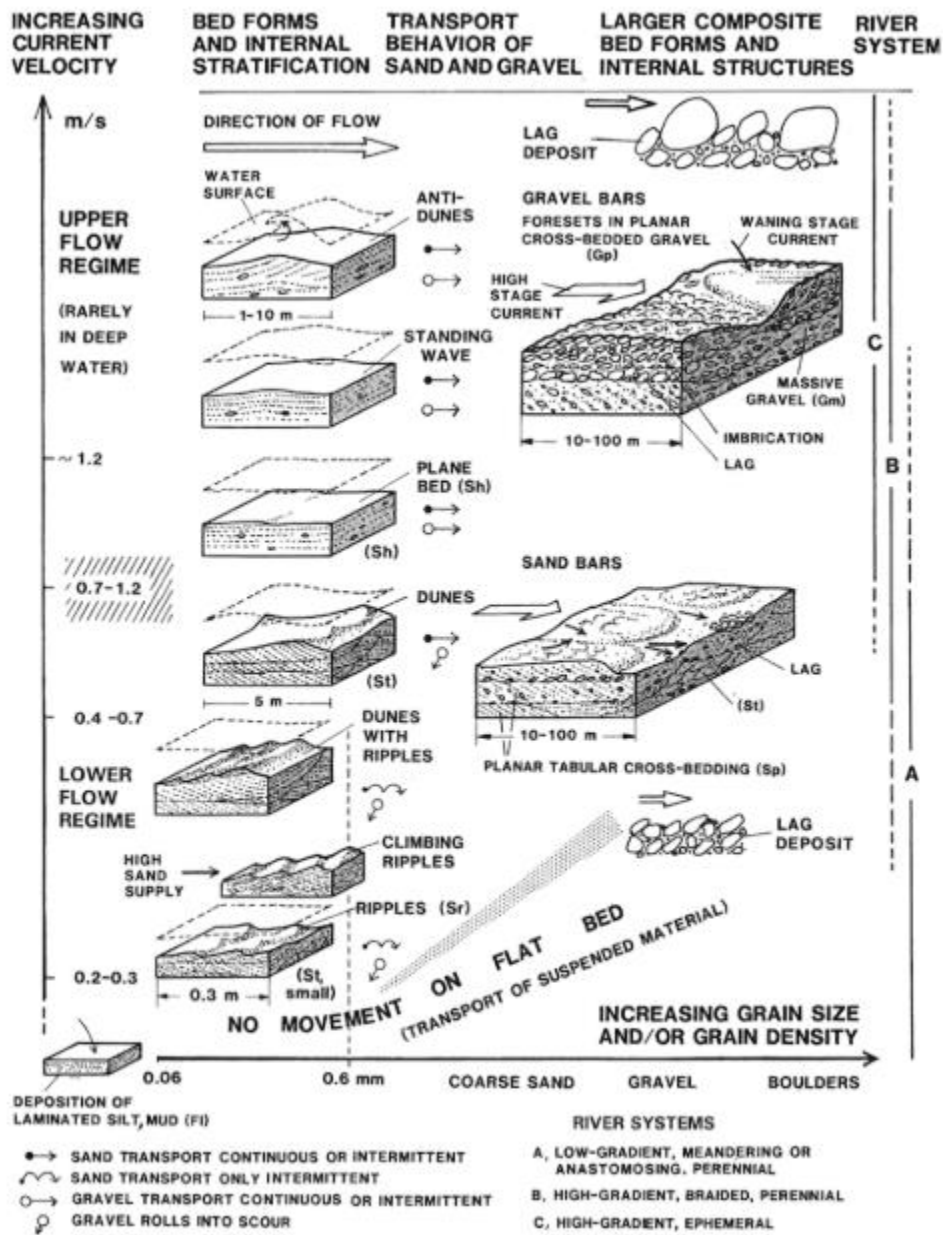


Figura 19. Gràfic velocitat del flux (m/s)-mida de gra (mm) i tipus de bedform (Einsele, 1992).

### Tipus de fluid i bedform

Els fluids es poden diferenciar entre fluxos laminars i fluxos turbulents. És el número de Reynolds (Re) que permet distingir els dos tipus de flux. Si el número de Reynolds és baix es tracta de un flux laminar mentre que si el número de Reynolds és elevat es tracta d'un



flux turbulent. El número de Reynolds és un número adimensional que es defineix com la relació entre les forces inercials i les forces viscoses presents en el fluid.

D'altra banda es poden diferenciar els fluids com fluids alts i fluids baixos. En aquest cas és el número de Froude que permet distingir aquests dos tipus de règims de flux. Aquest paràmetre és un número adimensional que relaciona l'efecte de les forces d'inèrcia i les forces de gravetat que actuen sobre un flux. Quan els valors de Froude estan al voltant d'un es diu que és un règim transicional, si aquest és menor que un es tracta d'un règim baix mentre que si es troba per sobre d'un és un règim alt (Molina, 1984).

Un fluid d'alt règim o *upper flow regime* és caracteritzat per altes velocitats del fluid. Les velocitats en alt règim es troben entre 0,7 m/s i les velocitats superiors. En aquestes velocitats el transport es continu. Els fluids en aquest règim poden donar pas a varies morfologies entre les quals s'hi troben antidunes, laminacions paral·leles i d'altres tipus de formes de fons (figura 19). Els *plane beds* es formen en velocitats d'entre 0,7 m/s i 1,2 m/s.

