

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
MUSEO NACIONAL DE CIENCIAS NATURALES
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

DEPARTAMENTO DE CRISTALOGRAFÍA Y MINERALOGÍA
FACULTAD DE CIENCIAS GEOLÓGICAS
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

**ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DEPOSICIONALES
CARBONÁTICOS Y EVAPORÍTICOS DEL NEÓGENO DE LA
CUENCA DE CALATAYUD (PROVINCIA DE ZARAGOZA).**

Tesis Doctoral
ENRIQUE SANZ RUBIO
Madrid, 1999

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
MUSEO NACIONAL DE CIENCIAS NATURALES
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

DEPARTAMENTO DE CRISTALOGRAFÍA Y MINERALOGÍA
FACULTAD DE CIENCIAS GEOLÓGICAS
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

**ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DEPOSICIONALES
CARBONÁTICOS Y EVAPORÍTICOS DEL NEÓGENO DE LA
CUENCA DE CALATAYUD (PROVINCIA DE ZARAGOZA).**

Tesis Doctoral
ENRIQUE SANZ RUBIO
Madrid, 1999

Directores:

MANUEL HOYOS GÓMEZ
*Departamento de Geología.
Museo Nacional de Ciencias Naturales.
Consejo Superior de Investigaciones Científicas.*

JOSE PEDRO CALVO SORANDO
*Departamento de Petrología y Geoquímica.
Facultad de Ciencias Geológicas
Universidad Complutense de Madrid*

Ponente:

LURDES FERNÁNDEZ DÍAZ
*Departamento de Cristalografía y Mineralogía.
Facultad de Ciencias Geológicas
Universidad Complutense de Madrid*

**ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DEPOSICIONALES CARBONÁTICOS Y
EVAPORÍTICOS DEL NEÓGENO DE LA CUENCA DE CALATAYUD
(PROVINCIA DE ZARAGOZA).**

Esta Tesis Doctoral ha sido realizada en el Departamento de Geología del Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC), y financiada por los Proyectos de Investigación de la DGICYT PB92-0024 (Inv. Principal M. Hoyos) y PB95-0112 (Inv. Principal M. Hoyos).

Esta Memoria es presentada por Enrique Sanz Rubio para optar al grado de Doctor en Ciencias Geológicas.

Madrid, Octubre de 1998.

El Doctorando,

Enrique Sanz Rubio

Los Directores,

Dr. Manuel Hoyos Gómez

Dr. José Pedro Calvo Sorando

AGRADECIMIENTOS

No quisiera que este apartado, uno de los más importantes de la Tesis, se convirtiera en un frío e interminable listado de nombres de personas. Hay veces, como ésta, que teniendo que agradecer un buen número de cosas, los nombres de personas ya no tienen sentido, o por lo menos, a mi no me lo parece, ya que su ayuda reside en mi cabeza, y no puede ser plasmada aquí, sino en la vida cotidiana. Sin duda, y no hace falta realizar grandes esfuerzos de memoria, las ayudas recibidas no sólo residen en el plano científico, sino también en el lado humano, que al fin y al cabo, son igualmente valorables.

A las personas encargadas de dirigir esta Tesis, labor nada fácil, agradecerles su complementación en los diferentes puntos de ver las cosas, además de la constancia, ilusión, desesperación, paciencia y la insistencia en lograr atar todo tipo de cabos, y más aún, la ayuda para restar importancia en su momento justo a aquello que no lo tenía, es decir, las restantes páginas de este trabajo.

Precisamente, páginas y páginas necesitaría para valorar la ayuda de los compañeros del Museo Nacional de Ciencias Naturales, tanto los de dentro como los del exilio. Después de días, meses, y años conviviendo, siempre se respira un cierto aire de frescura en continua renovación, que lógicamente ayuda a respirar. Es una suerte haber compartido momentos muy especiales con estos compañeros, tanto en la intimidad como en la colectividad, que siempre han de quedar guardados en la memoria; momentos muy buenos, buenos y malos, pero que con el paso del tiempo, como el buen vino, todos envejecerán produciéndonos un buen sabor de boca. Algunos de esos momentos, aunque no se han vuelto a repetir, aún siguen latentes, y desde esta latencia, ya todo es posible.

Al hablar de compañeros del museo, no sólo incluyo toda persona con hábito u obligación de investigar, sino también al resto del personal; es fácil acordarse del buen humor que afortunadamente reina en este centro, especialmente por las mañanas, salvo excepciones que al final también llegan a convertirse en una nota de humor. Sin duda, las miles de sonrisas y verdaderas carcajadas, en un ambiente sano, generan un buen caldo de cultivo que sirve para poner los ingredientes necesarios para que una persona en su sano juicio también devuelva una sonrisa.

Muy valorables han sido las numerosas ayudas recibidas por gente de otros organismos, otros centros, universidades, o del mismo Calatayud, que han colaborado a lo largo de todo este tiempo con pequeños y grandes destellos de sabiduría, de los que siempre se ha intentado tomar nota, al menos en la medida de lo que se ha podido. Las estancias en el extranjero y el contacto con otros grupos o especialistas tanto en París, como en Utrecht, han concedido una oportunidad para adentrarse en mundos antes desconocidos, y que ahora surgen llenos de atractivo, como se intentará dejar patente en las siguientes páginas.

Lejos del influjo del mundo de la investigación, quedan personas incuestionables, familiares y amistades que miraron y mirarían con escepticismo y preocupación todo el tiempo necesario en hacer un trabajo como éste, un tiempo que podría haber sido empleado en otras facetas de la vida, quizás a la larga más productivas; desconocemos los resultados, pero sin duda, sus sentimientos, su paciente comprensión, ánimo y amistad han sido fundamentales para acabar este trabajo...

A Carmen, su mundo y su gente.

INDICE

Capítulo 1

Introducción	3
1. OBJETIVOS	3
2. METODOLOGÍA	4
2.1. PLANIFICACIÓN DEL TRABAJO	4
2.2. TRATAMIENTO DE LOS MATERIALES ESTUDIADOS	5
2.3. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO DE LA ARQUITECTURA DEPOSICIONAL DEL NEÓGENO DE LA CUENCA DE CALATAYUD	6
2.4. MÉTODOS DE ESTUDIO DE LAS MUESTRAS	6

Capítulo 2

Antecedentes regionales y marco geológico-estructural de la Cuenca de Calatayud	13
1. CONTEXTO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO	13
2. MARCO ESTRUCTURAL	14
2.1. LA CORDILLERA IBÉRICA	15
2.2. EVOLUCIÓN ALPINA DE LA CORDILLERA IBÉRICA	16
2.3. LA CUENCA DE CALATAYUD S.S.	18
2.4. MODELOS TECTÓNICO-GENÉTICOS DE LA CUENCA DE CALATAYUD	19
3. RASGOS GEOLÓGICOS DE LOS MÁRGENES DE LA CUENCA DE CALATAYUD	20
3.1. PALEOZOICO	21
3.2. MESOZOICO	22
3.3. LOS EVENTOS VOLCÁNICOS EN EL CONTEXTO DE LA CUENCA	22
4. ESTADO ACTUAL DE CONOCIMIENTOS DEL RELLENO SEDIMENTARIO DE LA CUENCA DE CALATAYUD	23
4.1. IMPORTANCIA PALEONTOLÓGICA DE LA CUENCA DE CALATAYUD	25
4.2. IMPORTANCIA DE LOS DEPÓSITOS EVAPORÍTICOS DE LA CUENCA DE CALATAYUD	27
4.3. IMPORTANCIA DE LOS PROCESOS DE KARSTIFICACIÓN EN FACIES EVAPORÍTICAS	28

5. ANTECEDENTES ESTRATIGRÁFICOS DEL TERCIARIO DE LA CUENCA	28
5.1. PALEÓGENO	28
5.2. NEÓGENO	29
6. LA CONFIGURACIÓN ACTUAL DE LA CUENCA. RASGOS FUNDAMENTALES GEOMORFOLÓGICOS Y TECTÓNICOS	33
6.1. RASGOS GEOMORFOLÓGICOS	33
6.2. RASGOS TECTÓNICOS	36

Capítulo 3

Estratigrafía del Neógeno de la Cuenca de Calatayud	41
1. UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS MAYORES Y SU CRONOLOGÍA	41
1.1. UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS MAYORES	41
1.2. CRONOLOGÍA DE LAS UNIDADES	44
2. DISTRIBUCIÓN EN SUBUNIDADES	47
3. ESTRATIGRAFÍA DE LA UNIDAD INFERIOR	50
3.1. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS FACIES EVAPORÍTICAS	50
3.2. EL SUBSUELO DE LA CUENCA	50
3.2.1. Los sondeos de Cifuentes y Paracuellos de Jiloca	50
3.2.2. Los sondeos del P. I. Cristina (MYTA)	52
3.2.3. Los sondeos del P. I. Valdezanco (TOLSA)	55
3.2.4. Los sondeos de la Junta de Energía Nuclear	55
3.3. LAS FACIES TERRÍGENAS MARGINALES A LAS EVAPORITAS	55
3.3.1. Facies conglomerático-arenosas	55
3.3.2. Facies arenosas cementadas por yeso	57
3.3.3. Facies lutítico-limosas rojas	58
3.4. DESCRIPCIÓN DE SUBUNIDADES DE UNIDAD INFERIOR	58
3.4.1. Subunidad de lutitas y limos rojos con nódulos de yeso (L_R -INF)	58
3.4.2. Subunidad de limos y lutitas grises-ocres (L_G -INF)	61
3.4.3. Subunidad de yesos laminado-nodulares (Y_{LN} -INF)	64
3.4.4. Subunidad de yesos laminados (Y_L -INF)	67
3.4.5. Subunidad de yesos laminados con magnésita (Y_{LM} -INF)	69
4. ESTRATIGRAFÍA DE LA UNIDAD INTERMEDIA	71
4.1. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS FACIES EVAPORÍTICO-CARBONATADAS	71

4.2. DESCRIPCIÓN DE SUBUNIDADES DE UNIDAD INTERMEDIA	72
4.2.1. Subunidad de yesos laminados con magnesita (Y_{LM} -INT)	72
4.2.2. Subunidad de margas dolomíticas con yeso laminado (M_D -INT)	73
4.2.3. Subunidad de yesos mesolenticulares bioturbados (Y_{MB} -INT)	76
4.2.4. Subunidad de calizas laminadas diagenéticas (C_{LD} -INT)	78
4.2.5. Subunidad de calizas brechoides, calizas con pseudomorfos de yeso lenticular . y calizas palustres (CB_{PY} -INT)	80
4.2.6. Subunidad de calizas bioclásticas, palustres y tobas de caráceas (C_B -INT) ...	82
4.2.7. Subunidad de yesos dolomías y margas dolomíticas (DM_D -INT)	84
4.2.8. Subunidad de lutitas, limos y areniscas con calizas (LA_C -INT)	88
4.2.9. Subunidad de lutitas y margas dolomíticas bioturbadas (LM_{DB} -INT)	90
4.2.10. Subunidad de calizas palustres con gasterópodos (C_{PG} -INT)	93
5. ESTRATIGRAFÍA DE LA UNIDAD SUPERIOR	96
5.1. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS DEPÓSITOS DE LA UNIDAD SUPERIOR	96
5.2. DESCRIPCIÓN DE LAS SUBUNIDADES DE LA UNIDAD SUPERIOR	96
5.2.1. Subunidad de lutitas y limos rojos con conglomerados silíceos y oncolíticos (L_R -SUP)	96
5.2.2. Subunidad de tobas autóctonas y depósitos de removilización tobácea (T_A -SUP)	98
5.2.3. Subunidad de calizas laminadas de caráceas y gasterópodos (C_L -SUP)	99

Capítulo 4

Descripción e interpretación de la litofacies evaporíticas de la Cuenca de Calatayud

.....	115
1. LAS UNIDADES EVAPORÍTICAS DE LA CUENCA DE CALATAYUD	116
2. DESCRIPCIÓN E INTERPRETACIÓN DE LITOFACIES YESÍFERAS SINDEPOSICIONALES	120
2.1. LITOFACIES DE YESO LAMINADO	121
2.1.1. Descripción	121
2.1.2. Interpretación	126
2.2. LITOFACIES DE YESO MACROLENTICULAR Y ROSAS DEL DESIERTO (Y_{RD})	128
2.2.1. Descripción	128
2.2.2. Interpretación	129
2.3. LITOFACIES DE YESO MESOCRISTALINO BIOTURBADO (Y_B)	132
2.3.1. Descripción	132
2.3.2. Interpretación	135

3. DESCRIPCIÓN E INTERPRETACIÓN DE LITOFACIES YESÍFERAS POSTDEPOSICIONALES	137
3.1. YESO POSTDEPOSICIONAL. LITOFACIES PROCEDENTE DE GLAUBERITA (G_I , G_N , G_L)	138
3.1.1. Descripción	138
3.1.2. Interpretación	146
3.2. YESO POSTDEPOSICIONAL. LITOFACIES PROCEDENTE DE ANHIDRITA (A_N y A_L)	153
3.2.1. Descripción	153
3.2.2. Interpretación	162
3.3. LITOFACIES DE VENAS DE YESO FIBROSO ("SATINSPAR VEIN") (Y_f)	166
3.3.1. Descripción	166
3.3.2. Interpretación	167
3.4. LITOFACIES DE YESO MACROCRISTALINO (Y_M)	168
3.4.1. Descripción	168
3.4.2. Interpretación	169
3.5. LITOFACIES DE NÓDULOS COLUMNARES DE YESO (A_p)	170
3.5.1. Descripción	170
3.5.2. Interpretación	175
4. PRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS ISOTÓPICOS DE $\delta^{18}O$ Y $\delta^{14}S$ EN LAS FASES SULFATADAS	180
4.1. PRESENTACIÓN DE LOS DATOS ISOTÓPICOS	180
4.2. INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS ISOTÓPICOS	182
4.2.1. Los yesos de las unidades evaporíticas de la cuenca	183
4.2.2. Las eflorescencias salinas y otros sulfatos asociados	185

Capítulo 5

Descripción e interpretación de la litofacies carbonáticas deposicionales de la Cuenca de Calatayud	195
--	-----

1. DESCRIPCIÓN E INTERPRETACIÓN DE LAS LITOFACIES DOLOMÍTICAS (D_A, D_B Y D_Y)	196
1.1. DESCRIPCIÓN	196
1.1.1. Subfacies de dolomías arenosas (D_A)	196
1.1.2. Subfacies de dolomías fenestrales, brechoides y bioturbadas (D_B)	198
1.1.3. Subfacies de dolomías/margas con yeso (D_Y)	206
1.2. INTERPRETACIÓN	207

2. DESCRIPCIÓN E INTERPRETACIÓN DE LITOFACIES MAGNÉSICAS (MP, MS, MT)	213
2.1. DESCRIPCIÓN	213
2.1.1. Subfacies de magnesita en asociación con litofacies de yeso postdeposicional (MP)	218
2.1.2. Subfacies de magnesita en asociación con litofacies de yeso sindeposicional (MS)	220
2.1.3. Subfacies de magnesita en asociación con facies terrígenas (MT)	221
2.2. INTERPRETACIÓN	223
3. DESCRIPCIÓN E INTERPRETACIÓN DE LAS LITOFACIES CALCÍTICAS (C_B, C_N, C_L, C_T)	230
.....	230
3.1. DESCRIPCIÓN	230
3.1.1. Subfacies de calizas bioclásticas y calizas con gasterópodos (C _B)	230
3.1.2. Subfacies de calizas nodulosas (C _N)	232
3.1.3. Subfacies de calizas laminadas con gasterópodos y caráceas (C _L)	234
3.1.4. Subfacies de calizas tobáceas (C _T)	236
3.2. INTERPRETACIÓN	250
4. CARACTERIZACIÓN ISOTÓPICA DE LOS CARBONATOS DEPOSICIONALES DE LA CUENCA DE CALATAYUD	261
.....	261
4.1. PRESENTACIÓN DE LOS DATOS ISOTÓPICOS	261
4.1.1. Magnesitas	261
4.1.2. Dolomitas	262
4.1.3. Calcitas	263
4.2. INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS ISOTÓPICOS DE CARBONATOS DEPOSICIONALES	264
4.2.1. Magnesitas	264
4.2.2. Dolomitas	264
4.2.3. Calcitas	264

Capítulo 6

Asociaciones de facies, secuencias y medios deposicionales. Modelos de sedimentación. Reconocimiento de ciclicidad sedimentaria en la Cuenca de Calatayud	271
.....	271

1. ASOCIACIONES DE FACIES, SECUENCIAS Y MEDIOS DEPOSICIONALES. MODELO DE SEDIMENTACIÓN DE LA UNIDAD INFERIOR	272
1.1. DESCRIPCIÓN DE LAS ASOCIACIONES DE FACIES Y SECUENCIAS	273

1.1.1. Transición abanico aluvial-margen de lago salino	273
1.1.2. Margen lacustre-lago salino	276
1.2. INTERPRETACIÓN DE LAS ASOCIACIONES DE FACIES Y SECUENCIAS. CARACTERIZACIÓN DE MEDIOS DEPOSICIONALES	277
1.2.1. Transición abanico aluvial-margen de lago salino	277
1.2.2. Margen lacustre-lago salino	281
1.3. MODELOS DE SEDIMENTACIÓN DE LA UNIDAD INFERIOR	282
2. ASOCIACIONES DE FACIES, SECUENCIAS Y MEDIOS DEPOSICIONALES. UNIDAD INFERIOR-INTERMEDIA (SIERRA DE ARMANTES)	286
2.1. DESCRIPCIÓN DE LAS ASOCIACIONES DE FACIES Y SECUENCIAS	287
2.2. INTERPRETACIÓN DE LAS ASOCIACIONES DE FACIES Y SECUENCIAS. CARACTERIZACIÓN DE MEDIOS DEPOSICIONALES	288
2.2.1. <i>Mudflat</i> carbonático-margen lacustre	288
3. ASOCIACIONES DE FACIES, SECUENCIAS Y MEDIOS DEPOSICIONALES. MODELO DE SEDIMENTACIÓN DE LA UNIDAD INTERMEDIA	290
3.1. DESCRIPCIÓN DE LAS ASOCIACIONES DE FACIES Y SECUENCIAS	290
3.1.1. Transición abanico aluvial-margen lacustre	290
3.1.2. Transición margen lacustre-lago salino	294
3.1.3. Ambiente palustre	295
3.2. INTERPRETACIÓN DE LAS ASOCIACIONES DE FACIES Y SECUENCIAS. CARACTERIZACIÓN DE MEDIOS DEPOSICIONALES	297
3.2.1. Transición abanico aluvial-margen lacustre	298
3.2.2. Transición margen lacustre-lago salino	301
3.2.3. Ambiente palustre	302
3.3. MODELOS DE SEDIMENTACIÓN DE LA UNIDAD INTERMEDIA	304
4. ASOCIACIONES DE FACIES, SECUENCIAS Y MEDIOS DEPOSICIONALES. MODELOS DE SEDIMENTACIÓN DE LA UNIDAD SUPERIOR	308
4.1. DESCRIPCIÓN DE LAS ASOCIACIONES DE FACIES Y SECUENCIAS	308
4.1.1. Abanico aluvial-canales fluviales	309
4.1.2. Ambiente fluvio lacustre -tobáceo	309
4.1.3. Ambiente lacustre	311
4.2. INTERPRETACIÓN DE LAS ASOCIACIONES DE FACIES, SECUENCIAS Y MEDIOS DEPOSICIONALES	312
4.2.1. Abanico aluvial-canales fluviales	312
4.2.2. Ambiente fluvio lacustre -tobáceo	313
4.2.3. Ambiente lacustre	314
4.3. MODELOS DE SEDIMENTACIÓN DE LA UNIDAD SUPERIOR	314

5. RECONOCIMIENTO DE CICLICIDAD SEDIMENTARIA EN LOS DEPÓSITOS MIOCENOS DE LA CUENCA DE CALATAYUD. IMPLICACIONES PALEOCLIMÁTICAS	317
5.1. ESTADO ACTUAL DE LOS ESTUDIOS SOBRE CICLICIDAD SEDIMENTARIA	317
5.1.1. Los parámetros orbitales terrestres	318
5.2. ESTUDIOS DE CICLICIDAD SEDIMENTARIA EN LA CUENCA DE CALATAYUD	320
5.2.1. La respuesta de los ambientes evaporíticos a las oscilaciones climáticas ...	322
5.3. CICLICIDAD SEDIMENTARIA EN LA UNIDAD INFERIOR	323
5.3.1. Ciclos menores. Interlaminados yeso-magnesita	323
5.3.2. Ciclos mayores. Secuencias de arcilla y magnesita con yeso nodular	324
5.4. CICLICIDAD SEDIMENTARIA EN LA UNIDAD INTERMEDIA	326
5.4.1. Sucesión cíclica yeso primario/magnesita-dolomita (sector SE de la cuenca)	327
5.4.2. Sucesión cíclica lutitas y limos/dolomita (sector de Orera-Ruesca)	331
5.4.3. Secuencias cíclicas de calcretas/limos, arcillas y arenas de color rojo (sector de Armantes Norte)	336
5.5. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL RECONOCIMIENTO DE CICLICIDAD SEDIMENTARIA EN LA CUENCA DE CALATAYUD	337

Capítulo 7

Carbonatos de origen diagenético del Mioceno de la Cuenca de Calatayud

..... 341

1. DESCRIPCIÓN DE LAS LITOFACIES DE CARBONATOS DIAGENÉTICOS DE LA CUENCA DE CALATAYUD	343
1.1. CARBONATOS DIAGENÉTICOS TEMPRANOS	344
1.1.1. Carbonatos diagenéticos del Bloque Norte-Armantes (Sierra de Armantes)	345
- Carbonatos laminados.....	346
- Carbonatos de cristales subromboédricos	348
1.1.2. Carbonatos diagenéticos del Bloque Sur-Páramo	352
- Carbonatos brechoideos del Sector meridional.....	353
* Texturas de reemplazamiento en los tramos de carbonatos brechoideos .	358
* Texturas deposicionales asociadas a los tramos de carbonatos brechoideos	366
- Carbonatos diagenéticos laminados del sector Central-septentrional.....	367
* Microtexturas de los carbonatos laminados.....	370
* Microestructuras de deformación	374
1.1.3. Carbonatos diagenéticos de los bloques Sur Occidental y Oriental	375
- Carbonatos laminados.....	377
- Carbonatos granudo-clásticos	378
1.1.4. Otros reemplazamientos minerales	381

- Reemplazamientos sulfato-aragonito-calcita	381
* Aragonito como producto de reemplazamiento de anhidrita/yeso	385
* Aragonito de crecimiento intrasedimentario	386
- Dolomitizaciones (Dolomicroesparita)	387
1.2. CARBONATOS DIAGENÉTICOS HIPERGÉNICOS	388
1.2.1. Hipergénesis de series sulfatadas	388
1.2.2. Calcitizaciones en series evaporíticas en relación con sistemas de fractura	389
- Calcitización centrífuga de secuencias yeso/magnesita	390
- Calcitización preferente de magnesita en series evaporíticas	393
* Análisis petrográfico de las magnesitas y calcitas	397
* Composiciones isotópicas de Carbono y Oxígeno	398
1.3. DISCRIMINACIÓN GEOQUÍMICA (ELEMENTAL-ISOTÓPICA) DE LITOFACIES CARBONÁTICAS DEPOSICIONALES Y DIAGENÉTICAS	399
1.3.1. Geoquímica de elementos mayores	399
1.3.2. Isótopos estables	400
2. INTERPRETACIÓN DE LAS LITOFACIES DE CARBONATOS DIAGENÉTICOS DE LA CUENCA DE CALATAYUD	402
2.1. MECANISMOS DE CALCITIZACIÓN	402
2.1.1. Procesos de reemplazamiento de sulfatos	402
- Interpretación de las texturas	404
* Cristales subromboédricos	404
2.1.2. Procesos de dedolomitización	406
- Interpretación de las texturas	408
* Calcitas suturadas	408
* Calcitas fibrosas	409
2.1.3. Procesos de demagnesitización (calcitización de magnesita)	412
- Interpretación de los datos	413
2.1.4. La celestina en los carbonatos diagenéticos	418
2.1.5. La sílice en los carbonatos diagenéticos	421
2.1.6. Interpretación geoquímica de los carbonatos diagenéticos. Elementos mayores y relaciones isotópicas de Oxígeno y Carbono	423
- Geoquímica elemental (elementos mayores)	423
- Geoquímica isotópica (isótopos estables de Oxígeno y Carbono)	424
* Preservación de la señal isotópica	426
2.1.7. Modelo de formación de carbonatos diagenéticos	434
- Génesis de las texturas laminadas y masivas diagenéticas	434
- Cronología de los procesos de calcitización carbonato magnésico/sulfato cálcico	436
- Contexto paleogeográfico y modelos de calcitización	440