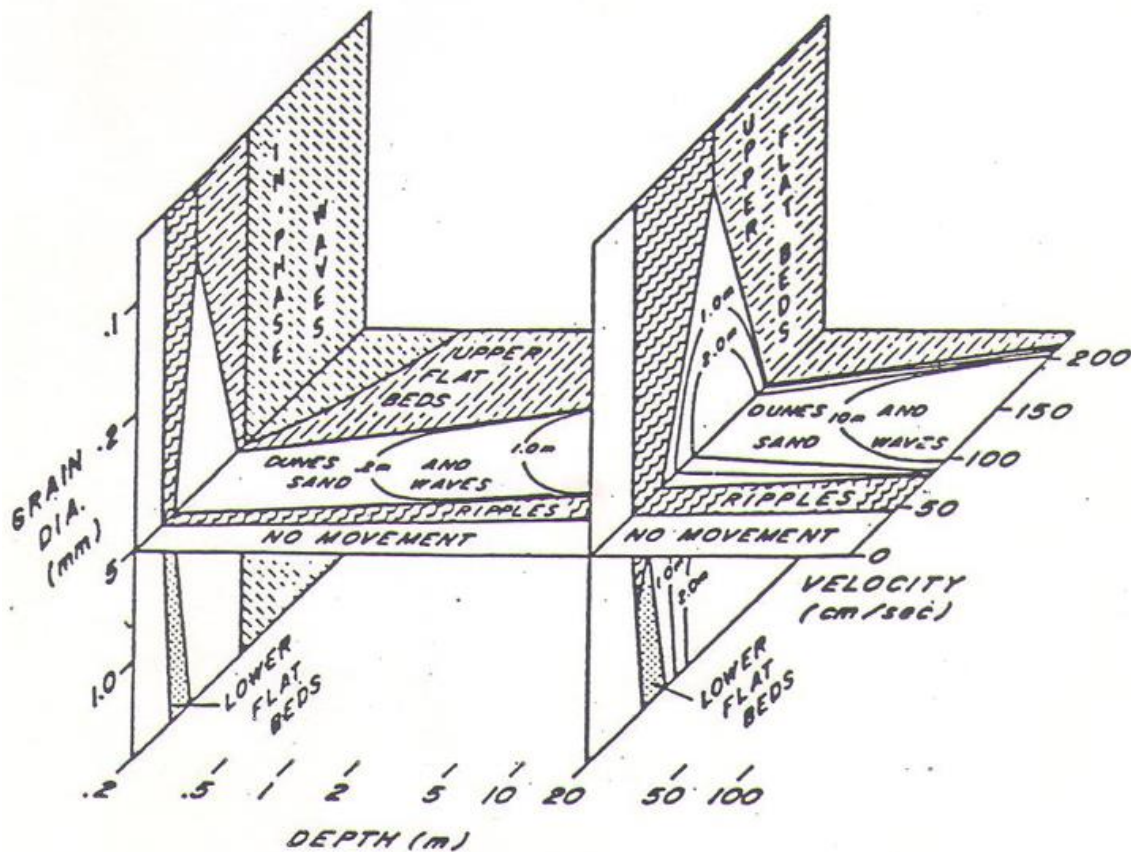


Figura 20. Distribució dels camps d'estabilitat de les formes de fons (bedforms) arenoses que siguin agrandades per cursos aquosos unidireccionals i permanents tant en medis naturals com en assaigs de laboratori (Middleton i Southard, 1984)

Les laminacions paral·leles es formen per sedimentació en un fons pla, que sol ésser horitzontal o gairebé horitzontal. Aquest tipus de laminacions són estructures sedimentàries primàries i tractives, ja que Depenent del règim de flux existent durant el seu depòsit es poden distingir dos tipus de deposicions. La primera es la laminació paral·lela de règim de flux baix i es forma per la sedimentació des de la suspensió en el part baixa del règim de flux baix quan no hi ha moviment del fluid i amb baixes velocitats de corrents en arenes amb mides de grans superiors a 0,6mm. En general, aquestes morfologies suggereixen en un depòsit ràpid i s'associa normalment a *ripples* (*climbing ripples* o normals) que indiquen la baixa energia de la corrent del flux com es pot comprovar en la figura 19, la figura 20 i la figura 21 que serveixen per descriure les condicions de deposició dels materials de manera més detallada i elaborada a partir del que s'observa al camp.

La laminació paral·lela de règim de flux alt es forma pel transport massiu de sediment sobre el fons i fins i tot pot arribar a mostrar alineacions de grans (*partint lineation*) i estar associades a estratificacions encreuades de tipus artesa o estratificacions encreuades de tipus hummocky. Això es indicatiu de velocitats de corrent més elevades que en el cas anterior (Dabrio, 1984).

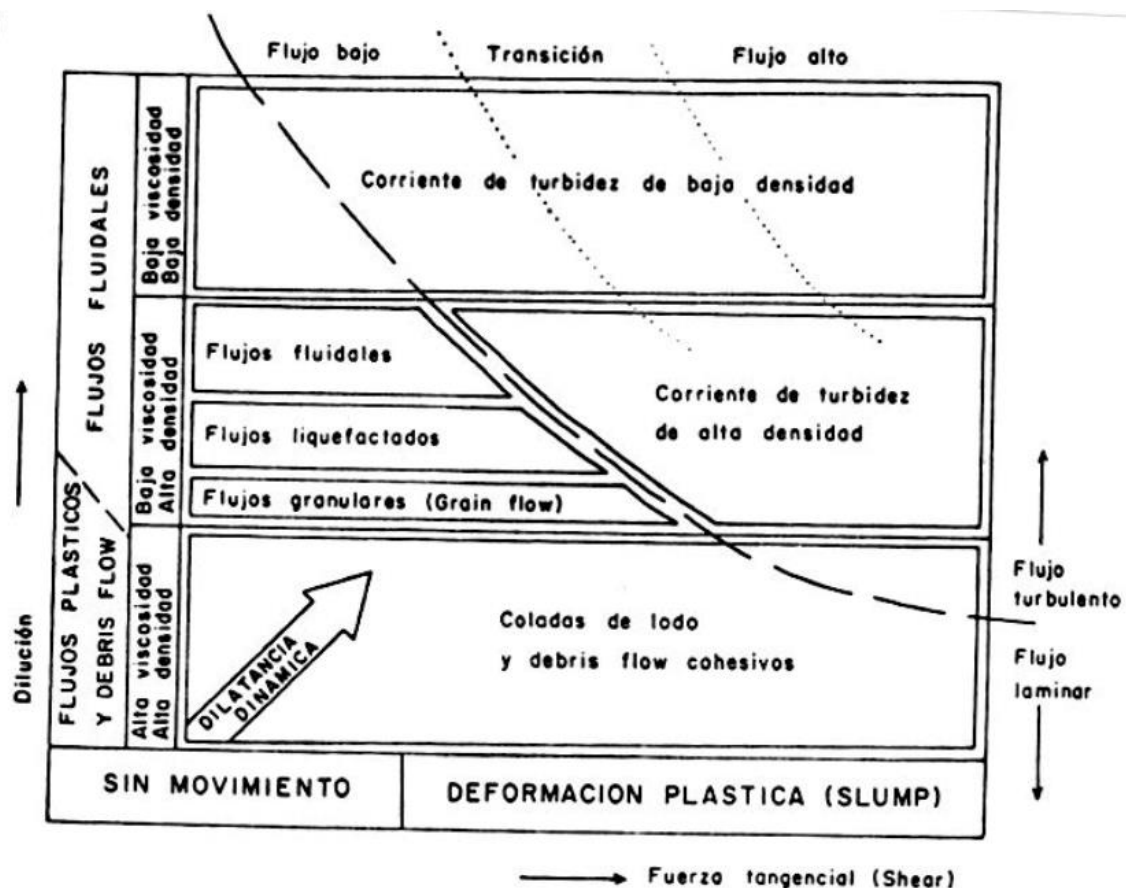


Figura 21. Esquema de classificació dels fluxos gravitatoris de sediment. Modificat de Le Fourier (1981) (Colombo i Marzo, 1987).



És aquesta última morfologia i tipus de flux que es donen en la deposició com es pot observar en la figura 22a. Pel que fa a la mida de grans es correspon amb les observacions que s'han fet al microscopi ja que la majoria de grans tenen una mida d'entre 0,06 mm i 0,6 mm.