* Calcitización polifásica	443
* Calcitización monofásica	443
2.2. LA GÉNESIS DE ARAGONITO EN LA CUENCA DE CALATAYUD	444
2.3. DOLOMITIZACIÓN	449

Capítulo 8

Rupturas sedimentarias y paleokarstificación: influencia en la sedimentación de las unidades Intermedia y Superior	459
---	------------

1. LAS RUPTURAS SEDIMENTARIAS DEL REGISTRO MIO-PLIOCENO Y SU RELACIÓN CON LOS CARBONATOS DIAGENÉTICOS DE LA CUENCA	459
1.1. RUPTURA SEDIMENTARIA ENTRE LA UNIDAD INFERIOR Y LA UNIDAD INTERMEDIA	460
1.1.1. La superficie paleokárstica del techo de la Unidad Inferior	460
1.1.2. Relación entre las facies evaporíticas de la Unidad Inferior y los carbonatos diagenéticos suprayacentes a la superficie paleokárstica	467
- Zonas marginales	467
- Zonas centrales-meridionales	474
1.1.3. La superficie paleokárstica del techo de la Unidad Inferior en el conjunto de la cuenca	476
1.1.4. Análisis de la transiciones litológicas y relaciones geométricas entre litologías en los sectores NO y SE de la cuenca	481
- Sector Noroccidental de la cuenca (Sierra de Armantes)	481
- Sector Suroccidental de la cuenca (Morata de Jiloca-Mara)	482
1.2. RUPTURA SEDIMENTARIA ENTRE LA UNIDAD INTERMEDIA Y LA UNIDAD SUPERIOR	483
1.2.1. Rasgos paleokársticos en el techo de la Unidad Intermedia en el sector SE del Bloque Sur-Páramo	484
1.2.2. Los materiales relacionados con la ruptura sedimentaria en el sector Noroccidental y Central del Bloque Sur-Páramo	486
2. PALEOKARSTIFICACIÓN: INFLUENCIA DE COLAPSOS Y SUBSIDENCIA SINSEDIMENTARIA EN LA SEDIMENTACIÓN DE LAS UNIDADES INTERMEDIA Y SUPERIOR	492
2.1. SUBSIDENCIA SINSEDIMENTARIA DE MATERIALES NEÓGENOS	492
2.1.1. Evidencias de subsidencia sinsedimentaria en los carbonatos diagenéticos de la Unidad Intermedia	493
2.1.2. Evidencias de subsidencia sinsedimentaria a techo de la U. Intermedia	494
- Discordancias progresivas y diferencias de potencia en la Sub. U.(C _{PG} -INT) ...	494

- El depocentro de la Subunidad (C _{PG} -INT)	495
2.1.3. Evidencias de subsidencia sinsedimentaria en la Unidad Superior	496
- Diferencias de potencia en la Unidad Superior	497
- Morfología y estructura de los colapsos	499
- Presencia de slumps y discordancias progresivas en la U. Superior	499
- Sedimentología de los materiales de la Unidad Superior	500
2.2. COLAPSOS DE GÉNESIS TARDÍA	501
2.2.1. Colapsos relacionados con la disolución de facies yesíferas	501
2.2.2. Colapsos relacionados con procesos de disolución de facies halíticas	504

Capítulo 9

Evolución de la sedimentación y paleogeografía de los depósitos sedimentarios neógenos de la cuenca	513
1. EL INICIO DE LA SEDIMENTACIÓN EN LA CUENCA DE CALATAYUD	513
2. EVOLUCIÓN SEDIMENTARIA Y PALEOGEOGRAFÍA DE LA UNIDAD INFERIOR ...	514
2.1. SEDIMENTACIÓN EN LOS TÉRMINOS BASALES DE LA UNIDAD INFERIOR	514
2.2. SEDIMENTACIÓN EN LOS TÉRMINOS SUPERIORES DE LA UNIDAD INFERIOR ..	515
3. EVOLUCIÓN SEDIMENTARIA Y PALEOGEOGRAFÍA DE LA UNIDAD INTERMEDIA	517
3.1. FASE INICIAL DE KARSTIFICACIÓN DE LAS EVAPORITAS DE UNIDAD INFERIOR	519
3.2. FASE DE DESPLAZAMIENTO DE DEPOCENTROS EN LA CUENCA	521
3.3. FASE DE COLMATACIÓN DEL PALEORRELIEVE EN LA ZONA CENTRAL	523
3.4. SEDIMENTACIÓN DE TECHO DE LA UNIDAD INTERMEDIA	524
4. EVOLUCIÓN DE LA SEDIMENTACIÓN Y PALEOGEOGRAFÍA DE LA UNIDAD SUPERIOR	525
4.1. LOS TÉRMINOS BASALES DE LA UNIDAD SUPERIOR	526
4.2. TÉRMINOS CON SEDIMENTACIÓN FLUVIOLACUSTRE CARBONATADA DE LA UNIDAD SUPERIOR	527
4.3. TÉRMINOS FINALES DE LA UNIDAD SUPERIOR	530
5. INFLUENCIA CLIMÁTICA Y/O TECTÓNICA EN EL REGISTRO SEDIMENTARIO DEL NEÓGENO DE LA CUENCA DE CALATAYUD	533

Capítulo 10

Resumen y conclusiones. Análisis de los sistemas deposicionales carbonáticos y evaporíticos del Neógeno de la Cuenca de Calatayud 539

1. RESUMEN	539
1.1. ESTRATIGRAFÍA DEL NEÓGENO DE LA CUENCA	539
1.1.1. Unidades sedimentarias mayores	539
1.1.2. Rupturas sedimentarias	540
- Ruptura sedimentaria entre la Unidad Inferior y la Unidad Intermedia	540
- Ruptura sedimentaria entre la Unidad Intermedia y la Unidad Superior	541
1.2. ANÁLISIS DE LAS LITOFACIES YESÍFERAS	541
1.2.1. Litofacies yesíferas sindeposicionales	541
1.2.2. Litofacies yesíferas postdeposicionales	542
1.3. ANÁLISIS DE LAS LITOFACIES CARBONÁTICAS DEPOSICIONALES	542
1.3.1. Litofacies dolomíticas	542
1.3.2. Litofacies magnesíticas	542
1.3.3. Litofacies calcíticas	543
1.4. ANÁLISIS DE LAS LITOFACIES CARBONÁTICAS DIAGENÉTICAS	543
1.5. CICLICIDAD SEDIMENTARIA	544
1.6. RELACIÓN ENTRE EL RELLENO SEDIMENTARIO Y LAS DISCONTINUIDADES SEDIMENTARIAS DE LA CUENCA	545
1.7. EVOLUCIÓN SEDIMENTARIA DEL NEÓGENO DE LA CUENCA	546
2. CONCLUSIONES	550

Bibliografía 555

Anexo

CAPÍTULO 1

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

1. OBJETIVOS

En la elaboración de la presente Tesis Doctoral “Análisis de los sistemas deposicionales carbonáticos y evaporíticos neógenos de la Cuenca de Calatayud (Provincia de Zaragoza)”, hemos marcado unos objetivos sencillos, concretos, aunque no por ello de compleja consecución. En el apartado de antecedentes regionales, se podrá comprobar la existencia de un gran número de trabajos relacionados con la Cuenca de Calatayud, orientados hacia los diversos campos de estudio de la geología de esta región (paleontología, sedimentología, geomorfología, etc...). Una de las principales motivaciones para la realización de esta Tesis Doctoral ha sido la ausencia, a pesar de la abundancia de trabajos multidisciplinarios, de tratados generales sobre la geología de esta cuenca que incluyan el estudio de la evolución de la sedimentación a lo largo del Neógeno y que permitan tanto la iniciación, como el conocimiento a toda persona ajena a esta cuenca. Por todo ello, y como primer objetivo se persigue el establecimiento de la litoestratigrafía y cronoestratigrafía de la cuenca con la aportación de nuevos datos y observaciones además de la incorporación de datos de trabajos anteriores.

La idea de realizar una puesta al día de la geología de la Cuenca de Calatayud conlleva en muchos casos nuevas denominaciones, nuevos términos, descripciones y observaciones novedosas que se intentan expresar o reflejar de la forma más sencilla posible con el objetivo de no dificultar la comprensión de este trabajo. La consecución de este objetivo requiere no caer en una excesiva especialización, o en el análisis desproporcionado de diversos rasgos atractivos de la cuenca olvidando o tratando de forma somera otros factores que puedan contribuir de forma sobresaliente al resultado final. La estructura y distribución de los diferentes apartados de esta Tesis Doctoral pretende facilitar al máximo su lectura, permitiendo que la persona que desee introducirse o profundizar en el conocimiento general de la cuenca pueda hacerlo asimilando este trabajo en su conjunto. De la misma forma, con la división de este estudio en capítulos temáticos se busca facilitar la labor a aquellas personas interesadas solamente en aspectos parciales.

Un segundo objetivo importante es el análisis de la evolución de los sistemas deposicionales durante el Mioceno y Plioceno. Este objetivo, de gran amplitud,

comprende un análisis sedimentológico y de facies, realización de mapas de reconstrucción paleogeográfica e interpretaciones de medios sedimentarios y su evolución paleoclimática. En este análisis, no olvidaremos la importancia de los procesos diagenéticos, que junto con la propia evolución tectónica y geomorfológica de la cuenca han transformado las estructuras, texturas y disposición de una gran parte de las facies deposicionales. Los diferentes campos de estudio en geología deben estar sujetos a una constante actualización, sin dar nunca por finalizada una tarea o permanecer en el más absoluto de los inmovilismos; por ello, todas las problemáticas que serán planteadas en la presente tesis no sólo deben ser un incentivo para establecer un motivo de duda en otras cuencas ibéricas similares, sino también constituirse en materia de debate o incluso de crítica para la realización de estudios posteriores.

2. METODOLOGÍA

2.1. PLANIFICACION DEL TRABAJO

En una primera fase, llevada a cabo fundamentalmente en el transcurso del primer semestre del año 1994 (fecha de comienzo de la Tesis Doctoral), se procedió a una revisión bibliográfica de toda información relacionada con la Cuenca de Calatayud y su contexto regional, así como de las topografías existentes (1:50.000 fundamentalmente y 1:25.000 parcial) y cartografías geológicas (1:50.000 y 1:200.000). Con la adquisición de los fotogramas aéreos (1:18.000 y 1:33.000) necesarios para cubrir el estudio de la cuenca, se planificaron los trabajos de campo y inició el proceso de cartografía litológica de los materiales neógenos.

Los trabajos de campo comenzaron en Julio de 1994 prolongándose básicamente hasta Septiembre-Octubre de 1996, si bien las primeras prospecciones paleontológicas en el marco del proyecto PB92-0024 se iniciaron con anterioridad, en Marzo de 1994. La adquisición de datos en campañas de campo se ha alternado con trabajo de gabinete en las instalaciones del Departamento de Geología del Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid (C.S.I.C.), en el cual se ha procesado toda la información obtenida. Como complemento a los datos obtenidos en las campañas de campo, se han recopilado datos procedentes de sondeos de investigación de distintas empresas que en distintos momentos iniciaron labores de prospección en la Cuenca de Calatayud; se utilizaron sondeos de la Junta de Energía Nuclear (J.E.N.), de MYTA, TOLSA, así como información adicional generosamente cedida por estas dos últimas empresas para la elaboración de esta Tesis Doctoral.

Las estancias realizadas en el Departamento de Geología del Museo Nacional de Historia Natural de París en 1996, y en el Departamento de Geología de la Facultad de Ciencias de la Tierra de Utrecht en 1997 han contribuido a la formación del autor en diferentes temáticas que han quedado patentes en los diferentes capítulos de Tesis. Así, la

primera estancia fue realizada para el aprendizaje en procesos de reemplazamiento diagenético de sulfatos por carbonatos, que ha contado con una evidente aplicación en el estudio de la cuenca; la segunda de las estancias supuso una toma de contacto con la metodología y nuevas tendencias de los estudios cicloestratigráficos.

Finalmente, durante el año 1998, se inició la redacción de la presente Tesis Doctoral, procediéndose a ordenar y reflejar todos los datos procesados e información anteriormente acumulada, finalizándose una cartografía litológica de la cuenca a escala 1:50.000, y diversas zonas de detalle a menor escala.

2. 2. TRATAMIENTO DE LOS MATERIALES ESTUDIADOS

Aunque la litoestratigrafía de la cuenca se caracteriza por la existencia de una Unidad Inferior evaporítica, Intermedia evaporítico-carbonatada, y Superior terrígeno-carbonática, puede realizarse una diferenciación muy básica en función de las distintas litologías presentes:

a) Litologías terrígenas

Las litologías terrígenas (arcillas, limos, areniscas, conglomerados, y brechas) predominan en los márgenes de cuenca para las unidades Inferior e Intermedia, exceptuando facies fluviales-aluviales clásticas de Unidad Superior que únicamente afloran en el centro de la cuenca. En la presente Tesis Doctoral, se hace especial énfasis en la descripción de las litofacies carbonáticas y evaporíticas, estudiándose sus relaciones con las facies terrígenas de grano fino (arcillas, limos, y areniscas). Sin embargo, la ausencia por erosión de un adecuado registro sedimentario de las facies terrígenas más groseras en los márgenes de cuenca, ha desaconsejado la inclusión de su estudio como parte de los objetivos a cubrir.

b) Litologías evaporíticas

Sin duda alguna, la litología dominante entre las evaporitas aflorantes de la Unidad Inferior e Intermedia es el yeso, ya que otras fases salinas deposicionales han sido transformadas en superficie a yeso secundario, encontrándose inalteradas solamente en sondeos de investigación. Además del yeso, en superficie existen pequeñas proporciones de celestina y anhidrita y, en forma de eflorescencias salinas, epsomita-hexahidrita y thenardita-mirabilita fundamentalmente. El estudio de las fases salinas deposicionales se realizará a partir de la información proporcionada por sondeos de investigación, así como por medio del estudio de campo y petrográfico de relictos y pseudomorfo en las secuencias evaporíticas aflorantes.

c) Litologías carbonáticas

Constituyen el grueso de los materiales estudiados en esta Tesis Doctoral. En principio, es necesario realizar una distinción básica entre litologías primarias-sindepocionales tempranas y litologías diagenéticas. De este modo, dentro de las litologías primarias se puede reconocer calcita, aragonito, magnesita, y dolomita en la Unidad Inferior e Intermedia, y únicamente calcita en la Unidad Superior. Sin embargo, la presencia de calcita diagenética constituye un rasgo muy importante en los depósitos evaporítico-carbonáticos de la Unidad Intermedia, lo que será objeto de un detallado estudio en el presente trabajo.

2. 3. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO DE LA ARQUITECTURA DEPOSICIONAL DEL NEÓGENO DE LA CUENCA DE CALATAYUD.

Como primer paso en el estudio de la arquitectura deposicional se ha levantado un número suficiente de secciones estratigráficas representativas de todos los grupos mayores de litofacies en el Neógeno de la Cuenca de Calatayud, realizándose un muestreo sistemático en cada sección y muestreos selectivos enfocados a la resolución de problemáticas concretas. Además, se ha procedido a la realización de esquemas de afloramiento con utilización de fotografías de campo para el estudio de rasgos particulares relevantes en la cuenca. Como importante dato de apoyo, se ha utilizado la información procedente de sondeos de investigación minera, así como toda la información complementaria de estas labores de prospección.

Con toda esta información se han realizado correlaciones estratigráficas con objeto de reconstruir la geometría de los depósitos y llegar a una correcta definición de unidades con una cronoestratigrafía fiable. Finalmente, se ha realizado una cartografía geológica escala 1:50.000 de la cuenca mediante el estudio de fotografía aérea a escala 1:18.000 y 1:33.000.

2. 4. MÉTODOS DE ESTUDIO DE MUESTRAS

Técnicas petrográficas

Como herramientas básicas del estudio petrográfico se han utilizado técnicas de microscopía óptica de baja resolución (microscopio petrográfico convencional de luz transmitida) y de microscopía óptica de alta resolución (M.E.B).

El estudio de más de 400 muestras mediante microscopio petrográfico convencional, así como la observación de secciones pulidas, ha constituido el método más efectivo de análisis sistemático de muestras. Debido a su baja consistencia, una gran parte de las muestras (principalmente evaporitas y carbonatos diagenéticos) debieron ser

embutidas artificialmente con resina plástica AC-100 para la correcta realización de láminas delgadas. Las muestras fueron sistemáticamente teñidas (tinción selectiva con alizarina roja y ferrocianuro potásico) según el método Lindholm y Finkelman (1972) con el objeto de caracterizar dolomitas y diferentes tipos de calcitas en función del % en Fe.

En el Microscopio Electrónico de Barrido se han estudiado un total de 20 muestras (básicamente carbonatos magnésicos y calcitas diagenéticas) en grano y sección pulida. El aparato utilizado es un PHILIPS XL-20 del Laboratorio de Microscopía Electrónica del M.N.C.N. (C.S.I.C.). Las muestras se metalizaron previamente mediante *Sputter Bio-Rud SC515* (20 η m de espesor de oro), para ser posteriormente montadas en *stubs* de aluminio con pintura de plata, cinta de cobre o resina de grafito.

Técnicas de análisis mineralógico y geoquímico

Durante los años 1995 y 1996, se realizaron determinaciones mineralógicas (Difracción de Rayos X), análisis geoquímicos (Fluorescencia de Rayos X y absorción atómica) e isotópicos de muestras geológicas previamente seleccionadas.

La Difracción de Rayos X ha sido utilizada como método principal de análisis de la composición mineralógica de muestras pulverizadas. Los análisis han sido realizados en un Difractómetro de Rayos X PHILIPS PW-1710 en el Laboratorio de Difracción de Rayos X del Departamento de Geología del Museo Nacional de Ciencias Naturales (C.S.I.C.). Las muestras, en polvo total, han sido rodadas desde 3° a 65°; en muestras carbonatadas se ha aplicado el método de Goldsmith y Graf (1958) para el cálculo del % mol de $MgCO_3$ usando como standard interno el cuarzo y midiendo la posición del pico $d(104)$ de las fases carbonáticas. En muestras lutíticas se han realizado difractogramas de polvo total (3° a 65°), y un tratamiento especial con la fracción $<64 \mu m$, consistente en la realización de Agregados Orientados (A.O), tratamiento con Etilenglycol y calentamiento a 550°, con un rodaje particular entre 2° y 18°.

Los análisis de geoquímica elemental y trazas han sido realizados mediante espectrometría de Fluorescencia de Rayos X en un equipo PHILIPS 1410/20 automatizado sobre pastillas prensadas de las muestras previamente pulverizadas.

En muestras estudiadas bajo M.E.B. se han realizado análisis químicos semicuantitativos mediante un detector EDAX super UTW. El microanalizador es el modelo PHILIPS Dx4i.

Geoquímica Isotópica: se han realizado fundamentalmente análisis de las relaciones isotópicas de carbono y oxígeno en carbonatos (52 muestras), así como de oxígeno y azufre en sulfatos (15 muestras). Los análisis han sido llevadas a cabo en diversos laboratorios, como los que se indican a continuación:

- Laboratoire d'océanographie dynamique et de climatologie. C.N.R.S, O.R.S.T.O.M. Université Pierre et Marie Curie à Paris.
- Laboratorio de Geoquímica Isotópica de la Estación Experimental del Zaidín (C.S.I.C) en Granada.
- Servicio General de Análisis de Isótopos Estables de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Salamanca.
- Laboratorio de GEOTOP (Quebec, Canadá).

Las composiciones isotópicas del oxígeno y carbono de calcita, dolomita y magnesita se determinaron usando procedimientos standard (McCrea, 1950; Craig, 1957; Kralik *et al.*, 1989; Byrdie *et al.*, 1993). El factor de fraccionamiento isotópico del oxígeno para el CO₂ liberado por el tratamiento de minerales carbonáticos con ácido fosfórico a 25° C es 10.20 para la calcita, 11.03 para la dolomita (según Friedman y O'Neil, 1977), y 12.22 para la magnesita (según Perry y Tan, 1972). Las muestras carbonatadas con composición mineralógica mixta fueron pre-tratadas mediante ataque ácido con el objetivo de eliminar la fracción calcítica, y poder determinar la composición isotópica de la fase carbonática restante. Los valores isotópicos del oxígeno y carbono fueron referidos al standard PDB en notación delta.

Cálculos hidrogeoquímicos

La realización de los cálculos geoquímicos que se han utilizado en algunos apartados de este trabajo para modelizar la composición química de las salmueras a partir de las cuales se produce la precipitación de los sedimentos evaporíticos. Dichos cálculos se han realizado mediante el código informático PHRQPITZ (versión 0.2, 1990; Plummer *et al.*, 1988). Este programa, basado en la adaptación de las ecuaciones de Pitzer por Harvie *et al.* (1984) está específicamente diseñado para la realización de cálculos de reacciones geoquímicas en soluciones de altas concentraciones que incluyen en su composición Na-K-Mg-Ca-Cl-SO₄-OH-HCO₃-CO₃-CO₂-H₂O. Tanto el modelo termodinámico como el programa han sido suficientemente contrastados en recientes trabajos de investigación sobre medios evaporíticos antiguos y actuales (Wood y Sanford, 1990; Sanford y Wood, 1991; Bischof *et al.*, 1994; Sánchez- Moral *et al.*, 1998).

La ejecución de los cálculos se ha realizado en función de los datos obtenidos mediante las observaciones de campo, evidencias petrográficas y datos mineralógicos y geoquímicos, según las siguientes condiciones:

- Para la determinación de la posible composición química de las soluciones a partir de las cuales se produciría la precipitación de las fases minerales incluidas en cada secuencia problema, se ha buscado el equilibrio entre un disolvente (agua pura) y los minerales involucrados en cada caso. Asimismo, los cálculos se han repetido con diferentes grados de subsaturación y las veces necesarias para determinar la evolución de las principales relaciones iónicas.
- Todas las reacciones se han calculado a 25°C, 1 atm de presión, y 10^{-3.5} atm de Pco₂.

Estudio de muestras paleontológicas

La prospección paleontológica ha sido realizada en dos fases durante el período comprendido entre 1994-1997:

- a) Localización de niveles de los yacimientos clásicos que son considerados de importancia en la bioestratigrafía de la cuenca, para lo cual ha sido necesario una exhaustiva revisión y recopilación de toda la información existente en anteriores trabajos.

- b) Prospección de niveles (preferentemente margas negras, verdes y grises) para la localización de nuevos yacimientos paleontológicos en áreas que pudieran contribuir a complementar y precisar la información bioestratigráfica y cronoestratigráfica de la cuenca.

De cada nivel se obtuvo una cantidad mínima de 25 Kg de sedimento (suficiente como para deducir su riqueza fosilífera) que se sometió en laboratorio a un proceso de lavado y tamizado. Una vez realizado el triado de la muestra con la oportuna selección de los restos fósiles para su posterior identificación, se procedió a obtener mayor cantidad de muestra de los puntos más sobresalientes. En esta última etapa se lavaron cantidades entre 180-900 Kg.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES REGIONALES Y MARCO GEOLÓGICO-ESTRUCTURAL DE LA CUENCA DE CALATAYUD.

1. CONTEXTO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO

Ubicada en el NE de la Península Ibérica, entre las cuencas de Almazán y del Ebro, la cuenca terciaria de Calatayud representa el sector septentrional de la fosa tectónica de dirección NO-SE, que se extiende desde el NO de la localidad de Calatayud (Zaragoza) hasta las proximidades de Montalbán (Teruel), con una longitud superior a los 120 km y una anchura variable entre 10 y 26 km. La Cuenca de Calatayud se encuentra flanqueada por relieves paleozoicos y mesozoicos que constituyen la Rama Castellana (occidental) y Aragonesa (oriental) de la Cordillera Ibérica.

Los límites del área de estudio de la presente Tesis Doctoral comprenden el sector existente entre Villarroya de la Sierra al NO de Calatayud, y el eje formado entre las

bellas localidades de Villafeliche y Miedes hacia el SE de la cuenca, quedando definido por coordenadas $41^{\circ} 11' - 41^{\circ} 28' N$, y $1^{\circ} 26' - 1^{\circ} 50' W$ (Fig 2.1), área en la que se encuentran representados la práctica totalidad de los depósitos neógenos de la propia Cuenca de Calatayud. En este sentido, y para evitar confusiones, en este trabajo denominaremos al sector de estudio como Cuenca de Calatayud s.s.