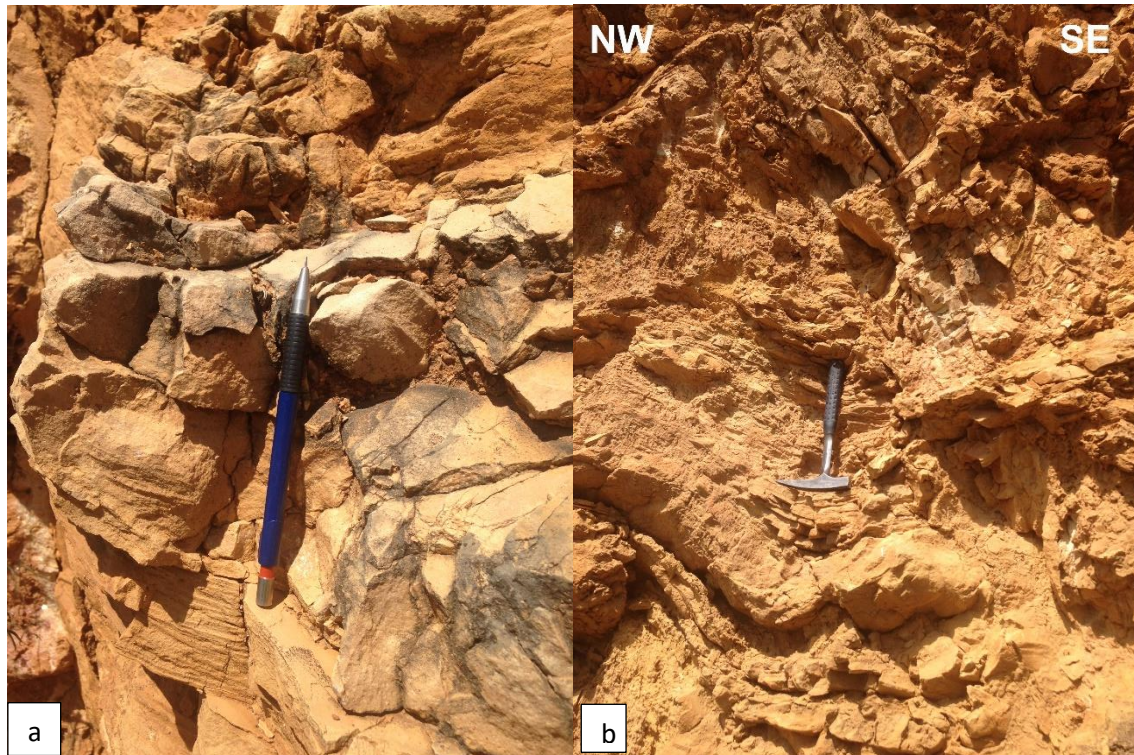


Figura 22. (a) Detall de les laminacions planars. (b) Deformació per compressió tectònica posterior a la deposició.



Figura 23. Rebliment d'Utrillas dins el paleokarst Juràssic.

Per la baixa viscositat i alta densitat del flux es tracta d'un fluid en règim turbulent. Això, es pot comprovar amb les dades que ja es te i la figura 21.

En un règim turbulent les partícules es mouen seguint trajectòries caòtiques i desordenades i s'hi formen remolins. Quan augmenta la velocitat del fluid i per tant augmenta el nombre de Reynolds, la tendència del desordre creix. No hi ha cap capa del fluid que avenci més ràpida que les altres (com si passa en el cas del fluid laminar) i només existeix un fort gradient de velocitat en les zones en que el fluid te contacte amb les parets del material, ja que les partícules pròximes a les parets han de tenir de manera forçada velocitat nul·la (Molina, 1984).

### Cronologia dels materials

L'ordenació cronològica dels esdeveniments de l'aflorament es fàcilment comprensible si s'observa l'esquema deposicional (figura 24).

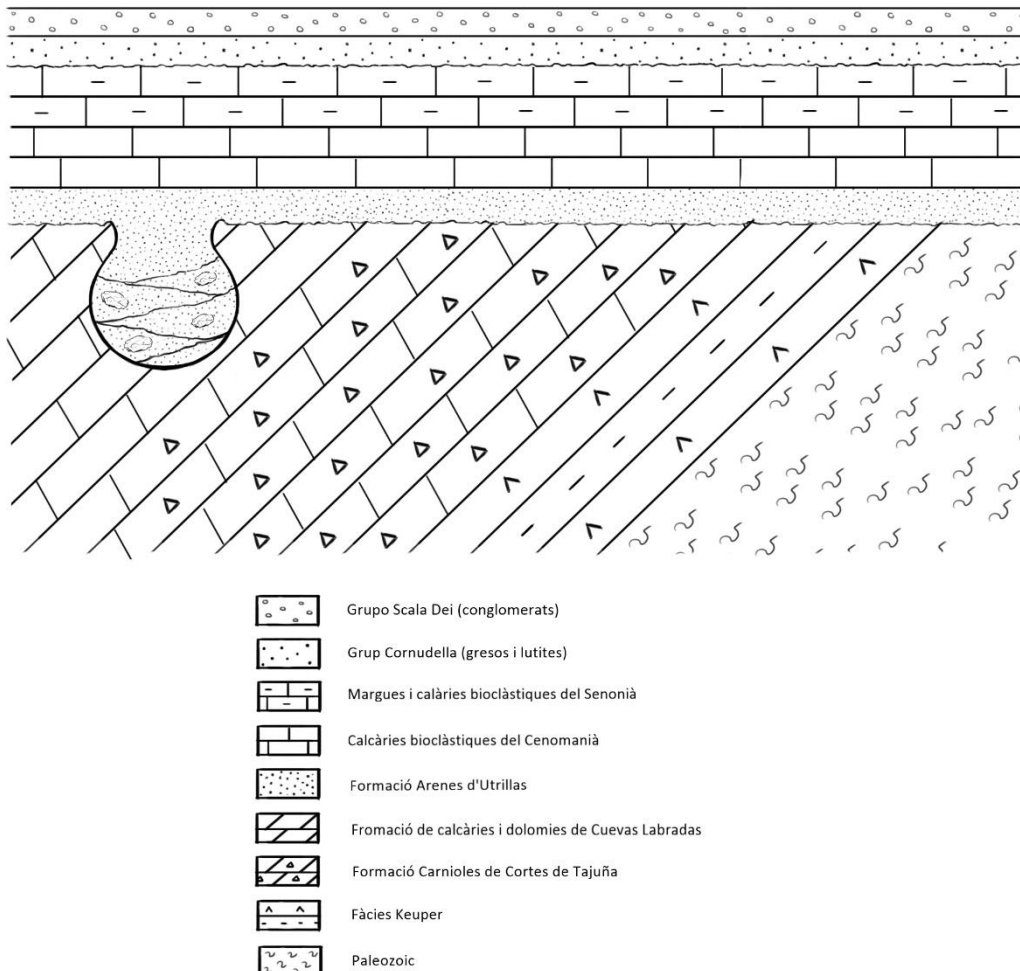


Figura 24. Esquema deposicional del reblliment de la Fm Arenes d'Utrillas dins el paleokarst de la Fm. Cuevas Labradas i les unitats posteriors (Margues i calcàries bioclàstiques del Senonià i calcàries bioclàstiques del Cenomanià).



Primerament, sobre el sòcol Paleozoic es van depositar les Fàcies Keuper del Norià i Carnià. Seguidament i després d'un període d'erosió sedimenta primer la Formació Carnioles de Cortes de Tajuña i després la Formació calcàries i dolomies de Cuevas Labradas. Aquestes formacions es van compactar i erosionar. Tot el que es diposita per sobre ho fa per sobre de la discordança basal de la Formació Utrillas.

Seguidament a la deposició dels materials juràssics aquests van sofrir un procés de karstificació. Aquest procés es molt comú en aquest tipus de materials i es caracteritza per la meteorització química de roques compostes per minerals solubles en l'aigua com puguin ser la calcària, el guix o la dolomia. Tots aquests processos de dissolució dels minerals donen pas a el que es coneix com a relleus kàrstics. Això dona pas a diferent tipus de morfologies que es distingeixen entre exteriors com pugin ser les dolines i els congosts i les formacions de karst interiors com per exemple les coves i els avencs. Són aquests últims els que resulten interessants per aquest treball ja que es poden convertir en veritables rius subterranis.

Després, de manera posterior a la creació dels relleus kàrstics sedimenta la Formació Arenes d'Utrillas com s'ha descrit en punts anteriors, en un règim alt i turbulent, essent aquestes coves la roca encaixant d'una part de les arenas. En les arenas d'Utrillas que quedaren dins el karst, es poden observar estructures tractives primàries diferents al que es pot observar en afloraments d'Utrillas que no es veuen afectats pels paleokarsts. Ja que el confinament que atorgaven les parets del karst i la pressió que per tant sofria el flux feia que sols es poguessin desenvolupar estructures d'alt règim com són les laminacions paral·leles.

Dins aquest rebliment es troben nombrosos fragments de roca de la Fm. Cuevas Labradas. El motiu pel qual trobem aquest material dins del rebliment s'explica de manera més concisa en l'apartat "fragments caiguts i pèrdues de càrrega".

És possible que sedimentessin altres materials ja que hi ha una important llacuna estratigràfica entre els materials de la Fm. Cuevas Labradas i els materials de la Fm. Arenes d'Utrillas. Aquesta llacuna estratigràfica avarca des del Lias o Juràssic inferior fins a l'Albià (Cretaci inferior terminal). De totes maneres ningun d'aquests materials s'ha preservat fins al present i si va existir va ser erosionat abans de que es dipositessin els materials cretàtics que segueixen als juràssics.

Després de que es deposites la Fm. Utrillas la zona es va veure afectada per un episodi de compressió tectònica ja que tant la Formació Arenes d'Utrillas com la Formació Cuevas Labradas es veuen afectades per aquesta deformació al contrari de les unitats que es situen per sobre d'Utrillas que no hi estan afectades. Aquesta deformació es pot observar molt bé en la Fm. Utrillas per les característiques dels seus materials (figures 22b i 23).

Posteriorment a la deposició d'Utrillas van sedimentar la resta d'unitats cretàtiques; la unitat de calcàries bioclàstiques del Cenomanià, les margues i calcàries del Senonià. Finalment després d'un període d'erosió i sobre una discontinuïtat sedimenten les

següents unitats cenozoiques, la unitat laterítica, la unitat de calcàries lacustres, el grup Cornudella i el grup Scala Dei.

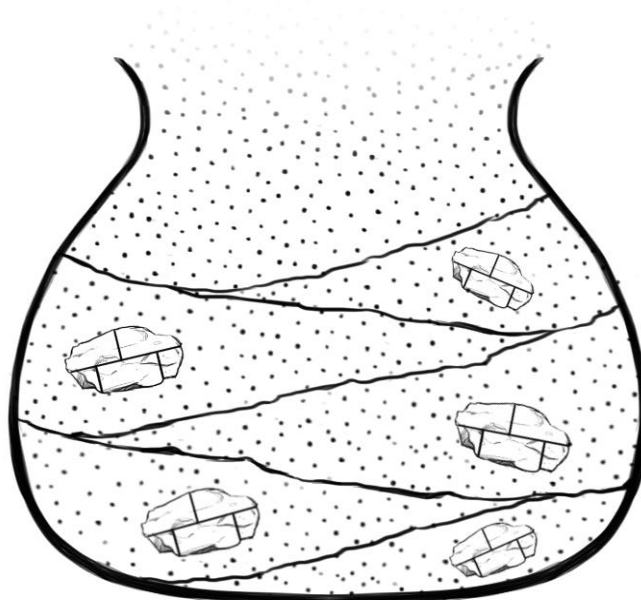
### **Deposicions seqüencials i durada del procés de rebliment**

Durant la deposició de les arenas dins del karst hi va haver períodes més laminars i períodes més turbulents. Per les estructures primàries que s'han conservat es pot dir que van predominar els períodes de règim turbulent.

Les deposicions van ésser seqüencials com explica l'esquema de la figura 25. Això es degut a que hi havia períodes de temps on circulava flux i d'altres moments segurament més àrids en que no hi circulava. El que queda clar, és que en general, quan hi circulaven ho feia en règim turbulent.

Si passava el temps es creaven petits estrats, com es pot observar en les figures 22b i 23 i en l'esquema de la figura 25.

La durada del procés de rebliment de les arenas és pot acotar fàcilment ja que es sap les edats de les formacions que les envolten i l'edat aproximada dels propis sediments. Llavors el rebliment es dugué a terme durant l'Albià. Pel principi de superposició d'estrats es sap que el que es troba més baix va sedimentar primer. És per això que les arenas del rebliment van ser les primeres en sedimentar, molt abans que la resta de la Formació Arenas d'Utrillas que es troba per sobre dels paleokarsts.



*Figura 25. Detall de l'esquema deposicional i seqüencial de la Fm. Arenas d'Utrillas i els blocs caiguts de la Fm. Cuevas Labradas.*

### **Fragments caiguts i pèrdues de càrrega**

La barreja circulatòria que es crea en aquest ambient, dona lloc a fluxos en règim turbulent. Això provoca dins de les coves, en les zones en que el flux canviava de direcció brusquement, pèrdues de càrrega. Això donava lloc al que comunament es coneix en canonades com cops d'ariete.

Els cops d'ariete es donen degut a que el fluid és lleugerament compressible. Per això quan es tanca abruptament com podria passar en un canvi de direcció brusca, ja que les parets del karst no son llises, les partícules d'aquest fluid es detenen i son empeses per les que tenen immediatament darrera que encara estan en moviment. Això provoca una sobrepressió que es tradueix en un augment de velocitat que acaba per xocar i que fa que es trenquin fragments del karst. És per això que es troben fragments importants de la formació Cuevas Labradas dins del rebliment (figura 25).

### **Discordança en la base de la Formació Arenes d'Utrillas**

La discordança en la base d'Utrillas s'ha pogut observar en la zona de l'Antiga Estació de Prat de Comte per sobre del túnel. Es tracta una discordança basal en la base de la Formació Arenes d'Utrillas. Com s'explica en la introducció, les condicions tectòniques dels Catalànides va canviar d'unes condicions on predominen les fractures de direccions NW-SE que afavorien que la sedimentació més continua i potent el domini meridional durant el període Juràssic, a unes fractures amb direcció NE-SW durant el Cretaci que provoquen l'esfondrament dels blocs sud-orientals i afavoreixen que la sedimentació es centri, sobre tot, en el sector intern. A banda d'això, existeix una llacuna estratigràfica important entre el Lias i l'Albià, com s'ha apuntat anteriorment.

### **Cartografia detallada de l'aflorament principal (carretera C-43 km 10)**

En les figures següents (figura 26 i figura 27) es pot observar la cartografia detallada de l'aflorament principal. Es veu, de manera clara, diferents seqüències de deposició de les arenas dins del paleokarst, així com les morfologies que prenen els estrats.

Aquestes figures il·lustren el que s'ha comentat en l'apartat de geometria deposicional. Juntament amb l'encaixament de materials que pertanyen a la Fm. Arenes d'Utrillas dins del paleokarst, s'observen diversos blocs caiguts dins del rebliment que formaven part prèviament de les parets del paleokarst. Tot i així, algunes parts de l'aflorament són complicades de cartografiar, és per això que es en la figura 27 on més clarament es poden apreciar les característiques descrites en els apartats anteriors.