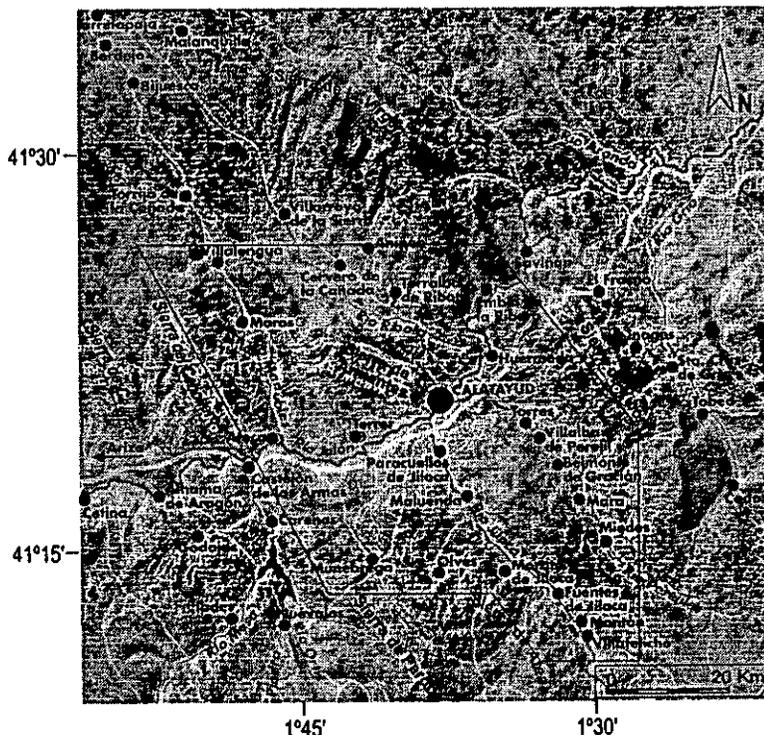


Figura 2.1. Delimitación geográfica del sector de estudio

Las sierras laterales que bordean la Cuenca de Calatayud son las sierras de la Virgen, de Vicort y Modorra en el sector oriental, y las de Pardos y Atea en el occidental, cuyos relieves máximos oscilan entre los 1000-1300 m de altitud; la topografía interna de la cuenca, correspondiente a los materiales terciarios de relleno, se caracteriza por un importante rasgo morfológico como es la existencia de un relieve interno arrasado por una superficie de erosión poligénica; su expresión morfológica es un páramo central que se extiende según la directriz longitudinal de la cuenca desde el límite Sur del área de estudio hasta pocos km al NO de Calatayud (Sierra de Armantes), alcanzando altitudes máximas que rondan los 960 m.

La red hidrográfica actual, con un claro control estructural, se encuentra jerarquizada con la existencia de un cauce principal (Río Jalón) al cual confluyen el resto de cauces secundarios; desde la vecina Cuenca de Almazán, el Río Jalón recorre transversalmente la cuenca en dirección O-E para llegar hasta la Cuenca del Ebro, río en el cual vierte sus aguas. La red secundaria de afluentes se encuentra formada al Sur por los ríos Jiloca y Perejiles, de curso paralelo, que fluyen en la dirección longitudinal de la cuenca hacia el Río Jalón. Los valles de estos ríos presentan una notable asimetría, con pendientes más acusadas hacia la parte del páramo y una pendiente suave y tendida hacia las zonas de borde de cuenca; al Norte del Río Jalón, los ríos Manubles y Ribota fluyen también según una dirección próxima a la propia del eje longitudinal de la cuenca, con un curso algo más irregular bordeando la Sierra de Armantes, y finalmente desembocan en el Río Jalón dentro de materiales paleozoicos.

Administrativamente, todo el área de estudio pertenece a la provincia de Zaragoza quedando incluida en las siguientes hojas 1: 50.000 del Mapa Topográfico Nacional: Calatayud (409), La Almunia de Doña Godina (410), Ateca (437), y Paniza (438).

2. MARCO ESTRUCTURAL

La Cuenca de Calatayud se incluye dentro del sistema de fosas y subfosas tectónicas de carácter intramontañoso enclavadas en la Cordillera Ibérica. Esta cuenca constituye el sector septentrional de una fosa tectónica mayor (Calatayud-Montalbán) elongada paralelamente a la dirección NO-SE de la Cordillera Ibérica encontrándose ubicada entre las Ramas Castellana (Occidental) y Aragonesa (Oriental) de la misma. El umbral paleozoico de Daroca separa la Subfosa de Calatayud de la de Montalbán, presentando edades y rellenos diferentes. La apertura y desarrollo de la Cuenca de Calatayud, así como de las restantes fosas de la Cordillera Ibérica, son el producto de la evolución de esta compleja cadena intraplaca durante el Terciario.

2. 1. LA CORDILLERA IBÉRICA

La estructura actual de la placa Ibérica, y por lo tanto de la Cordillera Ibérica, es básicamente el resultado de la convergencia entre las placas ibérica, africana y euroasiática, que se inicia durante el Cretácico Superior (Dewey *et al.*, 1973, 1989; Dercourt *et al.*, 1986), y que consta de una primera etapa de edad Cretácico Superior-Oligoceno Medio, con convergencia entre Eurasia e Iberia, y una segunda etapa Oligoceno Superior-Cuaternario en que la convergencia se traslada a las placas ibérica y africana (Srivastava *et al.*, 1990; Roest y Srivastava, 1991)

La Cordillera Ibérica es una compleja cadena intraplaca de orientación NO-SE constituida fundamentalmente por un basamento hercínico y una gruesa cobertera mesozoica, cuya estructura queda fuertemente influenciada por el zócalo paleozoico junto con su tegumento de Triásico Inferior, por un lado, y por la cobertera post-triásica por otro, separados ambos por un nivel de despegue que puede situarse según los casos, bien en el Keuper (Richter y Teichmüller, 1933; Viallard, 1983; Guimerá, 1988), o en el Muschelkalk Medio (Guimerá, 1988). La actual estructura de la Cadena Ibérica es el producto de una inversión tectónica de un rift mesozoico intracontinental que albergaba cuencas mesozoicas de carácter extensional (Alvaro *et al.*, 1979), a causa de la compresión producida por la convergencia entre Iberia y Eurasia durante el Paleógeno o, según Salas y Casas (1993), por la colisión de la placa ibérica con el llamado bloque del Ebro (Parés *et al.*, 1988). La sedimentación y la paleogeografía de las cuencas mesozoicas fue controlada por la existencia de una marcada red de fracturas de dirección a escala plurikilométrica en el basamento (Alvaro *et al.*, 1979; Guimerá, 1988) previas al evento de compresión alpina. La situación intraplaca de la Cordillera Ibérica provoca que, aunque el desarrollo de la misma se produce durante el ciclo alpino, presente a la vez una serie de rasgos que no permiten incluirla entre las cadenas alpinas más típicas (Julivert *et al.*, 1974), es decir una peculiar evolución sedimentaria, una moderada deformación, escasa presencia de esquistosidad alpina y, por último, una ausencia casi total de metamorfismo (Simón, 1990).

La estructura compleja de la cadena queda determinada por las diferentes orientaciones de las fallas de basamento en relación con la compresión paleógena que provoca un movimiento direccional transpresivo en las mismas, y una disposición compleja de pliegues y cabalgamientos en la cobertera mesozoica originada cuando las orientaciones de las fallas de basamento eran oblicuas a un acortamiento regional N-S aproximadamente (Anadón y Moissenet, 1996). Así, la cobertera mesozoica se encuentra afectada por pliegues y cabalgamientos con dirección preferente NO-SE, si bien existen áreas con orientaciones NE-SO y existencia de complicadas estructuras de superposición donde coexisten distintas direcciones de plegamiento (Simón, 1980). Las estructuras de cobertera disponen una doble vergencia, dirigida hacia al NE en la parte Norte de la cadena, y hacia el SO en la parte Sur (Riba y Ríos, 1962). Finalmente, cuando la orientación de las fallas de basamento fue perpendicular al acortamiento regional, se originaron cabalgamientos complejos en la cobertera.

2. 2. EVOLUCIÓN ALPINA DE LA CORDILLERA IBÉRICA

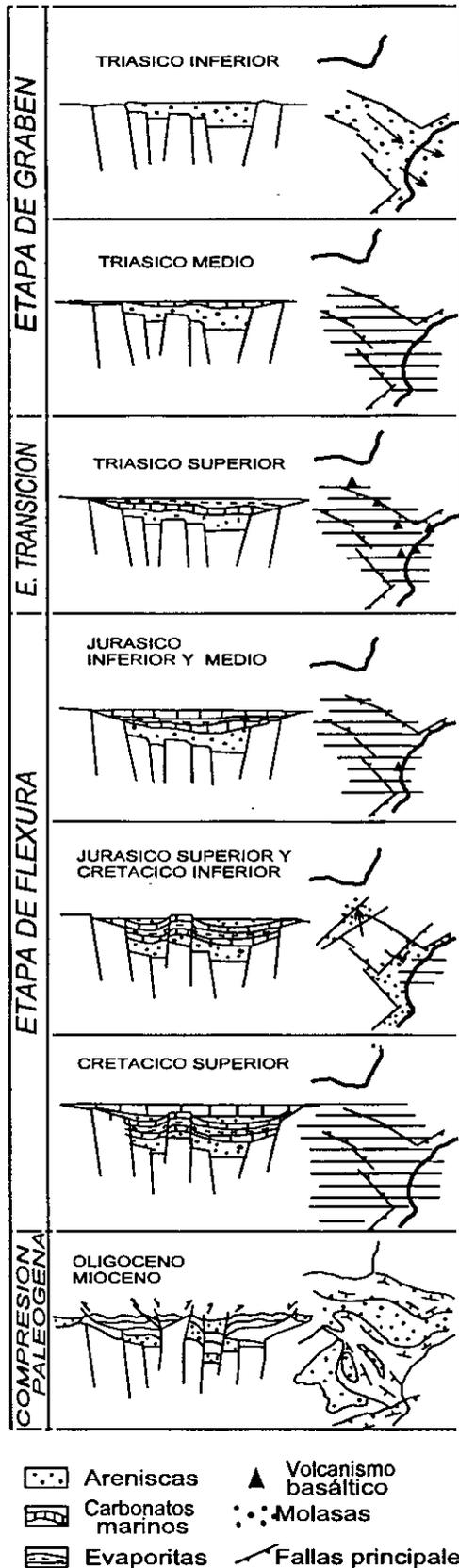


Figura 2. 2. Esquema de evolución alpina de la Cordillera Ibérica (modificado de Salas y Casas, 1993).

Simón (1990) ha distinguido tres grandes períodos dentro de un esquema de evolución alpina de la Cordillera Ibérica; sedimentación mesozoica, compresión paleógena, y distensión neógeno-cuaternaria (Fig. 2.2):

a) Sedimentación mesozoica: con la individualización de una estructura de *graben*, comienza la deposición de niveles rojos permo-triásicos y materiales mesozoicos sobre una importante superficie de erosión desarrollada sobre materiales paleozoicos previamente plegados (Salas y Casas, 1993) que forman actualmente parte de la estructura de la Cordillera Ibérica. Este *graben* representa uno de los aulacógenos que componen una unión triple de tipo rrr en el área de Castellón-Teruel-Valencia, que es indicativa de la existencia de un punto caliente en el manto superior. Desde ese momento, la evolución de la Cordillera Ibérica ha comprendido tres etapas: una etapa de graben (Triásico Inferior-Medio), con una reactivación vertical de las fracturas tardihercínicas, individualización de la cuenca y con fuertes subsidencias diferenciales que se relacionan con la apertura y retirada del Tethys hacia el Oeste; una etapa de transición (Triásico Superior), con adelgazamiento cortical y abundantes eventos magmáticos en el área de la unión triple; y, finalmente, una etapa de flexura (Jurásico-Cretácico), caracterizada por una suave flexión continental interrumpida por algunos subepisodios tectónicos con establecimiento de plataformas marinas carbonatadas.

b) Compresión paleógena: la colisión entre las placas Ibérica y Africana, o de la primera con el bloque del Ebro (Parés *et al.*, 1988), se traduce en un engrosamiento cortical. En el tránsito Mesozoico-Cenozoico se produce la emersión del dominio ibérico y la inversión tectónica anteriormente referida. En el transcurso del Paleógeno (Oligoceno-Mioceno Inferior), y con especial intensidad en el Oligoceno Superior, la Cordillera Ibérica sufre el desarrollo de macroestructuras compresivas en forma de pliegues y cabalgamientos tanto en el basamento como en la cobertera mesozoica (Guimerá, 1984; Guimerá y Alvaro 1990). Esta actividad compresiva ha continuado localmente hasta el Mioceno Medio en la zona de Daroca o en el borde Norte de la Sierra de Cameros.

c) Distensión neógeno-cuaternaria: según Simón (1990), es el período más importante en la estructuración de cuencas y subcuencas de la Cordillera Ibérica, incluyendo la Cuenca de Calatayud. Durante el Mioceno Inferior-Medio se produce un cambio progresivo desde un régimen de carácter compresivo a distensivo, que se encuentra relacionado con el proceso de *rifting* desarrollado de Norte a Sur entre el Rhin y el Mar de Alborán a lo largo del Eoceno-Mioceno Superior (Vegas *et al.*, 1979), y que provoca la formación de un importante sistema de fosas tectónicas superpuestas a las estructuras compresivas de la cadena (Calatayud-Montalbán, Jiloca, Alfambra-Teruel-Mira, etc...). Dentro de este episodio de extensión generalizada, tradicionalmente se han distinguido dos etapas fundamentales distensivas separadas por un período de relativa estabilidad tectónica en el cual se genera la denominada como Superficie de Erosión Fundamental de la Cordillera Ibérica por Solé Sabaris (1978).

1) En una primera etapa distensiva se determina la configuración inicial del sistema de fosas, a la vez que se forma la mayor parte de las mismas. Se genera la Cuenca de Calatayud-Montalbán a favor de la citada dirección NO-SE, característica de la Cordillera Ibérica, mientras que la Fosa de Teruel lo hace con una orientación oblicua a la cadena (NNE-SSO). Estas depresiones tectónicas presentan un marcado carácter de semifosa con una asimetría sedimentaria que implica un desplazamiento de facies hacia su margen oriental, el cual se limita por fallas normales.

2) En una segunda etapa distensiva, que comienza alrededor del Plioceno Superior (Simón, 1984), se originan nuevas depresiones, como la del Jiloca, Gallocanta y Daroca (Gracia, 1990, 1992, 1993) y probablemente Munébrega (Gutiérrez-Santolalla, 1994a), rellenas sólomente de sedimentos plio-cuaternarios, a la vez que se reactivan las fosas ya existentes. Finalmente, la Cordillera Ibérica adquiere su morfoestructura actual con la deformación de la Superficie de Erosión Fundamental mediante eventos tectónicos de colapso (Simón, 1984; Gracia *et al.*, 1988). El período de mayor actividad tectónica es el Plioceno Superior, si bien la tectónica distensiva se prolonga en algunas áreas hasta el Cuaternario como en el borde oriental de la fosa del Jiloca y su enlace con la de Alfambra-Teruel (Moissenet, 1983; Simón, 1984), o manifestándose como deformaciones locales a lo largo de las fallas principales durante el Pleistoceno Inferior-Medio (Simón, 1989).

2. 3. LA CUENCA DE CALATAYUD S.S.

Tradicionalmente, han sido utilizados una gran cantidad de términos geográficos para la denominación de las diferentes fosas y subfosas existentes en la Cordillera Ibérica. En lo referente al área de estudio de esta Tesis Doctoral, se han mencionado diferentes términos en un buen número de trabajos que hacen referencia tanto a todo el sistema de fosas tectónicas existentes entre Calatayud y Teruel (Cuenca de Calatayud-Teruel), o bien limitando su extensión al nivel de subfosa (Cuenca de Calatayud, Calatayud-Daroca, Calatayud-Montalbán). El uso en trabajos científicos de términos geográficos tan amplios ha podido llevar en ocasiones a conflictos o confusiones en cuanto al contexto estructural y localización. Por ello, en este trabajo diferenciaremos en primer lugar dos fosas tectónicas mayores (Fosa de Calatayud-Montalbán y de Alfambra-Teruel) que, si bien en la actualidad se encuentran conectadas, presentan direcciones estructurales claramente diferentes; así, en el presente trabajo nos referiremos a la Cuenca de Calatayud como el sector más septentrional de la Cuenca de Calatayud-Montalbán en el cual se ubica el área de estudio que cubre gran parte de los diferentes grupos de facies sedimentarias que componen el relleno Mio-Plioceno (Fig 2.3). La Cuenca de Calatayud-Montalbán presenta una zonación con diferenciación fundamental de tres áreas: el sector septentrional representa el área de estudio (Cuenca de Calatayud s.s.), que queda separado del sector central de la fosa (área de Daroca) por el denominado Umbral de Daroca, que, a su vez compartimenta el sector de Navarrete-Bañon hacia el extremo SE.

Por otra parte, en este trabajo se va a hacer referencia a una serie de fosas tectónicas de relleno pliocuaternario que

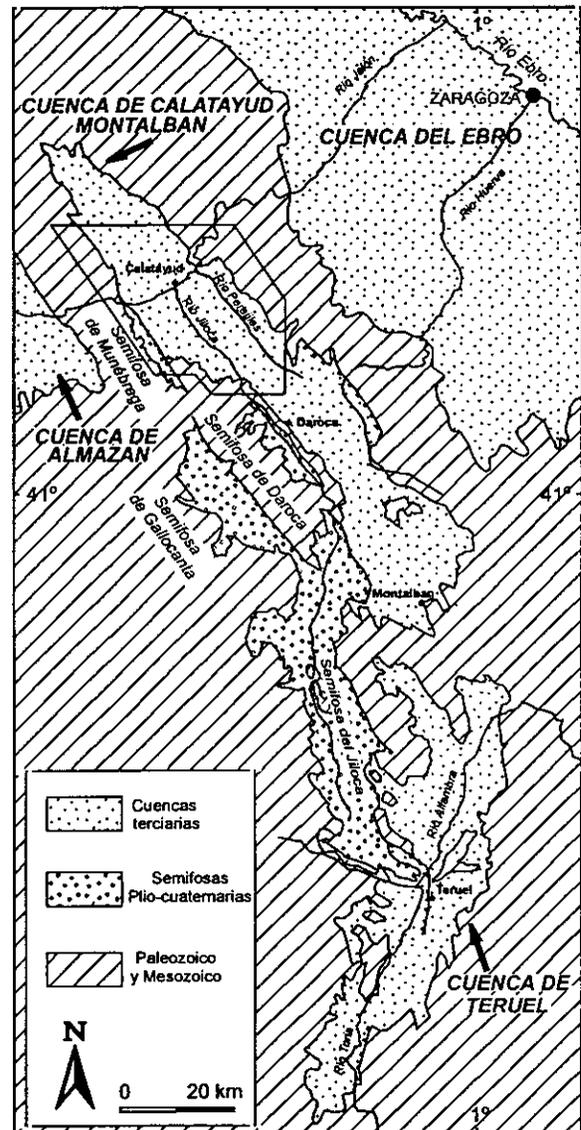


Figura 2. 3. Contexto regional y localización del sector de estudio (Cuenca de Calatayud s.s.) en la parte septentrional de la Fosa Calatayud-Montalbán (modificado de Gutiérrez-Santolalla et al., 1996).

se encuentran ubicadas en el contexto regional de la Cuenca de Calatayud y cuya génesis consideramos relevante en una evolución tectónica regional:

a) La Semifosa de Munébrega es una pequeña depresión encajada en facies neógenas detríticas de borde en el sector occidental de la Cuenca de Calatayud cuyo origen tiene lugar con posterioridad a la captura de la cuenca por el Río Jalón (Gutiérrez-Santolalla, 1994a).

b) La Semifosa del Jiloca es una estructura alargada según la dirección NNE-SSO que se prolonga desde el área de Used-Gallocanta hasta Teruel. Es el resultado de una estructura asimétrica conformada por la existencia de grandes fallas en relevo de dirección NO-SE y NNO-SSE presentes en su borde oriental y flexiones y fallas menores en el occidental (Alvaro *et al.*, 1979).

c) La Semifosa de Daroca corresponde a una depresión encajada en el sector centro-occidental de la cuenca terciaria de Calatayud-Montalbán desconectada de la serie miocena, extendiéndose desde Murero hasta Luco de Jiloca (Gracia, 1992). Se trata de una semifosa cuyo borde sur-occidental viene condicionado por un sistema de fallas asociado a la falla del Jiloca.

2. 4. MODELOS TECTÓNICO-GENÉTICOS DE LA CUENCA DE CALATAYUD.

La estructura del basamento y la existencia o no de cobertera mesozoica bajo el relleno terciario de la Cuenca de Calatayud permanecen como grandes interrogantes que han sido poco tratados, ya que se registra una ausencia de perfiles sísmicos y sondeos profundos que hayan registrado su existencia.

Fontboté (1954) indica que, con anterioridad a su formación, el zócalo de la cuenca debió encontrarse sobreelevado explicándose de esta forma el que los sedimentos miocenos descansan directamente sobre el basamento en los márgenes de cuenca. En el mismo sentido, Julivert (1954) indica que la cuenca ocupa el área correspondiente a una antigua zona topográficamente elevada que estuvo sujeta a una intensa erosión durante el Paleógeno e incluso principios del Mioceno, mientras que Capote y González-Lodeiro (1983) han propuesto para la zona de Ateca-Daroca una estructura hercínica integrada por un gran anticlinal de fondo de dirección NO-SE con vergencia hacia el E, cuyo núcleo y flanco oriental permanecería oculto bajo el Terciario de la Cuenca de Calatayud. Por su parte, Tena *et al.* (1979) plantean una nueva hipótesis donde la tectónica de elevación de escamas diferenciadas por fallas inversas adopta una estructura de bloques fallados con una única vergencia (Fig. 2.4); en este esquema, la morfología de hundimiento y fosa tectónica no se obtiene a partir de un bloque inicialmente levantado, sino que existe una zona del basamento que adopta una morfología de fosa o depresión desde el primer momento debido a una elevación diferencial de los bordes. Así, en este modelo, el umbral de Daroca corresponde a la

unión de dos bloques diferenciados correspondientes a la Cuenca de Calatayud y al de Montalbán-Teruel; los movimientos diferenciales se traducen en una emersión del segundo en falla inversa o cabalgamiento sobre el primero. Recientemente, Maestro *et al.* (1997) han analizado la estructura general del sector noroccidental de la Rama Aragonesa entre las cuencas de Calatayud y Almazán; la estructura consistente en un antiforme de núcleo paleozoico puede explicarse como resultado de la reactivación de un flanco de pliegue hercínico

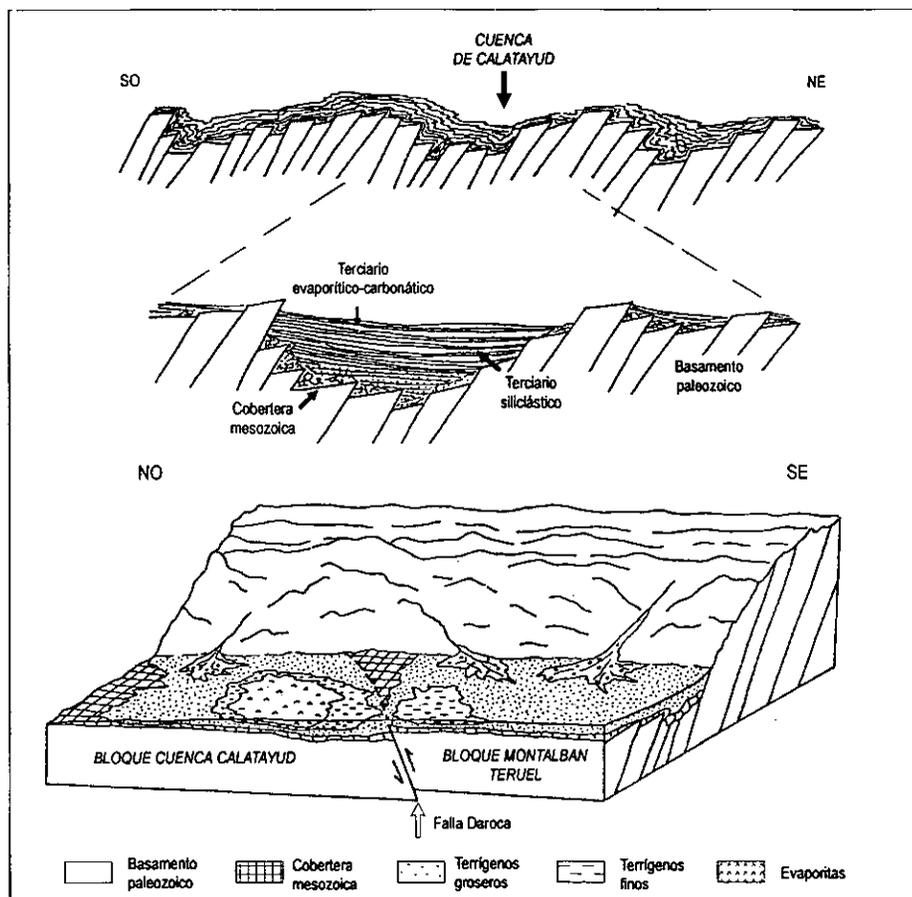


Figura 2. 4. Modelo genético de la cuenca de Calatayud basado en una tectónica de elevación de escamas diferenciadas por fallas inversas (modificado de Tena *et al.*, 1979).

3. RASGOS GEOLÓGICOS DE LOS MÁRGENES DE LA CUENCA DE CALATAYUD.

Los márgenes de la Cuenca de Calatayud se encuentran básicamente formados por materiales precámbricos-paleozoicos y mesozoicos tanto de la Rama Castellana como de la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica. (Fig. 2.5). Como ya se comentó

anteriormente, cabe distinguir dos grandes conjuntos geológicos en los relieves ibéricos: el zócalo hercínico, compuesto por materiales precámbricos-carboníferos sobre los que se depositan discordantemente los materiales pérmicos que actúan como tegumento del basamento, y la cobertera mesozoica con materiales triásico-cretácicos.

3. 1. PALEOZOICO

Los sectores limítrofes con el relleno terciario de la Cuenca de Calatayud se encuentran formados por materiales paleozoicos del Cámbrico Inferior-Silúrico (Lotze, 1929). Solamente en el NE de la cuenca, cerca de la localidad de Saviñán y cerca de Codos al E, se describen afloramientos atribuibles al Precámbrico (IGME, 1981) consistentes en esquistos grises-verdosos compuestos principalmente por cuarzo, clorita, plagioclasa y topacio. Los materiales cámbrico-ordovícicos expuestos en series de gran potencia, se encuentran fundamentalmente compuestos por cuarcitas, pizarras, areniscas, limolitas, dolomías y microconglomerados. Las areniscas y limos presentan como componente principal el cuarzo y, de forma secundaria, moscovita, feldespato potásico y plagioclasas con importantes procesos de sericitización (matriz sericitica-cloritica), óxidos de hierro, y circón, turmalina, y rutilo como accesorios. La presencia de afloramientos silúricos compuestos por cuarcitas, pizarras y margas se limita solamente a un sector relativamente distante del

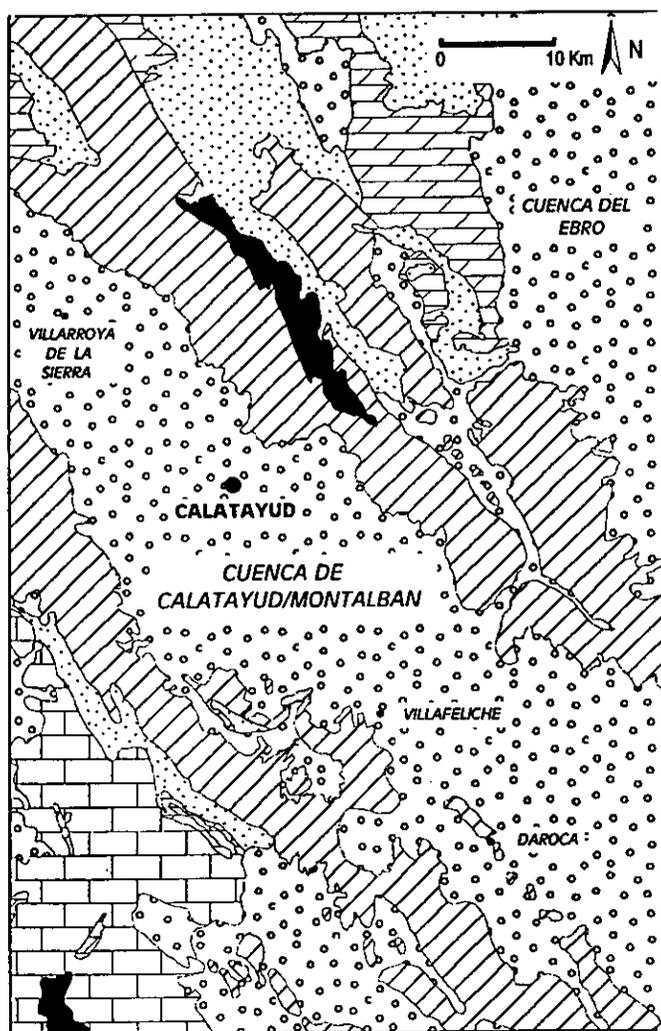


Figura 2. 5. Contexto geológico de la Fosa Calatayud-Montalbán. Síntesis de la información cartográfica 1:200.000 del IGME (1971 a y b).

área de estudio en sentido SE en la Rama Oriental de la Cordillera Ibérica, cercana a la localidad zaragozana de Villarreal de Huerva (IGME, 1983b).

3. 2. MESOZOICO

Los afloramientos mesozoicos más cercanos a la Cuenca de Calatayud se encuentran aflorando entre fracturas en los relieves paleozoicos más altos de ambas ramas de la Cordillera Ibérica. La cobertera mesozoica presenta una clara estructuración, con deformaciones y pliegues paralelos al eje longitudinal de la cuenca (NO-SE) que se encuentran representados fundamentalmente en la Rama Castellana, hacia el SO de la cuenca, y en la Rama Aragonesa hacia el N-NE. El Mesozoico queda integrado por materiales triásicos, (en facies Buntsandstein, Muschelkalk, y Keuper), jurásicos y cretácicos.

El Buntsandstein está formado por conglomerados cuarcíticos, areniscas y limolitas rojas; el Muschelkalk consiste en dolomías dispuestas en capas gruesas, tableadas, alternancias margo- dolomíticas y limos; el Keuper está compuesto por arcillas, margas y yesos que en algunos casos han podido comportarse como nivel de despegue (Guimerá, 1988). Básicamente, las facies keuper se componen de arcillas abigarradas verdes, rojas y grises, con o sin cristales de yeso, de niveles métricos de yeso de carácter secundario, arcillas, limos, niveles margosos, y tramos arcilloso rojizos con cristales de yeso diagenético (IGME, 1983a).

El Jurásico consta de potentes afloramientos de dolomías tableadas, brechas y carnioles agrupadas en las formaciones de Dolomías Tableadas de Imón y en las Carnioles de Cortes de Tajuña. Finalmente, el Cretácico se compone en su base de las Arenas de Utrillas, y tramos dolomítico-calizos, margas y calizas con ostreidos, arenas, arenas calcáreas y arcillas.

3. 3. LOS EVENTOS VOLCÁNICOS EN EL CONTEXTO DE LA CUENCA

El vulcanismo en áreas adyacentes a la Cuenca de Calatayud se presenta en afloramientos residuales en diversos puntos de la Cordillera Ibérica, tanto en la rama oriental como en la occidental. Así, en la rama oriental puede citarse el vulcanismo de la localidad de Codos, que consta de riodacitas y aglomerados volcánicos de edad pérmica. Estos últimos se componen de tobas de grano grueso (1-5 mm) con fragmentos de rocas paleozoicas; son tobas líticas, ricas en fragmentos de rocas prepérmicas con aporte volcánico ácido producto de explosiones volcánicas subaéreas (IGME, 1983a). Afloramientos volcánicos de pequeña entidad de edad carbonífero-pérmica se localizan en la rama occidental ibérica; se componen de litologías riolíticas y riodacíticas-dacíticas; al NE de Castejón de las Armas, los afloramientos volcánicos se encuentran en estrecha asociación con fallas de dirección NE-SO y en los alrededores de Castejón de Alarba en

relación con fallas de dirección donde el carácter subvolcánico se manifiesta en forma de diques que engloban grandes bloques de roca caja encajante.

Recientemente, como dato importante en la génesis de la cuenca, hay que señalar el trabajo de Ancochea *et al.* (1987) que registra la existencia de un vulcanismo neógeno en la cercana área de Nuévalos (Zaragoza). Estos autores indican que, a partir de los datos petrológicos obtenidos, se puede rechazar cualquier tipo de relación con eventos volcánicos pérmicos y mesozoicos, como los anteriormente descritos reflejándose evidentes analogías con el vulcanismo plio-cuaternario de Cofrentes. Sin embargo, en los trabajos de estudio de este evento volcánico para los objetivos de la Tesis Doctoral, Hoyos *et al.* (1998) presentan una datación K/Ar de las rocas del afloramiento. Los resultados de la datación difieren notablemente de la información publicada primeramente por Quiroga (1885) y, posteriormente por Ancochea *et al.* (1987), indicando una edad de 180 m.a.± 2 m.a. (entre el Lías y Dogger), lo que nos indica una evidente edad jurásica, en consonancia con la abundancia de eventos volcánicos triásico-jurásicos de la Cordillera Ibérica.

4. ESTADO ACTUAL DE CONOCIMIENTOS DEL RELLENO SEDIMENTARIO DE LA CUENCA.

‘Pero lo que me causó más novedad fue el ver entre Terrer y Calatayud una montaña de tal modo encanecida por esta sal, que no pude resistir el ansia de bajar del coche para asegurarme por mí mismo que no era nieve’

Las primeras citas acerca de la geología y de los recursos minerales de la Cuenca de Calatayud se remontan a finales del siglo XVIII, cuando el ilustre químico Louis Proust, en un viaje desde Madrid a Barcelona en 1787, tuvo ocasión de observar la existencia de grandes cantidades de eflorescencias de sulfato magnésico en las proximidades de la localidad de Calatayud. Desde entonces, en particular durante el siglo XIX, los trabajos científicos realizados en la cuenca se limitaron a resaltar la importancia y potencialidad de los recursos salinos de la misma, siendo acompañados de sucintas descripciones de los materiales miocenos que forman su relleno sedimentario. González Lasala (1854) resalta como noticia la explotación de sulfato sódico y magnésico (desde el punto de vista comercial, sales de Glaubero y de la Higuera, respectivamente). Como aporte al conocimiento de la provincia de Zaragoza para la Comisión del Mapa Geológico de España, a finales del siglo XIX surgen trabajos en los que dominan las descripciones geográfico-físicas. Martín Donayre (1874), en su descripción física de la provincia de Zaragoza, hace unas primeras observaciones sobre los materiales yesíferos existentes en los alrededores de la localidad de Calatayud, mientras Palacios (1892) realiza una somera revisión por orden cronológico de materiales geológicos de la región meridional de Zaragoza. Los trabajos de Aguilar (1899, 1902), aunque orientados hacia el uso industrial

de recursos minerales, son los primeros en señalar el carácter continental de los sedimentos miocenos de la cuenca estableciendo relaciones con la fauna asociada, llegando a la distinción de tres zonas, bien definidas en el denominado "Miocénico lacustre bilbilitano", integradas por conglomerados, margas yesíferas y capas calizas, además de establecer un nexo de unión con sus áreas fuente.

En el comienzo del siglo XX, aunque se sigue careciendo de trabajos concisos y detallados, comienzan a añadirse diferentes rasgos paleontológicos y tectónicos en los nuevos trabajos regionales, con un claro sesgo de interés enfocado hacia el vecino sector de Daroca. Royo Gómez (1922, 1926) ensaya un bosquejo tectónico y realiza un estudio sobre la fauna asociada, mientras Ferrando (1924) es el primero en señalar la existencia del yacimiento de Nombrevilla en el cercano sector de Daroca, que fue posteriormente estudiado por Hernández Pacheco (1926). Lotze (1928) aporta observaciones sobre el relleno sedimentario de la cuenca fundamentado en los rápidos cambios laterales de facies, cambios litológicos en la vertical, así como en la horizontalidad de sus depósitos. La importancia en la búsqueda de recursos minerales en la Cuenca de Calatayud se tradujo en la realización de dos sondeos de gran profundidad en áreas centrales de la cuenca (uno de ellos superior a los 1100 m) con la intención de prospectar sales potásicas (Marín, 1932); actualmente, las interpretaciones de estos sondeos profundos constituyen en una fuente de datos de utilidad para el conocimiento somero de la estructura de los depósitos sedimentarios no aflorantes existentes en el subsuelo de la Cuenca de Calatayud.

Los primeros trabajos con claro contenido tectónico, incluidos en estudios de ámbito más general, son los realizados por Fontboté (1954) y Julivert (1954), mientras que Bomer (1960) realiza una aproximación a la geomorfología de la cuenca en relación con observaciones de interés sedimentológico. A partir de finales de la década de los sesenta, comienza la proliferación de estudios de ámbito general sobre la geología de la cuenca, como los realizados por Maldonado y Riba (1969), centrados en la geología de la Sierra de Armantes, o los estudios de síntesis que se realizan con la confección de las hojas geológicas 1:200.000 (IGME, 1971a y b). Hoyos y Morales (1974) realizan una descripción básica de las relaciones de facies entre los distintos materiales de la cuenca, mientras que posteriormente Hoyos *et al.* (1979) estudian la geomorfología de los alrededores de la ciudad de Calatayud centrande su trabajo en la identificación de distintos niveles de terrazas y glacis. Los trabajos de Tena *et al.* (1979) y Tena y Mandado (1984) realizan una revisión general de la geología de la cuenca con la integración de datos tectónicos, estratigráficos, paleontológicos y sedimentológicos.

Por tratarse de aspectos de especial relevancia, presentamos de forma separada los antecedentes correspondientes al conocimiento de la paleontología del Neógeno de la Cuenca de Calatayud, así como los relativos a las formaciones evaporíticas y algunos procesos relacionados con las mismas.

4. 1. IMPORTANCIA PALEONTOLÓGICA DE LA CUENCA DE CALATAYUD.

El estudio paleontológico de las cuencas terciarias de la Península Ibérica comienza a cobrar un especial interés con los trabajos de diversos autores españoles como E. Aguirre, M. Crusafont, O. Riba, J. Truyols, o J.F. Villalta principalmente. Con el trabajo de Villalta y Crusafont (1947), en el que se realiza una revisión de los materiales terciarios continentales basado en estudios de mamíferos fósiles, se inicia una etapa de investigaciones paleontológicas en la Fosa de Calatayud-Teruel. La gran riqueza en restos paleontológicos (en especial de micromamíferos) convierte a la Fosa de Calatayud-Teruel en una de las cuencas terciarias ibéricas con una cronoestratigrafía y un registro paleontológico más completo del Mioceno-Plioceno. Hernández-Pacheco y Meléndez (1957), Crusafont (1957), Crusafont y Truyols (1960) y Crusafont *et al.* (1957, 1960) se ocuparon del estudio de los primeros datos procedentes de yacimientos paleontológicos de los sectores de Daroca y Calatayud.

Hernández-Pacheco y Meléndez (1957) dieron a conocer un yacimiento de supuestos coprolitos de macromamíferos en las proximidades del castillo de Calatayud, si bien previamente Martín Donayre (1874) y Aguilar (1899) ya habían descubierto un notable depósito de coprolitos similares en el término de Terrer. Sin duda, el trabajo de Crusafont (1957), unido al de Koenigswald y Crusafont (1961) proporciona la localización de un buen número de los yacimientos clásicos de la Cuenca de Calatayud, sobre todo en Villafeliche y Torralba de Ribota (yacimientos de Las Planas I-III, Valdemoros I-IV, y Torralba).

Entre los trabajos más relevantes realizados en el área de estudio, destaca el de De Bruijn (1967), que se convierte en la más importante contribución a la bioestratigrafía de la cuenca realizada hasta el presente momento con la localización de un gran número de yacimientos paleontológicos y un detallado estudio de recopilación y síntesis de la información previa. Los datos publicados son fruto de diversas campañas de campo realizadas entre los años 1960-63 por H. de Bruijn junto con los profesores M. Crusafont y G.H.R. Von Koenigswald. De Bruijn (1967) estudia los micromamíferos (Gliridae, Sciuridae, y Eomyidae) estableciendo la bioestratigrafía del área, mientras que los macromamíferos son estudiados por P.Y.Sondaar y M.Crusafont. Las áreas prospectadas en el marco de la Tesis Doctoral de H. De Bruijn cubren los sectores N-NO y O de la Cuenca de Calatayud, en concreto en Torralba de Ribota, Armantes, Ateca, Valtorres y Munébrega. Entre estos yacimientos clásicos destacan por su importancia los de Ateca I, Ateca III, Valtorres, Munebrega I, Munebrega III, Torralba I, Armantes I, Armantes III, Armantes IV, y Armantes VIII. Boné *et al.* (1979) prosiguieron las labores de prospección paleontológica en el área de Torralba de Ribota con la localización de un nuevo yacimiento denominado Torralba V.

Posteriormente, De Bruijn y Van Meurs (1967) establecieron la primera biozonación basada en micromamíferos en el sector de Calatayud y el de Daroca-

Villafeliche. A partir de esta fecha, se continuaron las labores de prospección-recopilación de datos paleontológicos; Aguirre y Morales (1975) centraron su trabajo en resaltar la importancia de las secuencias bioestratigráficas basadas en los materiales sedimentarios de la Cuenca de Calatayud-Teruel, elaborando una síntesis de los yacimientos descritos hasta la época, mientras que los estudios de Daams *et al.* (1977), Daams y Freudenthal (1981), Daams *et al.* (1987), Van der Meulen y Daams (1992) han supuesto importantes avances en la biozonación del Mioceno, estableciendo una división bioestratigráfica de la Cuenca de Calatayud-Montalbán y elaborando la síntesis del Aragoniense, piso continental del Mioceno Medio, y el establecimiento de un nuevo piso, el Ramblense, dentro del Mioceno Inferior, en el área de Daroca-Villafeliche.

Adrover y Mein, dentro de los trabajos de confección de las hojas geológicas 1:50000 de Ateca (437) y Paniza (438) durante los años 1980-81 realizaron el estudio cronoeestratigráfico del Terciario continental de gran parte de la Cuenca de Calatayud prospectando un gran número de localidades, y aportando dataciones de los yacimientos más modernos de la cuenca (Villafeliche, Miedes, Velilla y Fuentes de Jiloca) situándose estos dos últimos dentro de las calizas fluviolacustres de Unidad Superior.

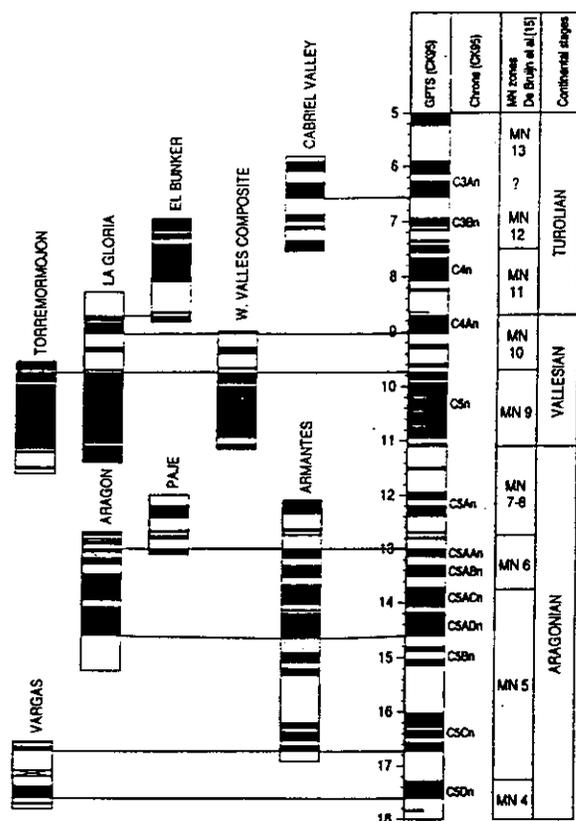


Figura 2. 6. Sucesión magnetoestratigráfica desde el Aragoniense inferior al Turolense Medio realizada a partir de secciones estratigráficas de las Cuencas de Calatayud-Montalbán, Teruel, Vallés-Penedés, Duero y Júcar-Cabriel (Kringsman *et al.*, 1996).

En el sector de Mara-Orera, en relación con los trabajos de prospección de urgencia de la concesión minera de Mara II, Canudo y Cuenca (1989) localizaron un yacimiento de probable edad Vallesiense Inferior (Cerro Grande) en el límite de los términos municipales de Belmonte de Gracián y Orera. Posteriormente, Andrés *et al.* (1992) dan a conocer el yacimiento Mara II (Aragoniense Superior) dentro de las actuaciones de protección del Patrimonio Paleontológico de Aragón, realizando una excavación de urgencia en la mina de sepiolita de Orera.

Importantes contribuciones a la cronología del Mioceno Medio-Superior son las realizadas por Kringsman *et*

al. (1994, 1996), basadas en datos obtenidos de la realización de una magnetoestratigrafía de alta resolución en secciones que permiten una correcta calibración con yacimientos paleontológicos de mamíferos. En un primer momento, Krijgsman *et al.* (1994) comienzan realizando una magnetoestratigrafía de alta resolución en series estratigráficas de Armantes y Villafeliche, que es posteriormente integrada en Krijgsman *et al.*, (1996); la necesidad de disponer de una estratigrafía precisa para el Mioceno continental europeo promueve la realización de este último trabajo, en el que se establece una sucesión magnetoestratigráfica completa desde el Aragoniense Inferior (MN4) al Tuoliense Medio (MN12) a partir de secciones estratigráficas de las cuencas de Calatayud-Montalbán, Teruel, Vallés-Penedés, Duero, y Júcar-Cabriel. (Fig 2.6).

4.2. IMPORTANCIA DE LOS DEPÓSITOS EVAPORÍTICOS DE LA CUENCA DE CALATAYUD

La presencia en la Cuenca de Calatayud de importantes depósitos evaporíticos ha constituido un hecho relevante en los estudios realizados sobre la geología de la cuenca. Los primeros trabajos realizados en la cuenca (González Lasala, 1854; Martín Donayre, 1874), se caracterizaron por la descripción del aprovechamiento de los recursos evaporíticos (epsomita y glauberita) para uso industrial-medicinal. Posteriormente, con la realización de dos sondeos profundos para prospección de sales potásicas en áreas centrales de la cuenca (Marín, 1932) se reabre el interés por el aprovechamiento de los recursos naturales evaporíticos del subsuelo, si bien el registro encontrado no responde al principal objetivo de los sondeos, que era la investigación de sales potásicas. En el informe del I.G.M.E. (1974), se lleva a cabo un estudio de evaluación de reservas de yeso para el que se perforaron dos sondeos de poca profundidad (S.V.8.1., de 50 m y S.V.8.2., de 14 m) en los que únicamente se reconocieron materiales yesíferos. Posteriormente, Collantes y Grifo (1982) realizan una aproximación al uso industrial de los yacimientos de yeso de la cuenca (Fuentes, Morata, y Vellilla de Jiloca) estimando las reservas, las condiciones de explotación, aplicando para ello conocimientos estratigráficos y de facies; estos yesos son usados para la fabricación de escayola de uso estomatológico y de construcción. Collantes y Grifo (1982) contabilizan cuatro explotaciones activas, tres de ellas en Fuentes de Jiloca y la cuarta en Villafeliche, además de otras siete explotaciones inactivas que se encuentran en su mayoría en sectores más noroccidentales de la cuenca. Con posterioridad, Ortí (1987) presenta la primera correlación de columnas estratigráficas realizadas en facies evaporíticas al SE de la cuenca, entre las localidades de Maluenda y Villafeliche. Rosell y Ortí (1992) aportan datos geoquímicos de las distintas facies yesíferas encontradas en la sección de Morata de Jiloca. Sánchez-Moral *et al.* (1993) analizan las eflorescencias salinas asociadas a las facies evaporíticas, relacionando las eflorescencias epsomíticas que aparecen en toda la cuenca con procesos de dedolomitización de las margas que acompañan a los yesos, y las eflorescencias puntuales de carácter sódico (bloedita-thenardita) con la posible existencia de glauberita en las formaciones evaporíticas. Ortí *et al.* (1994) y Ortí y Rosell (1994) contribuyen al esclarecimiento de las facies deposicionales evaporíticas planteando diversas hipótesis

genéticas, definen tres unidades evaporíticas principales y establecen un primer corte general interpretativo de los depósitos evaporíticos con relaciones de facies según la dirección del eje mayor de la cuenca, acompañándolo de un perfil isotópico general (Utrilla, 1989). Recientemente, Ortí y Rosell (1998) han realizado un análisis de los sistemas deposicionales evaporíticos del sector sureste de la cuenca.