En la figura 28 es pot observar sobre el mapa general de la Zona de les serres de Cavalls i Pàndols on es poden trobar afloraments superficials de la Formació Arenes d'Utrillas.



NW

SE



Figura 26.  
Tall  
detallada de  
l'aflorament  
principal.

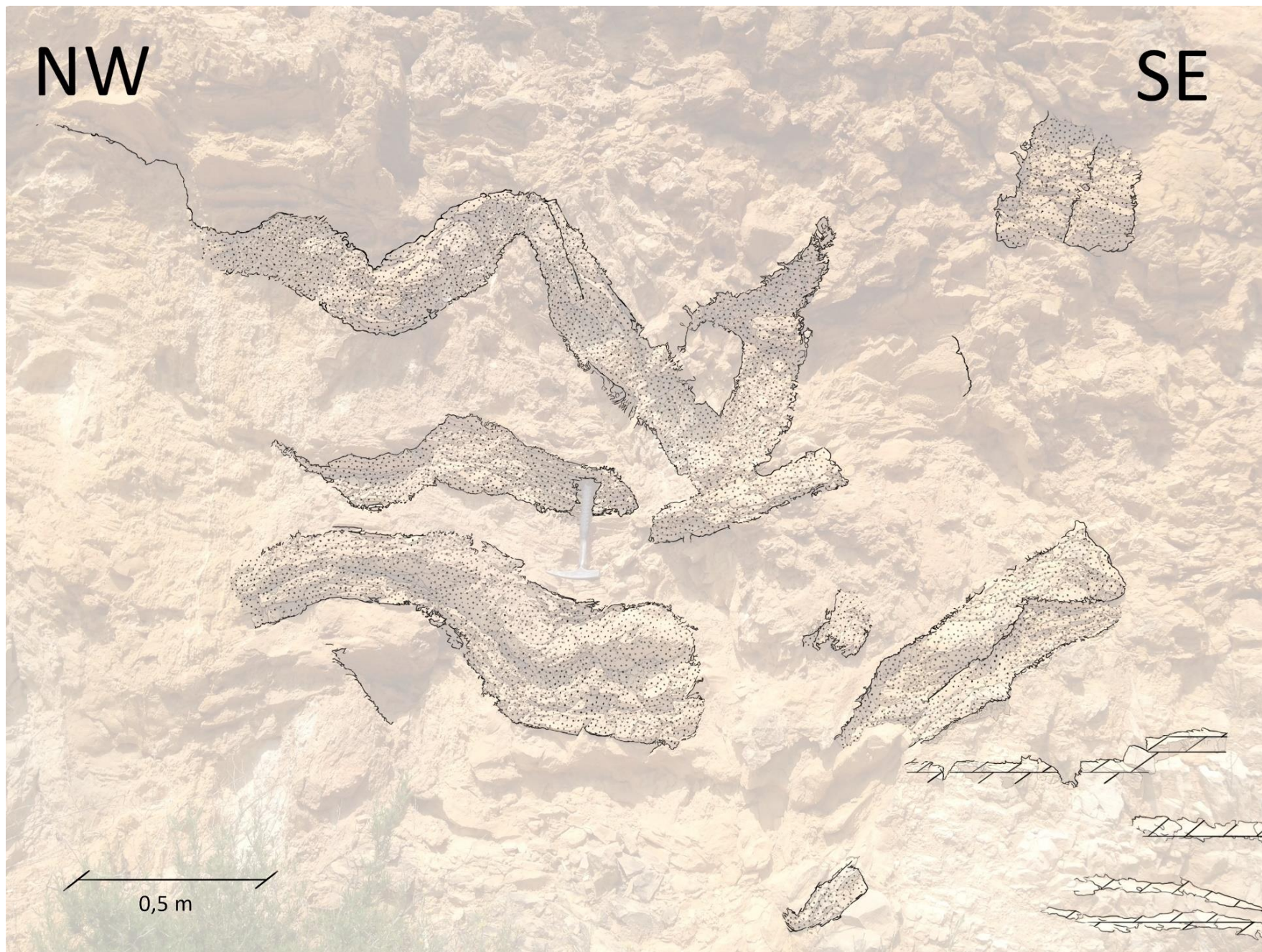


Figura 27. Tall detallat de l'aflorament principal amb la fotografia a sota.



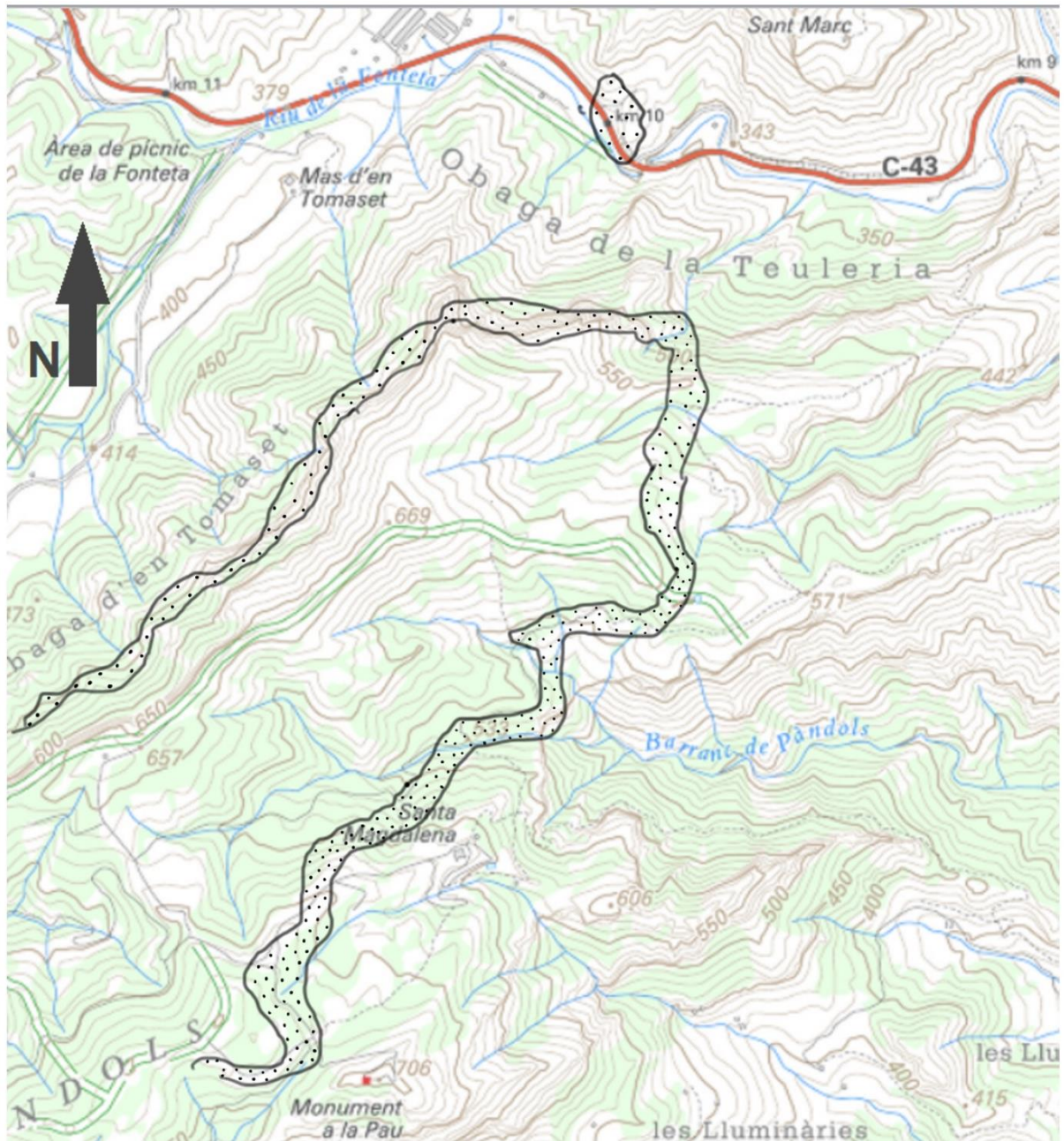


Figura 28. Cartografia dels afloraments observats de la Formació Utrillas en les Serres de Pàndols i Cavalls El fragment de la cartografia topogràfica pertany al mapa topogràfic 1:25000 de l'ICGC.