4. 3. IMPORTANCIA DE LOS PROCESOS DE KARSTIFICACIÓN EN FACIES EVAPORÍTICAS

La importancia de los procesos de subsidencia y colapso relacionados con la karstificación de las facies evaporíticas queda patente en los trabajos de Hoyos y López Martínez (1985) y Gutiérrez Santolalla (1994a, b, c) en los que por una parte, se aborda el estudio de procesos de subsidencia kárstica que afectan a los materiales carbonáticos que actualmente forman los páramos y, por otra se profundiza en el estudio de fenómenos de subsidencia sinsedimentaria en los sistemas aluviales del Jalón y del Jiloca. Sanz-Rubio *et al.* (1995) inciden en la influencia de la subsidencia sedimentaria en la deposición de las facies carbonáticas del Mioceno-Plioceno, y Gutiérrez Santolalla (1996) retoma de nuevo la temática de la subsidencia kárstica asociada a sistemas aluviales con aplicaciones enfocadas hacia la prevención de riesgos geológicos. Recientemente, Hoyos *et al.* (1996) relacionan los procesos de karstificación con la existencia de un paleorrelieve a techo de las facies evaporíticas previo a la deposición de las unidades restantes, además de plantear un modelo evolutivo general de la cuenca para el Mioceno.

5. ANTECEDENTES ESTRATIGRÁFICOS DEL TERCIARIO DE LA CUENCA

Una vez establecido el contexto estructural y geológico de la cuenca, se hace necesario realizar una revisión de toda la información de carácter estratigráfico-litoestratigráfico de la cuenca existente con anterioridad a la presentación de este trabajo. Si bien las facies paleógenas y pliocenas no han constituido el núcleo del trabajo, incluimos una revisión somera de la información existente con el fin de mostrar al lector las relaciones infra y suprayacentes de las unidades mio-pliocenas que son el objeto de nuestro estudio.

5.1. PALEÓGENO

Los afloramientos pertenecientes a materiales paleógenos en el entorno del área de estudio en la Cuenca de Calatayud quedan limitados a un área de reducidas

dimensiones (IGME, 1981) que queda muy cercana al límite septentrional del área de estudio. En concreto, este afloramiento de edad oligocena (IGME, 1981) se encuentra a poco más de 1 km al NO de la localidad de Villalengua, en el borde occidental de la depresión. Se apoyan de forma discordante sobre facies triásicas (Muschelkalk) y consta de una estructura suavemente plegada con existencia de anticlinales y sinclinales que quedan fosilizados por sedimentos miocenos. Se puede distinguir un tramo litológico inferior limoso-margoso, y otro superior conglomerático:

a) Tramo Inferior: compuesto de limos calcáreos de color anaranjado alternantes con margas blanco-rosáceas, con una potencia de afloramiento de 35 m en el área de Villalengua.

b) Tramo Superior: se trata de un tramo conglomerático (cantos de cuarcita, arenisca y caliza cretácica) de color pardo-rojizo, con cantos gruesos muy redondeados y cementados, que posee frecuentes intercalaciones de calizas arenosas de color beige, llegando a presentar una potencia de afloramiento de unos 15 m.

En este sentido, y como se observará en el siguiente capítulo, la existencia de un sondeo de gran profundidad en áreas centrales de cuenca (Marín, 1932), junto con un infradato de Ramblense Superior para las facies evaporíticas aflorantes más antiguas, nos lleva a sugerir una más que posible aparición de materiales paleógenos, probablemente oligocenos, en el citado sondeo. Los materiales de Villalengua son evidentemente facies clásticas proximales que han estado sujetas a deformaciones tectónicas en etapas iniciales de apertura de la cuenca.

5.2. NEÓGENO

El relleno sedimentario neógeno de la Cuenca de Calatayud se caracteriza por la existencia de una alta variabilidad de facies sedimentarias en un espacio relativamente reducido ya que las dimensiones de la cuenca configuran una morfología elongada en dirección NO-SE, con una anchura entre las ramas Castellana y Aragonesa de la Cordillera Ibérica que oscila entre los 10-26 km. Esta depresión se caracteriza fundamentalmente por un modelo centrípeto de distribución de facies donde brechas y conglomerados de margen de cuenca pasan hacia el centro a materiales evaporíticos y/o carbonatados con cambios laterales de facies muy rápidos, con la excepción de los últimos materiales carbonáticos fluviolacustres de colmatación.

Hasta el momento y haciendo referencia a los trabajos de ámbito general publicados anteriormente sobre la geología de la Cuenca de Calatayud, no se ha presentado una litoestratigrafía de detalle del relleno sedimentario neógeno de la depresión. Durante el siglo pasado y hasta finales de los años setenta del presente, gran parte de los estudios sobre la geología de la depresión han resaltado la diferenciación de

grandes unidades litológicas, mostrando de forma somera las relaciones estratigráficas y de facies existentes entre ellas; así, a mediados de los años setenta, Hoyos y Morales (1974) realizan una distinción más detallada de los tres grupos fundamentales de sedimentos (detríticos, evaporíticos y calcáreos) con todos sus pasos intermedios que aparecen en la cuenca.

Del mismo modo, Tena *et al.* (1979) y Tena y Mandado (1984) realizan un desglose mayor de las distintas litologías, distinguiendo seis tipos fundamentales que corresponden a los pasos intermedios que Hoyos y Morales (1974) describen entre los tres grupos fundamentales de sedimentos: brechas y conglomerados, areniscas, lutitas, margas, yesos y calizas.

A modo de introducción al estado actual de conocimiento de la Cuenca de Calatayud, la distinción de tres grupos fundamentales de sedimentos es una condición básica previa a un establecimiento de la litoestratigrafía y cronoestratigrafía.

Los materiales detríticos se encuentran representados por brechas, conglomerados, areniscas, limos y arcillas, existiendo una gradación desde materiales más groseros en el borde de la depresión, que se apoyan de forma discordante sobre el Paleozoico, hacia materiales más finos y sedimentos de precipitación química (sales y/o carbonatos) hacia el centro de la cuenca. Los materiales evaporíticos quedan caracterizados fundamentalmente por una amplia gama de tipologías yesíferas que se acompañan de fases salinas más solubles en forma de eflorescencias y ocupan el área central de la depresión, encontrándose frecuentemente interestratificados con arcillas y magnesita. En sondeos de investigación salina se han encontrado otras mineralogías distintas, tales como glauberita, thenardita, halita y anhidrita. Los materiales calcáreos se encuentran básicamente formando los tramos superiores de los depósitos de la cuenca y en posiciones marginales dentro de los sistemas evaporíticos, presentando una amplia variabilidad de litologías (caliza, dolomía, magnesita y aragonito) que serán estudiadas en relación con su génesis en capítulos posteriores.

El establecimiento de una litoestratigrafía detallada del Neógeno de la Cuenca de Calatayud ha permanecido como una asignatura pendiente con anterioridad al comienzo de la presente Tesis Doctoral. Tradicionalmente se han distinguido tres unidades sedimentarias fundamentales (Hoyos y López Martínez, 1985): 1) Unidad Inferior, con depósitos clásticos en los bordes pasando a evaporitas en el centro de la cuenca que presentan rasgos paleokársticos en su techo; 2) Unidad Intermedia de carácter carbonático-detrítico; y, finalmente 3) Unidad Superior, con sedimentos clásticos y carbonatos palustres-lacustres. Después del trabajo de síntesis de la litoestratigrafía de las cuencas ibéricas de López-Martínez *et al.* (1987), Calvo *et al.* (1993) exponen un esquema litoestratigráfico más completo de la cuenca (Fig 2.7) manteniéndose tres unidades litoestratigráficas separadas por rupturas sedimentarias; así, la Unidad Inferior evaporítica (?-Ramblense Superior) queda supradatada por el yacimiento paleontológico de Ateca-III en el Ramblense Superior, desconociéndose la edad de las facies

evaporíticas más profundas. La sedimentación de la Unidad Intermedia (Rambliese Superior-Turoliense Inferior) representa un amplio período temporal del Mioceno, quedando datada a su base por el citado Ateca-III y a techo por los yacimientos de Fuentes de Jiloca. La Unidad Superior (Turoliense Inferior-Rusciniense Inferior) representa la deposición de los últimos materiales de relleno de la cuenca, que incluso llegan al Plioceno. Se distingue un tramo basal compuesto de detríticos y un tramo superior carbonático-fluviolacustre-tobáceo, siendo datado su techo por los yacimientos de Velilla de Jiloca. Dos ciclos pliocenos completan la litoestratigrafía del Neógeno de la cuenca integrados por materiales clásticos y carbonáticos.

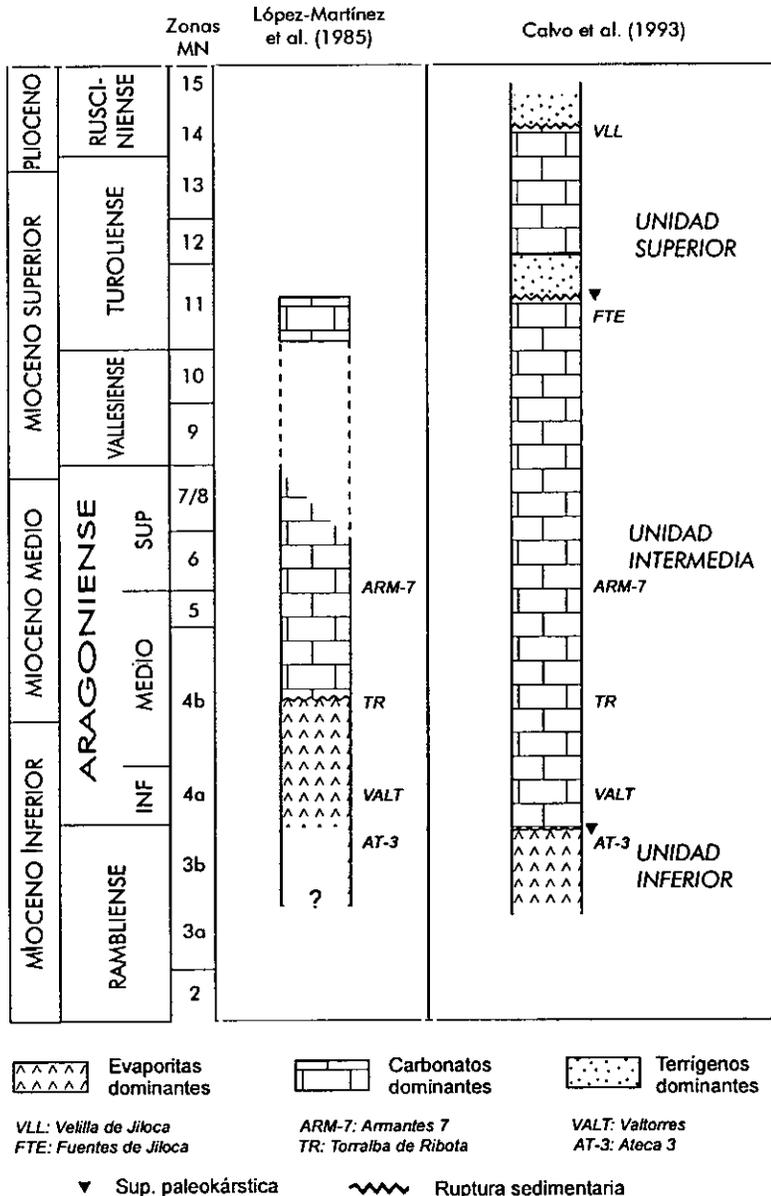


Figura 2. 7. Síntesis de la litoestratigrafía de la Cuenca de Calatayud según López-Martínez et al. (1985) y Calvo et al. (1993)

La estructuración litoestratigráfica y cronoestratigráfica que se presentará en este estudio supone una reorganización, actualización, y calibrado con los nuevos datos sedimentológicos y biostratigráficos, si bien se mantiene el mismo esquema básico (tres unidades litoestratigráficas miocenas), de uso común en otras grandes cuencas terciarias de la Península Ibérica (Calvo *et al.*, 1993).

Por otra parte, Villena *et al.* (1991) realizan el análisis del Terciario de la Cuenca del Ebro y de la Cuenca de Calatayud definiendo las características estratigráficas y sedimentológicas de las diferentes unidades tecto-sedimentarias (UTS). Los límites de estas unidades son “rupturas sedimentarias” en sentido amplio ya que incluyen discordancias angulares, disconformidades, paraconformidades, e incluso conformidades en las que la existencia de ruptura se manifiesta en un cambio litológico o variaciones de signo de la evolución secuencial. De esta forma, las equivalencias entre el esquema litoestratigráfico clásico en tres unidades (Calvo *et al.*, 1993) y las UTS de Villena *et al.* (1991) son las siguientes: la Unidad Inferior evaporítica en su tramo aflorante se corresponde con las UTS T5 y UTS T6; la Unidad Intermedia carbonatada se corresponde con la UTS T7 y, dentro de la Unidad Superior, el tramo basal terrígeno se corresponde con el término detrítico inferior de la UTS T8, mientras que el tramo superior carbonático fluviolacustre-tobáceo se corresponde con el término carbonatado superior de la UTS T8. Finalmente, el primer ciclo plioceno compuesto de un tramo basal detrítico y uno superior carbonatado se corresponde con la UTS T9.

En cuanto a los materiales pliocenos de la cuenca, en el trabajo publicado por IGME (1983b) se describen afloramientos ruscinienses disectados por la Superficie de Erosión Fundamental en el área SE de la Cuenca de Calatayud, cercanos al límite meridional del área de estudio, entre las localidades de Langa, Murero y Daroca. En primer lugar se describe un conjunto detrítico compuesto de limolitas rojas y conglomerados que se apoya de forma discordante sobre los materiales carbonáticos fluviolacustres-tobáceos que integran la Unidad Superior mio-pliocena de la Depresión de Calatayud. Este conjunto detrítico, que puede llegar a alcanzar 60-80 m de potencia, se compone de dos tramos litológicos muy similares y discordantes entre sí. Los dos tramos quedan integrados por limolitas rojas y niveles de paleocanales conglomeráticos, pero se diferencian en que en el tramo litológico inferior los clastos son básicamente de naturaleza carbonatada (oncoides) y en el tramo superior son clastos silíceos y calizas mesozoicas. En IGME (1983b) se indica que las direcciones de flujo son paralelas o casi paralelas al eje de la cuenca, siendo las direcciones de aporte E-SE medidas en paleocanales fluviales. En discordancia sobre este conjunto detrítico se encuentra un tramo carbonático, con una potencia media de 5 a 7 m, que se compone de calizas palustres-lacustres con alguna intercalación margosa con cuarzo, ostrácodos, caráceas y gasterópodos.

6. LA CONFIGURACIÓN ACTUAL DE LA CUENCA. RASGOS FUNDAMENTALES GEOMORFOLÓGICOS Y TECTÓNICOS.

6. 1. RASGOS GEOMORFOLÓGICOS

Los rasgos fundamentales de la geomorfología de la Cuenca de Calatayud corresponden a formas de relieve que son producto tanto de la distinta resistencia a la erosión de los materiales de relleno, como de la actividad tectónica.

Así, como primer rasgo morfológico importante se observan unos bordes de cuenca abruptos en el contacto entre los materiales clásticos del relleno terciario y las crestas monoclinales cuarcíticas que integran buena parte de las sierras paleozoicas. Los relieves paleozoicos circundantes alcanzan altitudes comprendidas entre los 1000-1300 m, mientras que los relieves en materiales neógenos pueden alcanzar los 960 m. Estas diferencias topográficas se traducen en un descenso brusco de cota hacia los sectores más centrales de la cuenca, que se encuentran modelados por el encajamiento reciente de la red hidrográfica. Únicamente al Sur del límite meridional del sector de estudio, en la zona de Nombrevilla, los relieves miocenos llegan a superar en altura a los relieves circundantes de la Cordillera Ibérica.

Sin duda, uno de los rasgos morfológicos más importantes del relleno sedimentario de la Cuenca de Calatayud está representado por una superficie estructural formada a techo de los materiales de la Unidad Superior, que es posteriormente retocada por la denominada Superficie de Erosión Fundamental de la Cordillera Ibérica (Solé Sabaris, 1978), de edad finipliocena. Esta superficie de erosión bisela los alabeos y basculamientos que caracterizan a los materiales carbonáticos fluviolacustres-tobáceos de la Unidad Superior que forman los relieves centrales internos de la depresión (Sanz-Rubio *et al.*, 1995). En la Sierra de Armantes y en sectores del SE del área de estudio (Fuentes de Jiloca-Montón-Miedes-Villafeliche), la superficie alcanza cotas que oscilan entre los 940-960 m, que se mantienen constantes o muy similares en las proximidades de Nombrevilla, en el sector de Daroca de la Fosa de Calatayud-Montalbán (974 m). En el capítulo 9, se explica con mayor detalle la génesis de esta superficie en la cuenca.

El modelado actual de la Depresión de Calatayud se encuentra influenciado por la implantación de la red hidrográfica actual, que a su vez, está principalmente condicionada por direcciones estructurales paralelas, o bien transversales a la dirección del eje longitudinal de la cuenca. La red secundaria de afluentes se encuentra relacionada tanto con direcciones estructurales como por la existencia de litologías con mayor susceptibilidad a la erosión, o zonas de debilidad en relación con cambios de facies (Bomer, 1960).

Los valles fluviales más importantes de la cuenca (ríos Jalón, Perejiles, Jiloca, y Ribota) se caracterizan por un marcado desarrollo asimétrico. Los valles fluviales del Perejiles, Jiloca y Ribota poseen una vertiente adyacente a los relieves paleozoicos que desciende topográficamente de forma pausada hasta la llanura aluvial de los ríos, mientras que la vertiente opuesta es abrupta con taludes de hasta 300 m, coronados por materiales calcáreos de la Unidad Superior (Fig. 2.8). En las vertientes suaves de estos valles fluviales, existen mantos aluviales que se superponen a los sedimentos neógenos en disconformidad o discordancia angular. Estas unidades morfosedimentarias están encajadas en el relleno sedimentario de la cuenca, poseen morfología de glacis y las superficies morfogenéticas de estos mantos aluviales presentan una pendiente que tiende a dirigirse hacia las principales arterias fluviales (Gutiérrez Santolalla *et al.*, 1996). La génesis de estos mantos aluviales se encuentra relacionada con la captura de una cuenca por una red de drenaje externa (Martín Serrano, 1991).

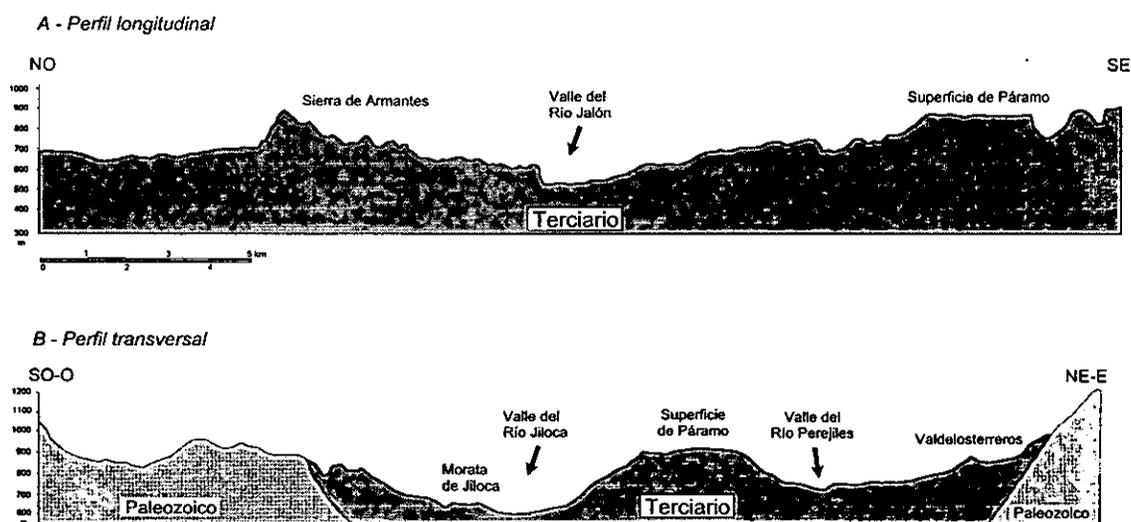


Figura 2. 8. Perfiles topográficos longitudinal y transversal de la Cuenca de Calatayud.

La asimetría de los valles queda muy marcada en el curso fluvial del Río Jalón; su margen izquierda presenta abruptos taludes excavados en materiales yesíferos, mientras que la margen derecha tiene pendientes mucho más suaves y tendidas. Si bien la génesis de terrazas fluviales asociada a los ríos de la cuenca tiene escaso desarrollo, sólo el Río Jalón, entre las localidades de Terrer y Calatayud, posee en su margen derecha formaciones de terrazas de cierta continuidad (Tena *et al.*, 1979), aunque en el sector más cercano a la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica, presenta hasta once niveles de terraza, quedando la más alta a +85 m (Hoyos *et al.*, 1979).

Este sesgo en la localización de las terrazas fluviales se encuentra en relación con la asimetría del valle fluvial del Río Jalón, e indica una migración lateral del sistema hacia

el NO, que puede ser producto de fenómenos de subsidencia kárstica aluvial (Gutiérrez-Santolalla, 1994a) (Fig. 2.9). La asimetría en valles fluviales excavados en yesos no constituye un hecho aislado; en la Cuenca del Ebro, Gutiérrez-Elorza y Gutiérrez Santolalla (1996) han indicado que la asimetría en valles fluviales excavados sobre litologías yesíferas queda patente con una secuencia de terrazas escalonadas en una margen, mientras que en la otra se encuentra un fuerte escarpe. La génesis de estos escarpes se relaciona con el encajamiento y migración lateral de los ríos a través de su evolución cuaternaria; los taludes se caracterizan por una abundancia de deslizamientos rotacionales, caídas y descalces de bloques, que pueden ser producto de la descarga y karstificación estructuralmente controlada del yeso (Gutiérrez-Santolalla *et al*, 1994).

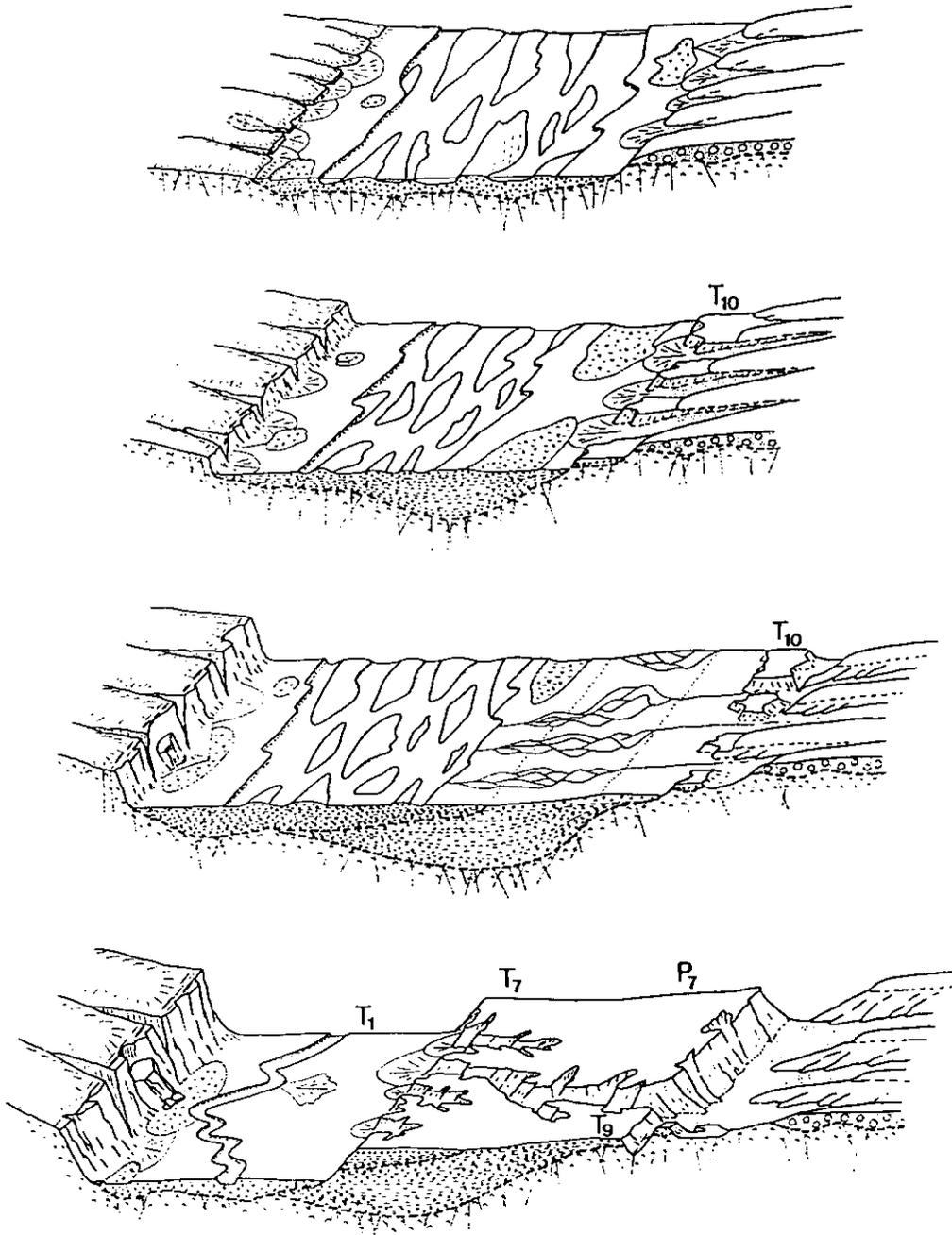


Figura 2. 9. Evolución paleogeográfica del Río Jalón que representa la migración lateral del sistema fluvial y la génesis de un escarpe en yesos (según Gutiérrez Santolalla, 1996).