## **Discussió**

El reconeixement dels rebliments dels paleokarsts juràssics com a part de la Formació Utrillas es mostra com una dada nova i rellevant pel que fa a la complexitat de la pròpia Fm. Utrillas.

D'aquest reconeixement s'extrau que en algun moment entre l'Albià i el Cenomanià hi va haver transport hidràulic d'aquests materials, ja que així ho indiquen les dades aportades.

El que també es pot extreure és el període en el qual es van depositar pel registre, tant fòssil que s'ha trobat en les mostres com per l'edat relativa tenint en compte els materials que precedeixen i els que succeeixen al rebliment. Així, les restes fòssils d'algues caròfits del Cretaci inferior indiquen que es van sedimentar durant aquest període i per sobre del Lias, època a la qual pertany la Formació de Calcàries i Dolomies de Cuevas Labradas.

La gran quantitat de nòduls ferruginosos i d'òxids de ferro indiquen que durant la deposició l'ambient era fortament oxidant, i que per tant, es trobava en condicions subaèries; a diferència de les condicions en les que es consideren durant la deposició dels carbonats, que eren reductores i per tant, estaven submergides, tal i com es trobaven durant el Lias. Per tant, la situació del conjunt dels materials del rebliment, durant tota la seva deposició i posterior sedimentació es trobava en constant contacte amb l'atmosfera.

Pel que fa al tipus de fluid, tot indica que es tractava d'un fluid d'alt règim i turbulent. S'ha comprovat observant les estructures sedimentàries que es mostren en el material estudiat.

En contra de les tesis que aporta aquest treball es podria dir que no s'han ubicat un gran nombre d'afloraments de paleokarsts amb els rebliments de les arenas d'Utrillas i que per tant es podria no tractar d'un esdeveniment significatiu pel que fa al conjunt de la Fm. Utrillas.

L'aqüífer que constitueix la Fm. Arenas d'Utrillas es favorable a l'acumulació d'aigua degut a que els materials es troben en una de les capes del anticlinal que té com a nucli les Fàcies Keuper.

Igualment, es tracta d'un tipus de jaciment localitzat per les pròpies característiques dels paleokarsts de la zona, ja que no es tracta de grans karsts interconnectats com podria passar, sinó d'estructures amb una amplitud aproximada de 20 metres. En l'aflorament de la carretera C-43 en el km 10, és precisament pel fet de que van fer la carretera que es poden observar de manera òptima aquests materials.

Donat a que es tracta d'una temàtica que s'havia tractat poc en el passat, i quan havia estat tractada va ésser de manera superficial, no s'han pogut trobar moltes interposicions pel que fa les conclusions a les que s'ha arribat, després de la observació i descripció dels materials que formen part tant del rebliment com del paleokarst.

## Conclusions

A partir de totes les dades exposades, es poden obtenir una sèrie de conclusions al respecte, tant pel que respecta a la sedimentologia i a l'estratigrafia com pel que fa a la gènesi dels rebliments.

Amb aquest treball es consoliden les observacions que apareixen en Teixell (1986) que apuntava que hi havia en la zona de les Serres de Pàndols i Cavalls paleokarsts amb rebliments terrígens, ja que s'han descrit, caracteritzat, cartografiat i observat diversos d'aquests afloraments.

Així, es reprenen aquestes observacions i es descriuen mineralògicament i textualment les mostres recollides en els afloraments. Per la mineralogia quarsítica i sobretot per la gran quantitat de quars que hi ha en la Formació Arenes d'Utrillas l'única font probable que hi ha són les quarsites armoricanes de l'Ordovicià Inferior com ja apuntaven els autors Segura *et al.* (2013) i Marfil *et al.* (1992). El fet de que la morfologia dels grans de quars de les mostres siguin en la seva majoria subarrodonits i poc esfèrics indiquen que han estat poc transportats i per tant que l'origen dels clastos quarsítics és relativament proper a la deposició, això fa que es pugui consolidar més la teoria de l'origen del material.

Mineralògicament és també important comentar que s'han observat abundants nòduls ferruginosos. Aquests nòduls podrien, en les condicions en que es va depositar la Fm. Arenes d'Utrillas, tenir dos orígens diferents. El primer podria ésser un origen per lixiviació dels materials. La segona seria per producte de bioturbacions. El més probable degut a que aquestes bandes no són progressives és que es tracti de la segona opció i aquests nòduls tinguin com a origen la bioturbació, és a dir l'activitat d'essers vius en el sediment. Això té importants conseqüències sobre les propietats del sediment, ja que en modifica la permeabilitat i la porositat d'aquest. També es veuen modificats la textura del sediment, la seva composició i la seva estabilitat ja sigui per mescla de capes o per la selecció de les partícules del sediment. Aquests nòduls apareixen sobretot en la zona de l'Antiga Estació de Prat de Comte.

Per aquest efecte de la bioturbació, es destrueixen les estructures primàries i l'estratificació original del sediment. És per això que en l'àrea de l'Antiga Estació de Prat de Comte no apareixen estructures de tipus tractiu primari en les mostres.

Els fòssils que s'han trobat en les arenas són fòssils del Cretaci (caròfits), per tant els materials que ocupen el rebliment són, en la seva majoria, posteriors al Juràssic i es troben compresos entre l'Albià i el Cenomanià. Entre aquestes edats és quan es va produir el dipòsit de les arenas en els paleokarsts.

En general, la Fm. Arenes d'Utrillas està poc cimentada. D'altra banda en la zona d'estudi s'han pogut observar tant ciment quarsític com ciment d'òxids de ferro. Juntament als ciments, s'han observat múltiples recristal·litzacions de quars en les cavitats i porositats primàries de les mostres. Totes aquestes recristal·litzacions i ciments tenen el seu origen en fluxos amb òxids de ferro i sílice en dissolució, que posteriorment a la deposició de



les arenas d'Utrillas, han ocupat aquests espais i porositats primàries que presentava el material.

Des de el punt de vista estratigràfic es consolida la idea de que existeix una discontinuïtat regional per sota de la Fm. Utrillas. Aquesta es pot observar en la zona de l'Antiga Estació de Prat de Comte i en el km 10 de la carretera C-43. Tant la superfície erosionada entre els dos materials com el canvi de medi dels materials reforcen la idea de la discontinuïtat. Concretament, les calcàries de la Formació Calcàries i Dolomies tableadas de Cuevas Labradas pertanyen a un ambient marí, mentre que la Fm. Arenes d'Utrillas es va sedimentar en un ambient que es discuteix si va ésser eòlic o fluvial però en tot cas en condicions subaèries.