6. 2. RASGOS TECTÓNICOS.

La actual configuración geomorfológica de los materiales neógenos de la Cuenca de Calatayud obedece en gran parte a un control tectónico. De esta forma puede observarse que las relaciones entre los materiales neógenos y los bordes paleozoicos actuales de la cuenca, implican a menudo la existencia de contactos por falla. Además, la red de drenaje de la cuenca se encuentra relacionada con directrices tectónicas. Los principales cauces fluviales corresponden al Río Jalón y a sus afluentes por el Sur, el Río Jiloca y Perejiles, y por el Norte, el Río Ribota.

El Río Jalón atraviesa la Cuenca de Calatayud en una dirección aproximada O-E, cortando en su camino materiales de muy distinta resistencia a la erosión, como los sedimentos neógenos o las cuarcitas y pizarras de las ramas Occidental y Oriental de la Cordillera Ibérica. Estos factores inducen a pensar en el aprovechamiento de una marcada lineación tectónica para su encajamiento, unido a un basculamiento generalizado de la cuenca hacia el Este (Tena *et al.*, 1979).

Al Sur del Río Jalón, sus dos afluentes principales (ríos Jiloca y Perejiles) se caracterizan por llevar cursos básicamente rectilíneos y paralelos al eje longitudinal de la cuenca, constatando la importante influencia tectónica en su encajamiento; al Sur del sector de estudio, entre las localidades de Luco y Murero, el Río Jiloca sigue el curso de una fosa monoclinial (Semifosa del Jiloca) delimitada al Norte por una falla perfectamente identificable (Bomer, 1960), mientras que hacia el Norte, dentro del área de estudio, se encaja en materiales miocenos manteniendo aproximadamente la misma dirección. Por otra parte, el Río Perejiles sigue también una lineación tectónica paralela a la del Río Jiloca, si bien tanto Bomer (1960) como Tena *et al.* (1979) indican que ha labrado su cauce aprovechando los cambios de facies entre distintas formaciones. Hacia el Norte, el Río Ribota constituye la continuación de la directriz del Río Perejiles.

Con las observaciones realizadas en el transcurso de la realización de esta Tesis, la Cuenca de Calatayud aparece compartimentada en cuatro bloques tectónicos fundamentales en función de tres grandes lineaciones tectónicas en materiales neógenos, que actualmente coinciden con el curso de los ríos Perejiles, Jiloca y Jalón, y de las fracturas que delimitan el relleno neógeno y los bordes de cuenca actuales (Fig. 2.10):

a) Bloque Norte-Armantes: integrado por el sector que queda al Norte del Río Jalón. Comprende todo el macizo de la Sierra de Armantes, incluyendo tanto materiales evaporíticos de la Unidad Inferior como materiales carbonáticos de la Unidad Intermedia. Este bloque queda ligeramente basculado hacia el Este (Hoyos *et al.*, 1979).

b) Bloque Sur-Occidental: queda al Sur del Río Jalón, desde el cauce del Río Jiloca hasta el margen occidental de la cuenca. Comprende materiales de Unidad Inferior e Intermedia. Este bloque se encuentra basculado hacia el Este. Los

materiales adyacentes al borde paleozoico presentan un buzamiento pronunciado, que rápidamente se atenúa hacia el valle fluvial del Jiloca. Esta particularidad es originada por el juego de la falla existente en el valle fluvial del Jiloca. Este buzamiento generalizado se acentúa en dirección SE, siendo máximo en el sector de Villafeliche.

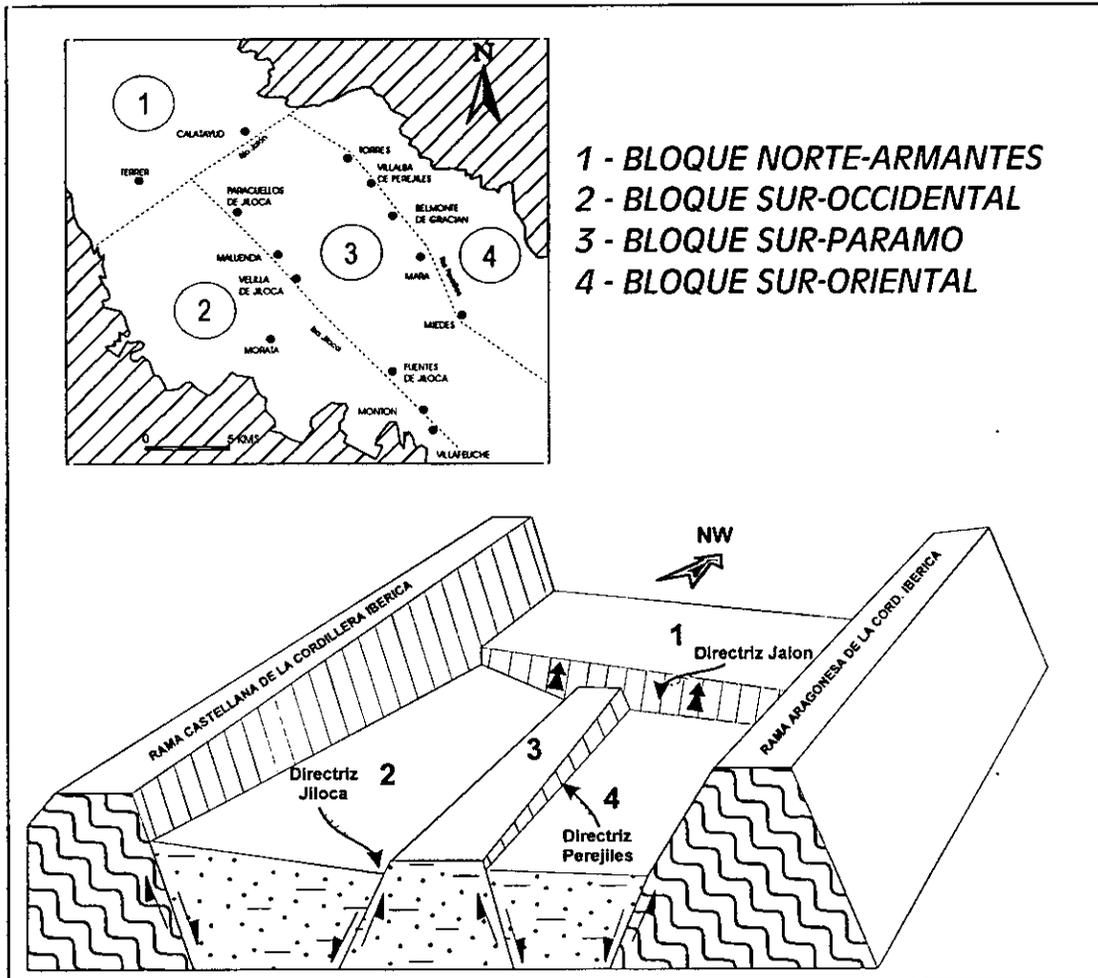


Figura 2. 10. Distribución de los cuatro grandes bloques tectónicos de la Cuenca delimitados por las directrices tectónicas de los ríos Jalón, Jiloca y Perejiles.

c) **Bloque Sur-Páramo:** situado al Sur del Río Jalón, forma el interfluvio entre los ríos Jiloca y Perejiles, donde se encuentran los mejores afloramientos de la cuenca, siendo el área de mejor representación de la Unidad Superior. Los materiales se caracterizan generalmente por su horizontalidad, exceptuando los sectores colindantes con los cursos fluviales del Jiloca y Perejiles, que sufren procesos de deslizamiento rotacional, colapso y caída de bloques.

d) **Bloque Sur-Oriental:** se sitúa al Sur del Río Jalón, desde el Río Perejiles hasta el margen oriental de la cuenca. Presenta un basculamiento generalizado hacia el

Este, donde los materiales terciarios y paleozoicos se presentan en relación de contacto mecánico-falla normal en gran parte de este margen, a menudo solapados por unidades detríticas pliocenas o postpliocenas.

La disposición actual de estos cuatro bloques obedece a los movimientos diferenciales producidos en relación con las grandes lineaciones tectónicas que los limitan. El Río Jalón, transversal a la cuenca, divide dos grandes sectores con diferente comportamiento (por un lado bloque Norte-Armantes y por otro, los bloques Sur-Occidental, Sur-Páramo y Sur-Oriental), donde el sector Sur representa el labio hundido. Dentro de este sector, el bloque central (Sur-Páramo) se encuentra levantado con respecto a los otros dos (Sur Occidental y Sur-Oriental).

En los próximos capítulos de este trabajo, se utiliza el citado esquema de diferenciación de cuatro bloques tectónicos principales en la cuenca, sirviendo como referencia geográfica en gran parte de las descripciones, o bien analizando la influencia de los movimientos diferenciales de bloques como factor de control y evolución de la sedimentación mio-pliocena.

CAPÍTULO 3

ESTRATIGRAFÍA DEL NEÓGENO DE LA CUENCA DE CALATAYUD

1. UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS MAYORES Y SU CRONOLOGÍA

En la realización de la presente Tesis Doctoral, una gran parte del trabajo de campo ha consistido en la realización de series estratigráficas que han ofrecido una visión representativa del conjunto de litofacies que forman las tres grandes unidades sedimentarias neógenas de la Cuenca de Calatayud. En total, se han levantado 55 series, con potencias muy diversas, desde menos de una decena de metros hasta más de 250 m, dependiendo del grado de detalle que se ha querido mostrar en las observaciones. Las descripciones y representación de las secciones estratigráficas seleccionadas para este trabajo figuran en el Anexo-I.

En la definición de unidades litoestratigráficas se ha tenido en cuenta la información aportada por la cartografía geológica realizada a escala 1:50.000 que figura en el Anexo II.

1. 1. UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS MAYORES

En la elaboración de la presente Tesis Doctoral se mantiene el esquema básico de organización litoestratigráfica de Calvo *et al.* (1993), en el que se dividía el relleno sedimentario mioceno-plioceno de la cuenca en tres unidades litoestratigráficas fundamentales, con el objeto de no añadir una complejidad innecesaria, buscando el reconocimiento inmediato o asimilación por investigadores que hayan trabajado en cuencas terciarias con rellenos sedimentarios similares. Así, en este trabajo se intenta aportar una mejora en la definición, detalle, establecimiento y cronología de las diferentes unidades litoestratigráficas.

Como introducción, Sanz-Rubio *et al.* (1997) reconocieron tres unidades litoestratigráficas fundamentales en el sector estudiado de la Cuenca de Calatayud-Montalbán; Unidad Inferior, Unidad Intermedia y Unidad Superior. Los criterios

utilizados para la diferenciación de estas unidades son básicamente la existencia de dos importantes rupturas sedimentarias reconocibles a escala de cuenca (Hoyos *et al.*, 1998).

En las tres unidades sedimentarias diferenciadas, queda patente que la sedimentación en las unidades Inferior e Intermedia sigue un patrón deposicional centrípeto, donde depósitos clásticos groseros hacia los bordes de cuenca pasan progresivamente hacia áreas centrales a sedimentos de naturaleza evaporítica y carbonática. Estas dos unidades quedan fundamentalmente caracterizadas por su naturaleza evaporítica dentro de un modelo deposicional endorréico, mientras que la Unidad Superior posee naturaleza terrígeno-carbonática, y presenta claras evidencias para un marcado cambio en el sistema de drenaje de la cuenca, pasando a comportarse como un sistema exorréico. La descripción básica de las tres unidades es como sigue:

Unidad Inferior

La Unidad Inferior consta en superficie de facies anhidriticas, glauberíticas (\pm thenardíticas), y yesíferas (transformadas actualmente a yeso secundario). Alrededor de este cuerpo evaporítico de disposición central en la cuenca, en cambio de facies, se reconocen facies terrígenas, con gran extensión de los términos lutítico-limoso rojos con nódulos de yeso. En los sectores centrales existen facies halítico-anhidriticas en profundidad, tal como se desprende de la información proporcionada por la realización de dos sondeos en el sector de Paracuellos de Jiloca (Marín, 1932) en el que se citan potencias de halita-anhidrita de varios cientos de metros (alrededor de 367 m). La potencia de afloramiento de esta unidad oscila entre 100-150 m.

La existencia de eflorescencias salinas de carácter magnésico y sódico en afloramientos evaporíticos es bien conocida desde el siglo XVIII. Recientemente, Sánchez-Moral *et al.* (1993) relacionaron la existencia de eflorescencias puntuales de carácter sódico (bloedita-thenardita) a la posible existencia de glauberita en las formaciones evaporíticas. Por otra parte, la existencia de pseudomorfos de glauberita actualmente transformados en yeso secundario en diversas áreas de la cuenca, tal como han descrito previamente Ortí y Rosell (1994) y Ortí (1996), proporcionaba evidencias de la presencia de sulfato sódico en la Cuenca de Calatayud. Tal evidencia ha podido ser confirmada gracias a la información de sondeos de investigación realizados por MYTA en el sector Sur de la Sierra de Armantes, donde se citan facies anhidriticas, glauberíticas y thenardíticas bajo una cobertera poco potente constituida por yeso secundario.

Como uno de los criterios de diferenciación entre Unidad Inferior e Intermedia, manifestándose a techo de Unidad Inferior, se reconoce un importante evento de progradación hacia el centro de la cuenca de abanicos aluviales. Este evento puede ser localizado en gran parte de la cuenca, y a partir de este momento la sedimentación evoluciona con un marcado cambio litológico. Así, en el sector NO de la cuenca, en la falda Sur de la Sierra Armantes, el citado cambio se refleja en un paso en la vertical desde yesos laminado-nodulares secundarios de Unidad Inferior hacia facies dolomíticas y margo-

dolomíticas de Unidad Intermedia. En el sector SE de la cuenca, se observa la misma tendencia, con transiciones verticales desde yesos laminados de origen secundario hacia yesos laminados primarios interlaminados con carbonato magnésico, que incluimos dentro de la Unidad Intermedia.

La ruptura sedimentaria entre la Unidad Inferior e Intermedia se reconoce en gran parte de la cuenca como una superficie paleokárstica desarrollada sobre depósitos evaporíticos de la Unidad Inferior, sobre la que descansan materiales sulfatado-cálcicos / carbonatado-magnésicos transformados diagenéticamente a calcita, correspondientes a Unidad Intermedia. Esta unidad presenta una deposición con carácter diacrónico sobre la citada superficie, reflejándose en los sectores más centrales de la cuenca los eventos más modernos de colmatación de la misma.

Asimismo, el paso en la vertical de Unidad Inferior a Intermedia en los sectores noroccidental y suroriental de la cuenca queda marcado como una significativa transición litológica y un cambio de la evolución sedimentaria, que se acompaña de una fase de progradación de facies de abanico aluvial hacia el centro de la cuenca representada hacia el techo de sectores marginales de Unidad Inferior.

En Calvo *et al.* (1993) se indica la existencia de una pauta general similar de evolución vertical de la sedimentación (tanto en depósitos aluviales como lacustres) en una gran parte de las cuencas terciarias ibéricas. En las cuencas del Ebro, Duero y Tajo ha sido identificada una evolución secuencial a lo largo del Neógeno marcada por progradaciones y retrogradaciones de sistemas aluviales característicos de margen de cuenca. Por ello, muchas de las grandes rupturas sedimentarias reconocibles en las principales cuencas ibéricas presentan un equivalente en cuencas de menor entidad, como es la Cuenca de Calatayud. En varias de esas cuencas, la generación de rupturas se ha relacionado con una reactivación tectónica de los bordes de cuenca, o bien con el agotamiento de las áreas madre evaporíticas que estaban alimentando la formación de nuevos sistemas lacustres salinos durante el Mioceno Inferior (Calvo *et al.*, 1989; Anadón *et al.*, 1989).

Unidad Intermedia

Básicamente, se encuentra representada en sectores centrales-meridionales de la cuenca por facies de yeso laminado primario en alternancia con carbonatos magnésicos (magnesita y dolomita), presentando potencias de afloramiento cercanas a los 120 m, donde se reconoce una evolución general en la vertical desde materiales evaporítico-carbonatados hacia fundamentalmente carbonatados con influencia de siliciclásticos finos. Hacia sectores de mayor marginalidad en la cuenca, se pasa fundamentalmente a materiales de naturaleza dolomítica, margo-dolomítica, y caliza, que acumulan aún mayores potencias, quedando en ocasiones confinados entre abánicos aluviales. Las menores potencias de la Unidad Intermedia se presentan en los sectores más centrales de la cuenca con potencias inferiores a los 30 m.

La Unidad Intermedia aumenta su complejidad con la existencia de cuerpos formados por carbonatos diagenéticos compuestos por calcita, que pueden llegar a alcanzar hasta 55-60 m de potencia, y que son el producto de un reemplazamiento de facies laminadas de yeso primario/carbonato magnésico, extendiéndose por gran parte de los sectores orientales, occidentales y centrales de la cuenca

La ruptura sedimentaria existente entre la Unidad Intermedia y la Unidad Superior se encuentra marcada por una importante superficie erosiva desarrollada sobre facies carbonáticas del techo de la Unidad Intermedia, que zonalmente poseen rasgos paleokársticos, y que es fosilizada por un importante sistema fluvial-aluvial de la base de la Unidad Superior, reconocible en una buena parte de la cuenca. Esta ruptura sedimentaria parece ser generalizada en la mayoría de las cuencas terciarias más importantes de la Península Ibérica (Ebro, Duero, y Tajo), representando importantes cambios paleogeográficos y reflejando un cambio mayor en los esfuerzos tectónicos que afectan a la microplaca ibérica (Calvo *et al.*, 1993).

Unidad Superior

Compuesta por facies terrígeno-carbonáticas, aflora en el interfluvio de los ríos Jiloca y Perejiles. Se diferencian tres tramos dentro de esta unidad (Sanz-Rubio *et al.*, 1996); un tramo basal integrado por facies terrígenas aluviales-fluviales; un tramo intermedio formado por facies tobáceas; un tramo superior compuesto de facies carbonáticas laminadas (tobas de caráceas con gasterópodos y ostrácodos). El tramo basal presenta potencias de afloramiento que oscilan entre los 5 y los 65 m, mientras que los tramos carbonáticos intermedio y superior oscilan entre los 20 y 80 m, con acumulación de las mayores potencias en áreas afectadas por procesos de subsidencia sinsedimentaria (Sanz-Rubio *et al.*, 1995; 1997).

1. 2. CRONOLOGÍA DE LAS UNIDADES

Como se expuso en el apartado de antecedentes, la Cuenca de Calatayud-Teruel alberga numerosos hallazgos de yacimientos paleontológicos (macro y micromamíferos), que proporcionan una información vital para la construcción de la cronoestratigrafía de la cuenca. En concreto, en el área de estudio (Cuenca de Calatayud s.s.), la prospección de nuevos yacimientos paleontológicos en el marco de esta tesis y de los correspondientes proyectos de investigación de la D.G.I.C.Y.T. ha sido utilizada como complemento de la información anteriormente publicada. La unificación de todos estos datos proporciona la consecución de uno de los principales objetivos de este trabajo: la confección de un cuadro crono y litoestratigráfico detallado del relleno neógeno de la Cuenca de Calatayud. En la presente Tesis Doctoral se ha usado la bioestratigrafía de De Bruijn *et al.* (1990) con la salvedad de haber incorporado las decisiones alcanzadas en

Salzburgo en el año 1995, consistentes en la extensión de la Unidad MN5 abarcando la antigua MN4b, como ya quedaba patente con anterioridad en Mein (1990).

La distribución de los diferentes yacimientos paleontológicos en el sector estudiado para los depósitos de las Unidades Inferior y Intermedia se relaciona con cinturones de facies marginales adosados a los bordes de cuenca, o con facies de transición desde abanicos aluviales a sedimentos lacustres; Los yacimientos paleontológicos de Unidad Inferior-Intermedia se concentran de forma abundante en los sectores de Armantes-Torralba y Villafeliche, mientras que los sectores entre las localidades de Munébrega y La Vilueña, en el margen occidental, y entre Mara y Miedes en el margen suroriental se caracterizan por una aparición puntual. (Fig. 3.1). Sin embargo, a pesar de la abundancia general de yacimientos, hay áreas cuyos sedimentos carecen de ellos y no han podido ser datados directamente, sino por sus relaciones estratigráficas con depósitos infra y suprayacentes; así, aún queda por llegar a una datación precisa de las unidades miocenas en sectores del margen oriental de la cuenca (desde Torralba de Ribota hasta Mara), así como de amplios sectores evaporíticos en posiciones centrales de la cuenca (área desde Paracuellos de Jiloca a Torres).

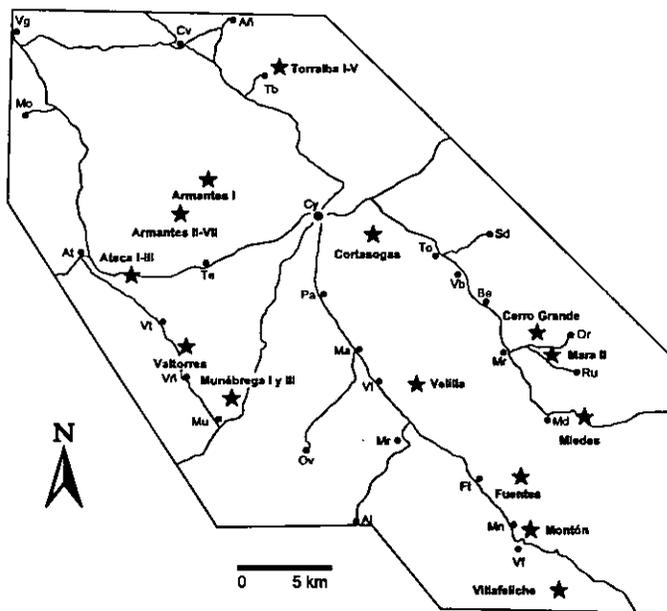


Figura 3.1. Mapa de distribución de yacimientos paleontológicos de la Cuenca de Calatayud.

Para la Unidad Superior, debido a la inexistencia de registro sedimentario adecuado en áreas marginales de cuenca, los yacimientos paleontológicos se encuentran en el interfluvio de los ríos Jiloca y Perejiles en relación con las facies terrígenas de la red fluvial previa a la sedimentación de los tramos carbonatados de esta unidad, o en depósitos canalizados dentro de estos últimos (Fig. 3.1).