Pel que fa a la deposició del material es pot concloure que es tractava d'un ambient confinat. Al no haver-hi presència de *ripples* és descarta que sigui un flux de baix règim. D'altra banda es troben nombrosos casos de laminacions planars o paral·leles en les mostres i en el camp, que indiquen que el flux era un flux d'alt règim (*upper flow regime*, UFR) i turbulent.

Pel que fa a la cronologia dels materials i l'ordre en que aquests es van depositar es conclou que: primerament es van originar les coves kàrstiques i després d'un llarg període (del Lias fins a l'Albià) es van depositar les arenas. Sincrònicament a la deposició d'aquestes, un seguit de blocs de les parets del paleokarst, que es trencaren per les condicions turbulentes del flux, van quedar atrapats en el sediment. Així dins del rebliment de les arenas d'Utrillas s'hi pot trobar materials anteriors a la deposició i sedimentació d'aquestes.

L'interès econòmic d'aquest treball radica en que la Formació Arenas d'Utrillas és un aquífer degut a la naturalesa porosa dels materials que la formen. Ja que les arenas es troben en una bona posició per a l'acumulació d'aigua (plec anticlinal) mitjançant estudis geofísics es pot determinar on es troba el nivell freàtic i així mitjançant pous com alguns que ja hi ha per la zona poder explotar aquest recurs hídric.

## Agraïments

L'autora agraeix al director d'aquest treball, el Dr. Ferran Colombo, la seva ajuda imprescindible a l'hora de realitzar aquest treball. Voldria agrair també a na Mònica Relats, companya d'estudis, la seva visió crítica i el seu suport quan més falta feia.

## Referències

Aguilar, M. J. (1975). Sedimentologia y paleogeografía del Albense de la Cuenca Cantabrica. *Estud. Geol*, 30(1), 213.

Aguilar, M.J., Ramírez del Pozo, J. i Riba, O. (1971): Algunas precisiones sobre la sedimentación y paleontología del Cretácico inferior en la zona de Utrillas-Villarroya de los Pinares. *Estudios Geológicos*, 27: 497-512.

Anadón, P., Colombo, F., Esteban, M., Marzo, M., Robles, S., Santanach, P., i Sugrañés, L. S. (1979). Evolución tectonoestratigráfica de los Catalánides. *Acta Geológica Hispánica*, 14(1), 242-270.

Anadón, P., Cabrera, L., Colombo, F., Marzo, M., i Riba, O. (1986). Syntectonic intraformational unconformities in alluvial fan deposits, eastern Ebro Basin margins (NE Spain). *Foreland basins*, 8, 259-271.

Andreu, J. M., Calaforra, J. M., Cañaveras, J. C., Cuezaz, S., Durán, J. J., Garay, P., ... i Sánchez-Moral, S. (2016). Karst: un concepto muy diverso. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 24(1), 6-20.

Arnott, R. W., i Southard, J. B. (1990). Exploratory flow-duct experiments on combined-flow bed configurations, and some implications for interpreting storm-event stratification. *Journal of Sedimentary Research*, 60(2), 211-219.

Bosch, A. P. (2001). Investigación y exploración de acuíferos kársticos. *Boletín geológico y minero*, 112(2), 65-76.

Bravo, C. i García, A. (1993): Los Orbitolínidos de las Calizas de Aras de Alpuente (Albiense superior) en la región de Requena (Cordillera Ibérica, Valencia). *Geogaceta*, 14: 73-75.

Brinkmann, R. (1931): Betikum und Keltiberikum in Südostspanien. *Abhandlungen der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse*, 3, (1): 749-851.

Calonge, A. (1989): Bioestratigrafía del Cenomaniense de la Cordillera Ibérica por foraminíferos bentónicos. Tesis doctoral, Univ. Complutense de Madrid, 535 p.

Carenas, B. (1987): El Cretácico medio de la región de Liria - Ademuz (Valencia). Tesis doctoral, Univ. Complutense de Madrid, 868 p.

Esteban, M, i Robles, S. (1976). Sobre la paleografía del Cretácico Inferior de los Catalánides entre Barcelona y Tortosa. *Acta geológica hispánica*, 11(3), 73-78.

- Cerdà, M. E., i Brugués, R. J. (1973). Discordancias erosivas intrajurásicas en los Catalánides. *Acta geológica hispánica*, 8(5), 153-157.
- Cervera, A., Pardo, G. i Villena, J. (1976): Algunas precisiones litoestratigráficas sobre la Formación «Lignitos de Escucha». *Tecniterrae*, 14: 25-33.
- Choquette P.W. i James N.P. (1988). Introduction. En: *Paleokarst* (Eds.: N.V. James N.V. y P.W. Choquette). Springer, New York, 1–21.
- Chumacov, N.M., Zharkov, M.A., Herman, A.B., Doludenko, M.P., Kalandadze, N.N., Lebedev, E.L., Ponomarenko, A.G. i Rautian, A.S. (1995): Climatic belts of the mid-Cretaceous time. *Stratigraphic and Geological Correlation*, 3: 241-260.
- Colombo, F. i Marzo, M. (1987): Conceptos básicos de fluidodinámica y tipos principales de flujos. *Curso de postgrado de Volcanología*, 2, 1-104.
- Dabrio, C.J (1984). *Estructuras sedimentarias primarias* (Vol. 1). IGME.
- Einsele, G. (1992). *Sedimentary basins: evolution, facies, and sedimentary budget*. Springer-Verlag.
- Esteban Cerdá, M. (1973). *Petrología de las calizas cretácicas del sector central de los Catalánides* (prov. De Tarragona y Barcelona). Tesis doctoral, Univ. Barcelona, 425 p.
- Esteban, M, i Robles, S. (1976). Sobre la paleografía del Cretácico Inferior de los Catalánides entre Barcelona y Tortosa. *Acta geológica hispánica*, 11(3), 73-78.
- Esteban, M., i Julià, R. (1973). Discordancias erosivas intrajurásicas en los Catalánides. *Acta geológica hispánica*, 8(5), 153-157.
- Esteban, M., i J. L. Wilson. (1993). Introduction to karst Systems and paleokarst reservoirs, in R. D. Fritz, J. L. Wilson, and D. A. Yurewicz, eds., *Paleokarst related hydrocarbon reservoirs: SEPM Core Workshop 18*, p. 1–9.
- Fallot, F. i Bataller, J.R. (1927): Sur le bordure nord-est du Massif Crétacé du Bas-Aragón. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 184: 1467-1470.
- Ford, D. C., i Williams, P. W. (1989). *Karst geomorphology and hydrology* (Vol. 601). London: Unwin Hyman.
- Galán, C. (1991). Disolución y génesis de karst en rocas carbonáticas y rocas silíceas: un estudio comparado. *Munibe Ciencias Naturales. Natur zientziak*, (43), 43-72.
- García, A., Mas, J.R., Arias, C., Vilas, L., Alonso, A. i Rincón, R. (1978): Evolution sédimentaire des facies terrigènes mixtes et carbonates de l'Albien Supérieur–Cénomanién dans la région de Cuenca–Almansa. *Cahiers de Micropaléontologie*, 4: 11-19.
- Gil, J., Carenas, B., Segura, M., García-Hidalgo, J. F., i García, A. (2004). Revisión y correlación de las unidades litoestratigráficas del Cretácico Superior en la región central y oriental de España. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 17(3-4), 249-266.

- Goy, A. G. (1974). El Lías de la mitad norte de la rama castellana de la Cordillera Ibérica. *COL-PA. Publicaciones de departamento de paleontología*, (26), 9-10.
- Lombard, A. (1956). *Géologie sédimentaire, les séries marines*, Agustín Lombard.
- Marfil, R., i Gómez-Gras, D. (1992). Procedencia y modelo diagenético de las areniscas de facies Utrillas en la Cordillera Ibérica (Umbral de Ateca) y la Meseta Norcastellana. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 5(3-4), 101-115.
- Meléndez, F., Villena, J., Ramírez del Pozo, J., Portero, J. M., Olivé, A., Assens, J. i Sánchez Soria, P. (1975): Síntesis del Cretácico de la zona Sur de la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica. En: I Simposio del Cretácico de la Cordillera Ibérica: 241-252.
- Miall, A. D. (1985). Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth-Science Reviews*, 22(4), 261-308.
- Middleton, G. V. (1973). Johannes Walther's law of the correlation of facies. *Geological Society of America Bulletin*, 84(3), 979-988.
- Molina, J. M., i Salas, R. (1993). Bauxitas kársticas del Cretácico inferior en Fuentespalda (provincia de Teruel): Estratigrafía, origen y paleogeografía. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 17, 207-230.
- Molina, M. D. (1984). *Sedimentación fluvial (Vol. 1)*. IGME.
- Pardo, G. (1974). Nota previa sobre las características litoestratigráficas de las formaciones " Arenas de Utrillas" y " Lignitos de Escucha". *Acta geológica hispánica*, 9(2), 62-66.
- Pardo, G. (1979): *Estratigrafía y sedimentología de las formacions detríticas del Cretácico inferior terminal del Bajo Aragón Turolense*. Tesis Doctoral, Univ. de Zaragoza, 473 p.
- Pardo, G. i Villena, J. (1981): *Geología de la Región de Montalbán-Utrillas*. En: XV Curso de Geología Práctica de Teruel, 161-194.
- Pardo, G., Ardevol, L. i Villena, J. (1991): *Mapa Geológico de España E 1:200.000, hoja nº40 (Daroca)*. ITGE, Madrid.
- Querol, X., Salas, R., Pardo, G. i Ardevol, L. (1992): *Albian coal-bearing deposits of the Iberian Range in northeastern Spain*. En: *Controls and distribution and quality of Cretaceous Coals* (J.P. McCabe y J.T. Panish, Eds.). Geological Society of America, Special Paper, 267: 193-208.
- Reineck, H. E., i Singh, I. B. (2012). *Depositional sedimentary environments: with reference to terrigenous clastics*. Springer Science & Business Media.
- Riba, O. (1959): *Estudio geológico de la Sierra de Albarracín*. Monografías Instituto Lucas Mallada, 16. C.S.I.C. 283 p.
- Riba, O. (1986). *Una taula dels temps geològics (Vol. 81)*. Institut d'Estudis Catalans

Richter, G. i Teichmüller, R. (1933): Die entwicklung der keltiberischen ketten. Abhandlungen der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse, 3 (7): 118 p.

Robles, S. (1974). Estudio geológico del Mesozoico del Bloque del Cardó y sectores adyacentes. Tesis Doctoral, Univ. Autónoma de Barcelona, 436 p.

Robles, S. (1982). Catalánides. El Cretácico De España, Universidad Complutense. Madrid pp, 199-272.

Rodríguez-López, J. P., Meléndez, N., Soria, A. R., i de Boer, P. L. (2009). Reinterpretación estratigráfica y sedimentológica de las formaciones Escucha y Utrillas de la Cordillera Ibérica. Revista de la Sociedad Geológica de España, 22(3-4), 163-219.

Rodríguez-López, J.P., Meléndez, N., de Boer, P.L. i Soria, A.R. (2008): Aeolian sand-sea development along the mid-Cretaceous western Tethyan margin (Spain); erg sedimentology and paleoclimate implications. *Sedimentology*, 55: 1253-1292.

Rodríguez-López, J.P., Meléndez, N., Soria, A.R. i de Boer, P.L. (2008): Una nueva interpretación de las Fms Escucha y Utrillas en su área tipo: sedimentología y evolución de un sistema desértico arenoso (erg) en el margen oriental de Iberia. *Geo-Temas*, 10: 179-182.

Rosas Rodrigo, P., Sanz Pérez, E., i Menéndez Pidal de Navascués, I. (2016). Hidrogeología del Karst de Pico Frontes (Cordillera Ibérica, España). *Estudios Geológicos*, 72(1), 1-21.

Salas, R. (1983). Las secuencias deposicionales del transito Jurásico-Cretácico en la zona de enlace Catalánides-Ibérica. *Com. Congr. Nac. de Sedimentología de Menorca*, 3-34.

Salas, R. i Casas, A. (1993): Mesozoic extensional tectonics, stratigraphy and crustal evolution during the Alpine cycle of the eastern Iberian basin. *Tectonophysics*, 228: 33-55.

Segura, M., i Elorza, J. (2013). Presencia de ventifactos en las facies Utrillas (Tamajón-Sacedoncillo, borde Suroriental del Sistema Central, Guadalajara): aspectos morfológicos y procedencia. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 26(2), 47-63.

Southard, J. B., Smith, N. D., & Kuhnle, R. A. (1984). Chutes and lobes: newly identified elements of braiding in shallow gravelly streams.

Teixell, A. (1985). Estudi geològic de les serres de Pàndols, de Cavalls i del Montsant i de les seves relacions amb les depressions de l'Ebre i de Móra (Tarragona). Tesis doctoral, Univ. de Barcelona. 149 p.

Teixell, A. (1988). Desarrollo de un anticlinorio por transpresión, aislando una cuenca sedimentaria marginal (borde oriental de la Cuenca del Ebro, Tarragona). *Revista de la Sociedad Geológica de España* 1 (1-2): 229-238.



Tiercelin, J. J., Renaut, R. W., Delibrias, G., Le Fournier, J., i Bieda, S. (1981). Late Pleistocene and Holocene lake level fluctuations in the Lake Bogoria basin, northern Kenya Rift Valley. *Palaeoecology of Africa*, 13, 105-120.

Tricalinos, J. (1929): Untersuchungen über den Bau der Keltiberischen Ketten des nordöstlichen Spanien. *Zeitschrift Der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, 80: 409-483.

Torres, J. A. V. (1994). *Estratigrafía: principios y métodos* (pp. 136-150). Rueda.

Vilas, L., Dabrio, C. J., Peláez, J. R., i García-Hernández, M. (2001). Dominios sedimentarios generados durante el período extensional Cretácico Inferior entre Cazorla y Hellín (Béticas Externas). Su implicación en la estructura actual. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 14, 113-122.

Villalba-Breva, S., i Martín-Closas, C. (2013). Upper Cretaceous paleogeography of the Central Southern Pyrenean Basins (Catalonia, Spain) from microfacies analysis and charophyte biostratigraphy. *Facies*, 59(2), 319-345.