El control cronológico de las Unidades Litoestratigráficas definidas en la cuenca ha sido obtenido a partir de yacimientos y grupos de yacimientos clásicos de la cuenca (De Bruijn, 1967; Boné *et al.*, 1979; Canudo y Cuenca, 1989; Andrés *et al.*, 1992 y, Adrover y Mein en las Hojas MAGNA 1:50.000 437-438 en 1980-1981), así como los nuevos yacimientos localizados durante el transcurso de la Tesis Doctoral (Fig. 3.2). A pesar de todo, se carece de yacimientos paleontológicos que daten con precisión la edad o el valor temporal de las

discontinuidades en diferentes puntos de la cuenca. Con ello, la datación obtenida para las Unidades Litoestratigráficas mayores es la siguiente (Fig 3.3):

		Zonas locales	Zonas MN	
RUSCI- NIENSE			15	
			14	
TUROLIENSE	S.r.		13	
	P.b.		12	
	P.l.	Yac. Carrasogas	11	
VALLE- SIENSE	P.h.		10	
	I		9	
ARAGONIENSE	SUPERIOR	3	YAC. MEDES	7/8
		G		
		2		
		1		
	F	Mara II Armantes VII- VIII Montón	YAC. VILAFELICHE	6
	E	Armantes III-IV		
	d			
	c			
MEDIO	D	Torralba Ribota b Armantes I a Munébrega I-III	5	
	INFERIOR	C	La Vilueña Valtorres	4
B				
RAMBLIENSE	A	Ateca I-III	3	
	Z			
			2b	

P.h.=Progonomys hispanicus
P.l.=Parapodemus lugdunensis
P.b.=Parapodemus barbarae
S.r.=Stephanomys ramblensis

-Unidad Inferior: la parte más inferior

de esta unidad no ha podido ser datada directamente, pero en virtud de las notables potencias de facies halítico-anhidríticas de los sondeos de Paracuellos de Jiloca y Cifuentes, y teniendo en cuenta que las facies de afinidad evaporítica aflorantes más antiguas datan del Ramblense Superior (yacimiento Ateca III), se puede deducir que muy posiblemente la deposición de esta unidad comienza ya en el Paleógeno (Oligoceno?). Los últimos yacimientos paleontológicos que datan la edad de las evaporitas de Unidad Inferior son los de La Vilueña y Valtorres (MN4, zona local C, Aragoniense Inferior), mientras que los primeros yacimientos de la Unidad Intermedia son los de Munébrega (MN5, zona D, Aragoniense Medio). Sin embargo, esta datación del techo de la Unidad Inferior posee un carácter local, ya que se ha realizado en el sector occidental de la cuenca, desconociéndose la edad

Figura 3. 2. Cuadro cronológico con edad de yacimientos e intervalos temporales de grupos de yacimientos de la Cuenca de Calatayud, en el que se adoptan las decisiones alcanzadas en Salzburgo en el año 1995, consistentes en la extensión de la Unidad MN5 abarcando la antigua MN4b.

de los materiales evaporíticos del centro de la cuenca. Con estos datos, obtenemos una edad Oligoceno?-Aragoniense Medio para la Unidad Inferior, aunque no se conoce con certeza el momento en que finaliza la sedimentación evaporítica de la unidad en el centro de la cuenca, ya que además el techo de la unidad se encuentra afectado por una superficie de paleokarstificación desarrollada sobre materiales que probablemente presentan distinta edad en los márgenes y centro de la cuenca, como se verá en el capítulo 8.

- **Unidad Intermedia:** la base de esta unidad queda bien definida sobre las facies correspondientes al evento de progradación de abanicos aluviales de Unidad Inferior, que puede ser localizado en gran parte de la cuenca. Así, la unidad queda infradatada por los yacimientos de Torralba de Ribota y Armantes I en el sector NO de la cuenca y por los de Munébrega en el margen occidental (MN5, zona local D, Aragoniense Medio), si bien dado el carácter diacrónico de la sedimentación de la misma sobre la superficie paleokárstica, puede existir un margen de fluctuación en el centro de la cuenca. Los yacimientos de Armantes, Mara, Miedes y Montón datan materiales comprendidos en esta unidad, aunque

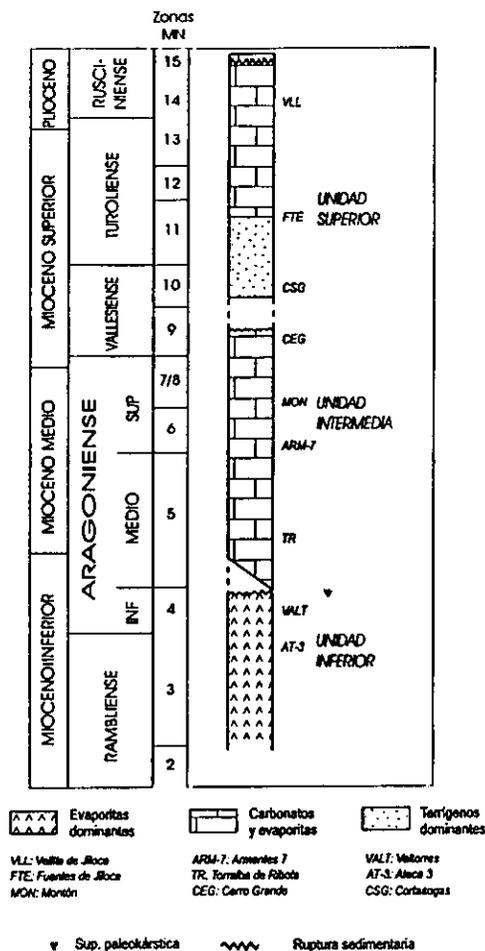


Figura 3. Cuadro resumen de la litoestratigrafía del Neógeno del sector central de la Cuenca de Calatayud.

la datación del techo de la misma presenta algunas dificultades, ya que los yacimientos paleontológicos son escasos, y el material fósil es poco diverso y reducido. En función de la edad proporcionada por el yacimiento de Cerro Grande (Vallesiense Inferior), las relaciones estratigráficas con los materiales suprayacentes, con un yacimiento en el Barranco de Cortasogas atribuible al Vallesiense Superior, y el desconocimiento del intervalo temporal que representa la superficie erosiva entre Unidad Intermedia y Unidad Superior, indicamos una edad Aragoniense Medio-Vallesiense para la unidad, con una fluctuación del techo de la misma entre las zonas MN9 y MN10.

- Unidad Superior: esta unidad ha sido infradatada en función de los yacimientos más antiguos asociados al tramo aluvial-fluvial (yacimientos de Cortasogas). Los yacimientos de Fuentes de Jiloca datan los materiales carbonatados de la unidad, y son supradatados mediante los yacimientos más modernos de Velilla de Jiloca, y las relaciones estratigráficas con las unidades pliocenas del SE del área de estudio. Con estos datos, proporcionamos una edad Vallesiense Superior-Rusciniense Inferior para esta unidad.

2. DISTRIBUCIÓN EN SUBUNIDADES

Dentro de las tres unidades litoestratigráficas mayores del relleno neógeno de la Cuenca de Calatayud, se han distinguido una serie de subunidades sedimentarias de carácter informal, para el establecimiento de las relaciones de facies y que se asocian a un medio deposicional y paleoambiente concreto. El número de subunidades establecidas por cada unidad litoestratigráfica es proporcional al grado de complejidad de la misma; así, hemos distinguido un total de 18 subunidades para el conjunto de la cuenca, distribuidas en 5 subunidades para Unidad Inferior, 10 subunidades para Unidad Intermedia y, finalmente, 3 subunidades para Unidad Superior (Fig. 3.4). En esta distribución destaca por su complejidad la Unidad Intermedia, en donde, como se verá más adelante la paleogeografía condiciona la formación de ambientes deposicionales muy diversos, con múltiples relaciones de facies con otras subunidades o formando, en

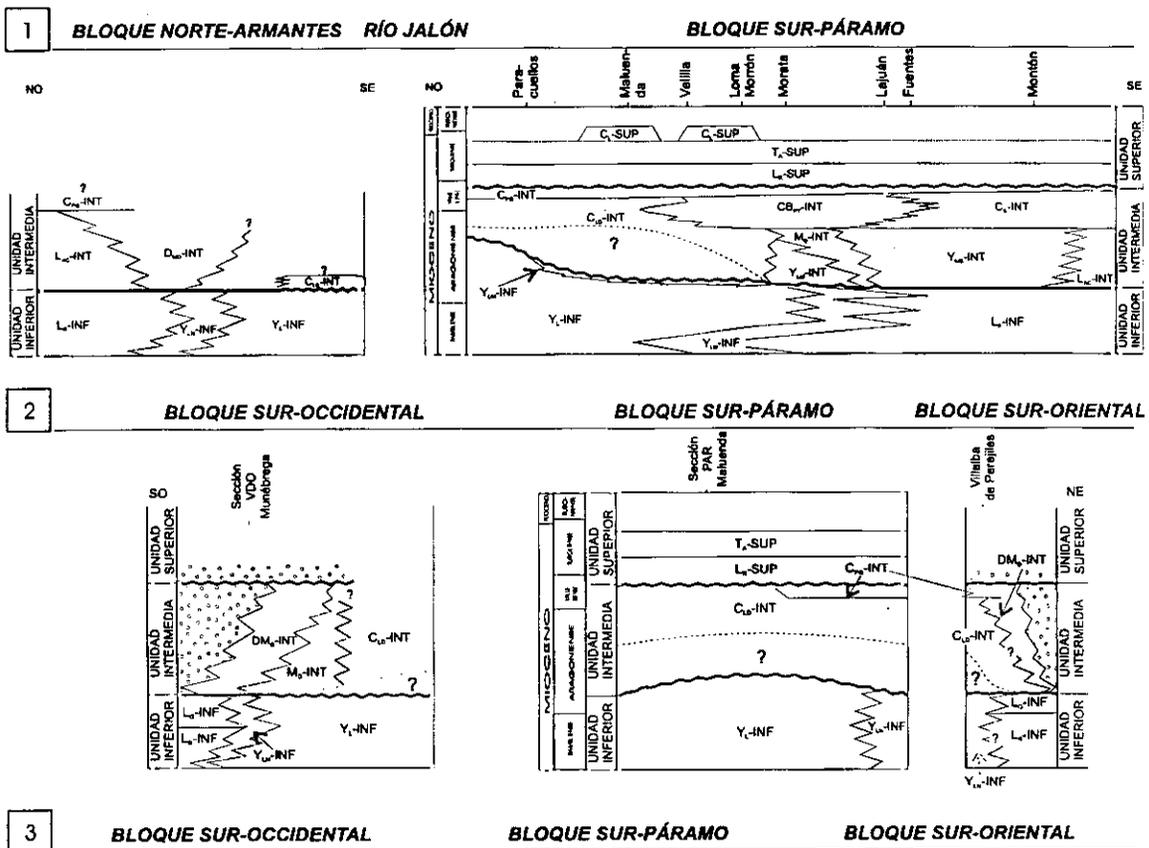
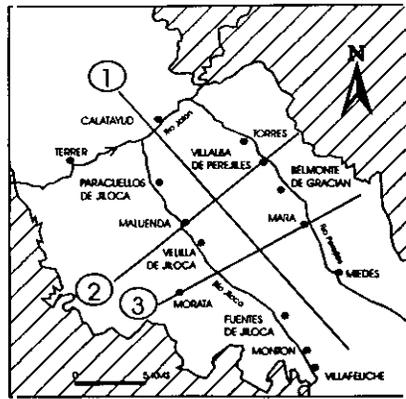


Figura 3. 4. Cuadros estratigráficos con las relaciones entre las subunidades sedimentarias del Neógeno de la Cuenca de Calatayud.

su caso, subambientes deposicionales desligados del conjunto. Las distintas subunidades distinguidas se han marcado con una notación especial, en que las iniciales en mayúsculas reflejan las litologías dominantes, mientras que los subíndices reflejan atributos importantes para su reconocimiento inmediato. Tras el guión, se indica con las abreviaturas INF, INT y SUP la unidad litoestratigráfica en que se incluyen.

SUBUNIDADES DE LA UNIDAD INFERIOR

L _R -INF	Lutitas y limos rojos con nódulos de yeso
L _G -INF	Limos y lutitas grises-ocres con aragonito
Y _{LN} -INF	Yesos laminado-nodulares
Y _L -INF	Yesos laminados
Y _{LM} -INF	Yesos laminados con magnesita

SUBUNIDADES DE LA UNIDAD INTERMEDIA

Y _{LM} -INT	Yesos laminados con magnesita
Y _{MB} -INT	Yesos mesolenticulares bioturbados
M _D -INT	Margas dolomíticas con yeso laminado
CB _{PY} -INT	Calizas brechoides, calizas con pseudomorfos de yeso lenticular, y calizas palustres
C _{LD} -INT	Calizas laminadas diagenéticas
DM _D -INT	Dolomías y margas dolomíticas
LA _C -INT	Lutitas, limos y areniscas con calizas
LM _{DB} -INT	Lutitas y margas dolomíticas bioturbadas
C _B -INT	Calizas bioclásticas, palustres y tobas de caráceas
C _{PG} -INT	Calizas palustres con gasterópodos

SUBUNIDADES DE LA UNIDAD SUPERIOR

L _R -SUP	Lutitas y limos rojos con conglomerados silíceos y oncolíticos
T _A -SUP	Tobas autóctonas y depósitos de removilización tobácea
C _L -SUP	Calizas laminadas de caráceas y gasterópodos

3. ESTRATIGRAFÍA DE LA UNIDAD INFERIOR

3. 1. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS FACIES EVAPORÍTICAS

Las facies evaporíticas aflorantes de la Unidad Inferior presentan una distribución espacial marcada por una morfología subcircular a oval según la dirección del eje principal de la cuenca (NO-SE). Según esta directriz, los cambios de facies entre litofacies terrígenas y evaporíticas son espaciados y graduales, aunque hacia los márgenes oriental y occidental de la cuenca, son rápidos y netos, como ha sido reflejado por Bomer (1960), reflejando una acusada asimetría de los cinturones de facies.

En este trabajo, denominamos Unidad Inferior a la suma de las potencias de afloramiento de las facies evaporíticas, y las correspondientes a las facies halítico-anhidríticas encontradas en sondeo. El conocimiento de la geometría de los depósitos de Unidad Inferior de la Cuenca de Calatayud en profundidad, resulta bastante reducido. En otras cuencas terciarias ibéricas, la realización de sondeos de investigación de recursos salinos ha contribuido a un conocimiento básico de la arquitectura deposicional y composición de las facies salinas (Ordóñez y García del Cura, 1994; Salvany y Ortí, 1994). En el caso de la Cuenca de Calatayud se dispone aún de un volumen de datos de subsuelo insuficiente para la comprensión global de las relaciones de facies y de los materiales que las comprenden; sin embargo, ha sido posible recopilar información, tanto publicada como perteneciente a empresas mineras (Marín, 1932; Informe para la J.E.N de Tena *et al.* (1979); información de MYTA y TOLSA), que hace factible la posibilidad de teorizar sobre la arquitectura deposicional del relleno terciario en el subsuelo de la cuenca.

3. 2. EL SUBSUELO DE LA CUENCA

3. 2. 1. LOS SONDEOS DE CIFUENTES Y PARACUELLOS DE JILOCA

La realización de sondeos profundos en el centro de la cuenca (Marín, 1932) a mediados de la primera mitad de siglo constituye un eje fundamental para la elaboración de modelos deposicionales y evolución de la Unidad Inferior. La finalidad de los mismos era la investigación de sales potásicas, y con este objetivo se buscaban cuencas terciarias que presentaran alguna semejanza con el Oligoceno del sector catalán de la Cuenca del Ebro. En concreto, se realizaron dos sondeos en sectores centrales de la cuenca en las vegas del Jiloca y Jalón; el más potente (1165 m de profundidad) fue ubicado en el paraje denominado Cifuentes que, en función de mapas topográficos antiguos, pensamos se situaba en la confluencia de las vegas del Jalón y Jiloca, y otro, de 600 m, probablemente frente a la localidad de Paracuellos de Jiloca. Los testigos de los sondeos no han podido

ser recuperados y toda la información se reduce a lo publicado por Marín (1932). Los materiales cortados en ambos sondeos presentaron gran similitud (Fig. 3.5) con una importante potencia de depósitos ricos en anhidrita-halita, si bien, en el de Paracuellos de Jiloca, la riqueza y la potencia de los depósitos de halita fue mayor. La aparición en el sondeo de Cifuentes de unas margas arenosas con cantos de cuarcita y pizarra llevó a los investigadores a pensar que se estaba alcanzando el substrato paleozoico con la consiguiente paralización del sondeo.

SONDEO DE CIFUENTES (1170 m)

SONDEO DE PARACUELLOS DE JILOCA (600 m)

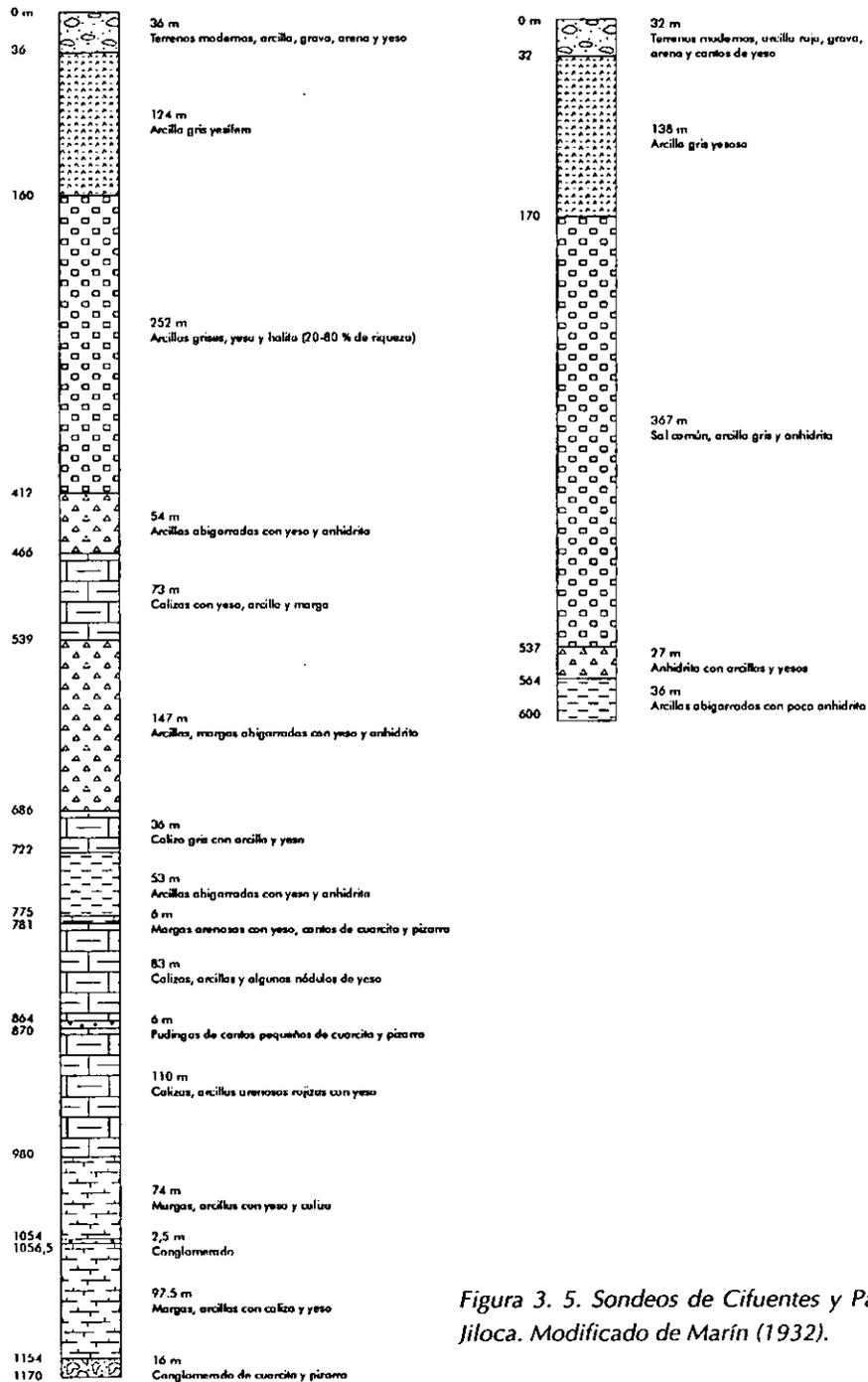


Figura 3. 5. Sondeos de Cifuentes y Paracuellos de Jiloca. Modificado de Marín (1932).

3. 2. 2. LOS SONDEOS DEL P.I. CRISTINA (MYTA)

Por otra parte, la empresa MYTA ha cedido la información procedente de sondeos de investigación realizados en diversos sectores de la cuenca; además de los sondeos de delimitación de los niveles sepiolíticos, que MYTA explota y trata posteriormente en la factoría que posee en las cercanías de Orera, la empresa, dentro de las labores de investigación de depósitos de sulfato cálcico en la cuenca, ha realizado también sondeos en el área de Olivés y en el Sur de la Sierra de Armantes. El sondeo de Olivés, superior a los 100 m de profundidad, registró resultados negativos en cuanto a la existencia de facies evaporíticas en el subsuelo, siendo predominantemente terrígeno. La información más importante es la referente a los sondeos realizados en el sector NO de la cuenca (Sur de la Sierra de Armantes) en los años 1988-89, durante la concesión del Permiso de Investigación Cristina (Fig. 3.6).

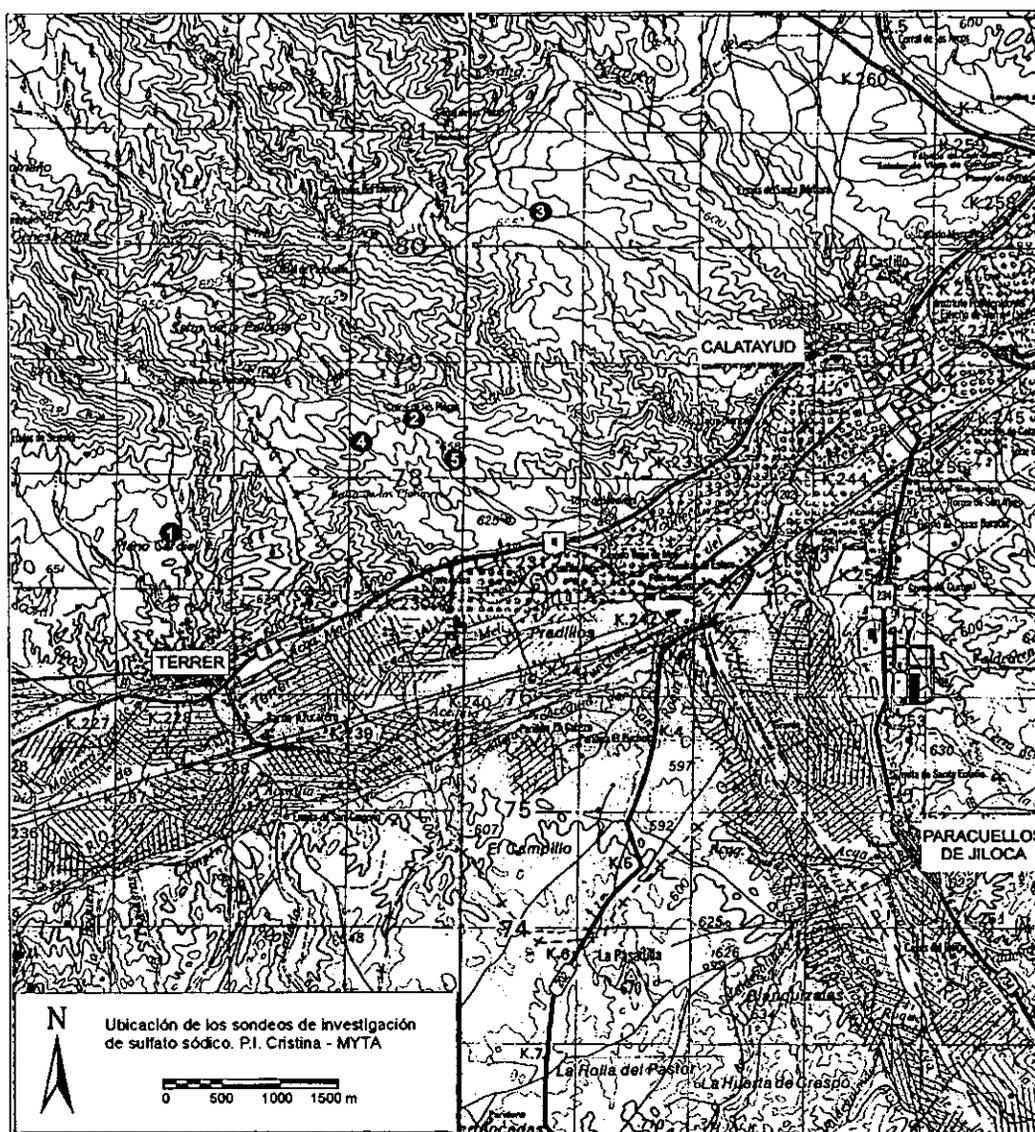


Figura 3. 6. Ubicación en el sector Sur de la Sierra de Armantes de los sondeos de investigación de sulfato sódico del P.I. Cristina de MYTA.

El resultado de los sondeos fue la localización de importantes volúmenes de sulfato sódico cuya explotación fue desestimada después de su evaluación como yacimiento. Se conoce la información de 4 sondeos, de un total de 5 realizados en las facies evaporíticas de este área:

Sondeo	Profundidad (m)	Techo	Muro
Sondeo-1	89.3	640	550.7
Sondeo-2	101.5	655	553.5
Sondeo-3	90.2	650	559.8
Sondeo-5	63.7	640	576.3

La descripción de los sondeos es la siguiente (Fig. 3.7):

SONDEOS DE INVESTIGACION DE SULFATO SODICO P.I. CRISTINA - MYTA

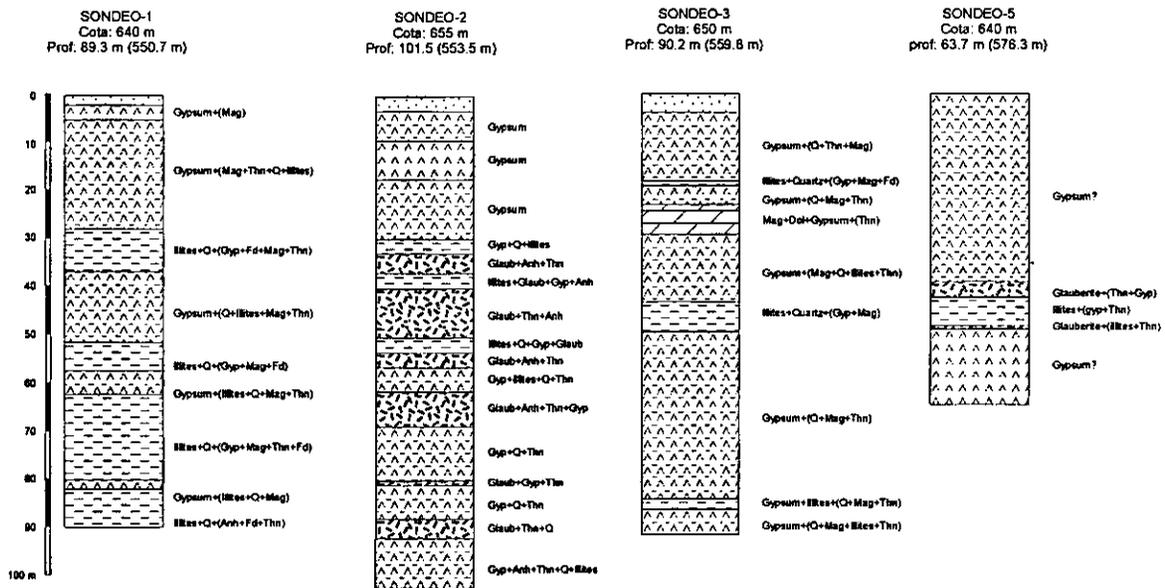


Figura 3. 7. Sondeos de investigación de sulfato sódico (MYTA) en el sector Sur de la Sierra de Armantes.

Sondeo-1 (frecuencia de muestreo: 1 muestra cada 2 m)

El sondeo está localizado en el paraje denominado Plano Cardiel, y los materiales cortados en profundidad muestran la existencia de interdigitaciones entre facies evaporíticas y terrígenas (lutitas), representando una zona de cambio de facies. Se distinguen al menos tres episodios con clara influencia terrígena (fundamentalmente illita y cuarzo): entre los 29-34 m, 52-56 m, y 62-89.3. El yeso es la fase mineral mayoritaria

en la columna del sondeo. Como minerales secundarios se encuentra magnesita, feldspatos, cuarzo, yeso, y thenardita-anhidrita; estas últimas comienzan a aparecer debajo de los primeros 8 y 6 m de sondeo, respectivamente.

Sondeo-2 (frecuencia de muestreo: 1 muestra cada 1 m)

El sondeo ha sido realizado cerca del paraje denominado Corral de las Planas, siendo el de mayor profundidad (101,5 m). Se encontraron varios niveles de orden métrico con sulfato sódico susceptible de ser explotado. Las mineralogías encontradas en el sondeo son básicamente yesíferas hasta unos 26 m de profundidad, momento en el que comienzan a aparecer sulfatos sódicos, tanto en forma de glauberita como thenardita, que se acompañan de anhidrita. En este sondeo se encontraron tramos con sulfato sódico llegando hasta un 42% de riqueza media. La ubicación de este sondeo, en áreas menos marginales dentro del sistema evaporítico, se refleja en una menor existencia de tramos terrígenos. Se detectan illitas, cuarzo y magnesita como accesorios. En profundidad, los niveles yesíferos tienden a asociarse con thenardita. En este sondeo se aprecian 6 tramos métricos glauberíticos (entre 32,1-36,1, 39,1-49,1, 52,1-55,1, 60,1-66,1, 77,1-78,1, y 85,1-89,1 m de profundidad) que presentan una asociación característica de glauberita-thenardita-anhidrita, mientras que, en los niveles yesíferos, la asociación es de yeso-glauberita-thenardita-anhidrita y cuarzo. El contenido en cloruros es muy bajo para todo el sondeo (1-2%) pero en los niveles glauberíticos aumenta hasta niveles próximos al 4%.

Sondeo-3 (frecuencia de muestreo: 1 muestra cada 2 m)

Sondeo realizado en un paraje algo más cercano a la localidad de Calatayud que el precedente. Presenta muchas similitudes con el sondeo-1, siendo el yeso el componente mayoritario y, como secundarios el cuarzo, magnesita y thenardita (que aparece por debajo de los primeros 5 m de sondeo). Se distinguen pequeños tramos arcillosos a lo largo de todo el sondeo. Se han cortado niveles de dolomías, así como de calcita y magnesita, de forma menos importante.

Sondeo-5 (Se desconoce la frecuencia de muestreo).

La información del sondeo es parcial ya que gran parte de la columna del sondeo no ha sido representada. Se observa en ella la existencia de un tramo con glauberita, a unos 39 m de profundidad, con dos niveles de 2,15 m y 0,3 m, y otro de 0,9 m a 47,5 m de profundidad. La glauberita ha sido encontrada en asociación con yeso y thenardita. Se puede realizar a una correlación entre el nivel de 10 m del sondeo-2 y el de 2,15-0,3 m del sondeo-5 y, por otra parte, entre el de 3 m del sondeo 2 y el de 0,9 m del sondeo-5. Los restantes tramos glauberíticos quedan acuñados hacia el centro de la cuenca.

3. 2. 3. LOS SONDEOS DEL P.I. VALDEZANCO (TOLSA)

Por último, la empresa de investigación minera TOLSA realizó 6 sondeos mecánicos con recuperación de testigo continuo con un total de 161,8 m dentro del Permiso de Investigación "Valdezanco", en 1993. Este permiso, situado en la falda Sur de Armantes, se obtuvo con motivo de la caducidad del Permiso de Investigación Cristina propiedad de MYTA. Sin embargo, la finalidad de los mismos era la prospección de sepiolita-paligorskita, después de haber comprobado su existencia en diversas catas y secciones realizadas. No se atravesaron en ningún momento facies evaporíticas, siendo la profundidad de los sondeos demasiado escasa como para proporcionar información de la extensión de facies evaporíticas en el subsuelo.

3. 2. 4. LOS SONDEOS DE LA JUNTA DE ENERGÍA NUCLEAR

Como información complementaria, la Junta de Energía Nuclear realizó dos sondeos (con potencias superiores a los 200 m de profundidad) en facies terrígenas en posición marginal a las facies evaporíticas de Unidad Inferior en el sector Norte de la Sierra de Armantes. Todos los materiales testificados corresponden a facies arcillosas, limosas, arenosas y microconglomeráticas, describiéndose un aumento de los materiales clásticos más groseros hacia la base de los sondeos. No se detectaron en ninguno de los casos indicios de facies evaporíticas.

3. 3. LAS FACIES TERRÍGENAS MARGINALES A LAS EVAPORITAS

Aunque el estudio de facies terrígenas no constituye uno de los objetivos de esta Tesis Doctoral, se realiza una descripción somera de estas facies geoméricamente relacionadas con las facies evaporíticas hacia los márgenes de cuenca. Una gran parte de los materiales terrígenos que actualmente se encuentran adosados a los bordes de cuenca, pertenecen a la Unidad Inferior, ya que las facies terrígenas correspondientes a la Unidad Intermedia y Superior afloran de forma parcial, debido principalmente a que han sido erosionadas. Las siguientes descripciones han sido realizadas básicamente en Unidad Inferior y en algunos casos, donde los afloramientos lo han permitido, en la Unidad Intermedia, si bien, las diferencias entre ambas facies no son demasiado notorias.

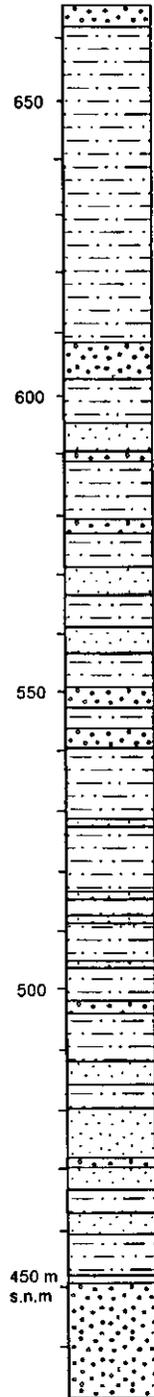
3. 3. 1. FACIES CONGLOMERÁTICO-ARENOSAS

Las facies terrígenas que se relacionan en cambio lateral de facies con las facies evaporíticas de Unidad Inferior o con las orlas carbonatado-dolomíticas de Unidad Intermedia, se componen de brechas, conglomerados, areniscas, limos y lutitas,

formando una sucesión con paso transicional desde términos groseros en los márgenes de cuenca hacia términos de menores granulometrías en áreas centrales. Los

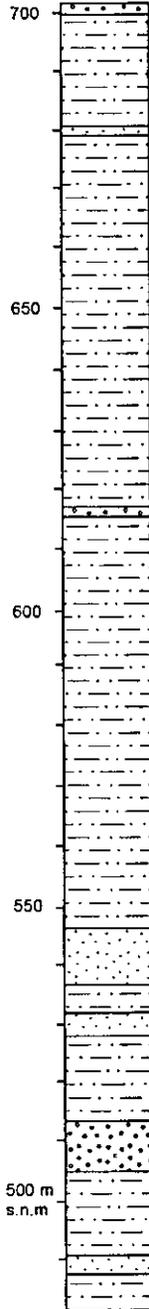
SONDEO 409-1

Long: 6.05.75 (U.T.M.)
 Lat: 45.85.35 (U.T.M.)
 Cota: 665 m
 Profundidad alcanzada: 232 m



SONDEO 409-2

Long: 6.02.30 (U.T.M.)
 Lat: 45.84.65 (U.T.M.)
 Cota: 712 m
 Profundidad alcanzada: 220 m



Areniscas
 Conglomerados
 Lutitas y lutitas arenosas

Figura 3.8. Sondeos realizados por la Junta de Energía Nuclear en facies terrígenas del sector Norte de la Sierra de Armantes. Modificado de Tena et al. (1979).

conglomerados y brechas son característicos de los márgenes de cuenca; sus cantos son subredondeados a subangulosos, heterométricos, y su origen son básicamente los materiales paleozoicos silíceos, mientras que los cantos carbonáticos de procedencia mesozoica sólo se han reconocido en contadas ocasiones en el sector nor-oriental de la cuenca. El tránsito a las zonas internas de la cuenca supone un progresivo incremento de las facies de grano más fino; los niveles conglomeráticos cobran morfología lenticular o planar de poca extensión y de 1,5 a 2 m de potencia. Como se ha indicado con anterioridad, la Junta de Energía Nuclear realizó dos sondeos de más de 200 m de profundidad (Tena et al., 1979) cada uno (Sondeo 409-1 y Sondeo 409-2; ver Fig. 3.8) al pie de la falda Norte de Armantes, en los que solamente se cortaron facies de este tipo. Así, en el informe realizado por Tena et al. (1979) para la J.E.N. se indica que los materiales cortados en ambos sondeos responden a lutitas, lutitas arenosas rojas, margas lutíticas, areniscas, y conglomerados con clastos de grano medio a fino. Se describe un incremento relativo de los términos arenosos y microconglomeráticos hacia la base. Las areniscas son predominantemente de grano medio aunque existen todos los términos posibles, desde grano

fino a microconglomerático. Su composición es polimíctica (cuarzo monocristalino y policristalino, fragmentos de roca metamórfica, y calizas) y son claramente heterométricas, con matriz arcillosa y cemento carbonático. Entre los fragmentos de rocas metamórficas, se encuentran clastos de composición cuarcítica, esquistos ferruginosos con alto grado de oxidación, y pizarras. Las rocas carbonáticas, de origen clástico, procedentes de rocas mesozoicas, son biomicritas, calizas oolíticas, y esparíticas. El sondeo 409-2 se caracteriza por una mayor presencia de carbonato detrítico, alcanzando en alguna ocasión un porcentaje superior al 20% de la muestra. Como minerales accesorios, se encuentran óxidos de hierro, feldespato potásico, turmalina, circón, moscovita y plagioclasa.

3. 3. 2. FACIES ARENOSAS CEMENTADAS POR YESO

Esta facies está básicamente compuesta por términos arenosos y limosos que se organizan en tramos de base irregular de unos 1,5 m, con niveles aislados de gravas de escasa continuidad lateral. Las areniscas se caracterizan por colores rojos a ocre existiendo toda clase de términos granulométricos; son generalmente heterométricas, polimícticas y pobremente seleccionadas. El componente mayoritario es el cuarzo (monocristalino) y como componentes secundarios aparecen los fragmentos de roca metamórfica (pizarra y cuarcita) y feldespato potásico. La presencia de carbonatos en estas areniscas resulta accidental, siendo patente sólo en el sector noroccidental del área de estudio, donde poseen una procedencia mesozoica, aunque en términos cercanos a los depósitos evaporíticos pueden localizarse clastos de naturaleza magnesítica. Los filosilicatos son principalmente moscovita, illita, caolinita y, como accesorios, biotita y clorita. La morfología de los granos de cuarzo varía desde términos subangulosos a subredondeados. La matriz de las areniscas suele ser carbonática, calcítica hacia los márgenes de cuenca y dolomítica en sectores más internos con presencia frecuente de trazas de raíces. Los niveles de cementación de areniscas suelen ser bajos, con desarrollo de cementos calcítico-esparíticos circungranulares; en relación con la proximidad a las litofacies yesíferas, en sectores más centrales de la cuenca, se encuentran frecuentemente areniscas homométricas en niveles de morfología tabular, con laminación paralela, de hasta 30 cms de potencia. A nivel microscópico, estos niveles se caracterizan por una cementación yesífera consistente en cristales poiquilóticos de talla centimétrica que no presentan excesivas inclusiones e impurezas de origen terrígeno, aunque resulta destacable la abundancia de relictos de anhidrita. Sin embargo, en estos términos, el cuarzo es anguloso-subanguloso, con diámetros de grano entre 50-80 μm , y se han observado procesos de sericitización de feldespatos potásicos. El propio proceso de cementación del yeso parece ser el causante de un desplazamiento de los componentes terrígenos generando una textura flotante donde el yeso es porcentualmente mayoritario.

3. 3. 3. FACIES LUTÍTICO-LIMOSAS ROJAS

Esta facies está representada por lutitas y limos rojos de estructura masiva, o en ocasiones bioturbadas, con algunos niveles tabulares arenosos intercalados. Pueden presentarse interlaminaadas con arcillas verdes y grises, o margas magnesíticas con laminación paralela y restos vegetales flotados a nivel centimétrico. Excepcionalmente, se localizan niveles arcillosos oscuros ricos en restos de micro y macromamíferos. Las lutitas y limos se caracterizan por acompañarse de una gran cantidad de eflorescencias de epsomita, con presencia de nódulos de yeso aislados o coalescentes, y grandes venas de yeso fibroso. Localmente, se reconocen estructuras fibrosas y nodulares constituidas por mineralogía calcítica que simulan respectivamente venas de yeso fibroso y nódulos aislados de yeso. Los diques formados por calcita poseen una estructura interior de cristales fibrosos perpendiculares a la superficie de la vena, mientras que las estructuras nodulosas se componen de cristales fibroso-irradiados de calcita.

3. 4. DESCRIPCIÓN DE SUBUNIDADES DE UNIDAD INFERIOR

3. 4. 1. SUBUNIDAD DE LUTITAS Y LIMOS ROJOS CON NÓDULOS DE YESO (L_R-INF)

Localización y distribución de facies

Esta subunidad encuentra su mejor representación en sectores diametralmente opuestos del sector de estudio según la dirección longitudinal de la cuenca, reflejando una importante característica apuntada anteriormente: la asimetría de los cinturones de facies sedimentarias como respuesta a un diferente comportamiento de los bordes de cuenca. Se distribuye formando una aureola discontinua alrededor de las facies evaporíticas de la Unidad Inferior (Fig.3.9). En concreto, se localiza en el Noroeste del sector estudiado, al pie de la falda Sur de la Sierra de Armantes; en el sector occidental, se extiende aproximadamente entre los relieves con facies proximales de abanico aluvial de Ateca y la localidad de Terrer y, en menor medida, en el sector occidental, en las cercanías de la confluencia de la antigua carretera de Soria y la Nacional 234. De la misma forma, esta subunidad se encuentra representada bajo los materiales dolomíticos y margo-dolomíticos que forman los relieves de la Sierra de Armantes. También, en el Sureste del sector de estudio se encuentra formando la base de las series estratigráficas en el área delimitada por las localidades de Velilla, Morata, Fuentes de Jiloca, Olvés y Villafeliche.

En el valle del Río Jiloca, la información procedente de sondeos proporcionada por MYTA evidencia unos 100 m de facies de esta subunidad en las cercanías de la

localidad de Fuentes de Jiloca meganódulos de yeso alabastrinos de estructura fibroso-radiada con diámetros cercanos incluso a los 3 m (Collantes y Griffó, 1982).

Frecuentemente, se observan venas de yeso fibroso (*satinspar vein*) en asociación con el yeso nodular en encajantes lutíticos, siendo destacable su presencia en las cercanías de Terror y Velilla-Fuentes de Jiloca en forma de venas verticales-subverticales de hasta 5-7 cm de grosor que presentan gran continuidad. Por otra parte, la presencia de pequeñas venas de yeso fibroso horizontales o subhorizontales asociadas a niveles de discontinuidad entre tramos arcillosos constituye un rasgo muy común que se acentúa en relación con tramos de yeso laminado-nodular.

Hacia las áreas más internas de la cuenca, las facies lutíticas y limosas rojas pasan progresivamente a facies yesíferas, con un consiguiente enriquecimiento en niveles lutítico-margosos de color verde-grisáceo con presencia de finos niveles de magnesita y arcillas ricas en materia orgánica.

Relaciones con otras subunidades

Lateralmente hacia el centro de la cuenca, esta subunidad pasa rápidamente a la Subunidad de yesos laminado-nodulares Y_{LN-INT} , formada por facies de yeso secundario originado a partir de facies deposicionales anhídrico-yesíferas y glauberíticas, mientras que hacia los márgenes de cuenca se pasa de forma gradual a facies arenosas y conglomeráticas, y en segundo término a brechas silíceas adosadas a los bordes (Lámina I).

Sus relaciones en la vertical son más complejas en función de la situación en la cuenca; por lo general se dispone en el sector de Armantes bajo la Subunidad de lutitas, limos y areniscas con calizas (LA_C-INT), la Subunidad de dolomías y margas dolomíticas (DM_D-INT) y en el Sureste de la zona de estudio bajo la Subunidad de yesos laminados con magnesita (Y_{LM-INT}), la Subunidad de margas dolomíticas con yeso laminado (M_D-INT), la Subunidad de yesos mesolenticulares bioturbados (Y_{MB-INT}), y de nuevo la Subunidad de lutitas, limos y areniscas con calizas (LA_C-INT). Hacia los márgenes oriental y occidental de la cuenca, queda generalmente bajo la Subunidad de limos y lutitas grises-ocres (L_C-INT), o localmente (sector de Orera-Ruesca), bajo la Subunidad de dolomías y margas dolomíticas (DM_D-INT).

El sector Oeste de la Sierra de Armantes constituye un excepcional paraje para la observación de las relaciones de facies de esta subunidad con las restantes (Lámina I), apreciándose un marcado cambio de facies entre lutitas y limos rojizos por una parte, y lutitas verdes y grises con yeso laminado-nodular por otra hacia el centro de la cuenca; además queda patente el cambio de facies hacia el Noroeste de la cuenca a facies terrígenas más groseras.

3. 4. 2. SUBUNIDAD DE LIMOS Y LUTITAS GRISES-OCRES (L_C-INF)

Localización y distribución de facies

Esta compleja subunidad se encuentra representada en áreas pertenecientes a los márgenes oriental y occidental de la cuenca, (Fig. 3.10) donde forma un estrecho cinturón de facies de unos cientos de metros de anchura. Sin embargo, no se localiza en la dirección longitudinal de la cuenca. En el margen occidental, se extiende aproximadamente desde la ubicación del yacimiento paleontológico de Ateca III (o la Autovía de Barcelona) formando una franja muy estrecha hasta la localidad de Munébrega. Por el contrario, en el sector oriental, la subunidad se encuentra representada por afloramientos aislados cercanos al área de Sediles y frente a Villalba de Perejiles.

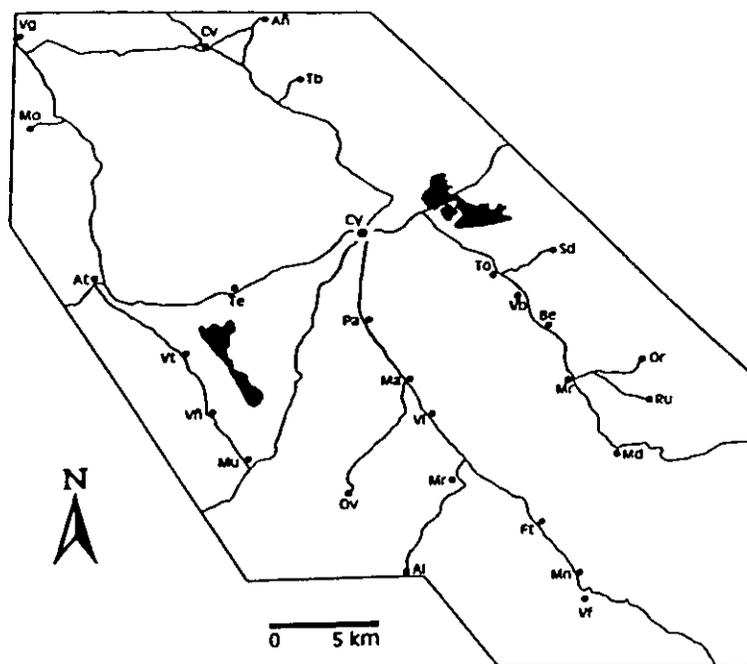


Figura 3. 10. Distribución geográfica de la Subunidad de limos y lutitas grises-ocres (L_C-INF).

Descripción

La potencia de afloramiento de esta subunidad resulta bastante reducida con valores que oscilan entre los 10-30 m, como queda patente en las secciones estratigráficas VÑA y SED, así como en la sección compuesta DEH, en las que se ha centrado el estudio sedimentológico. Esta subunidad se compone de arcillas y limos laminados de colores grises, ocres, anaranjados, amarillentos y violáceos que generalmente presentan una laminación muy bien marcada, con abundante presencia de restos vegetales flotados. La potencia de los niveles arcilloso-limosos puede alcanzar hasta 3 m, con intercalaciones de finos niveles tabulares centimétricos calcíticos, de color gris oscuro a negro, que engloban cristales de aragonito, que se presentan orientados de forma oblicua a la estratificación, formando una empalizada continua, o bien como esferulitos-agregados cristalinos aislados. Asociados a estos niveles, se encuentran frecuentemente rosetas de cristales lenticulares de yeso, así como

La representación de esta subunidad, especialmente en el margen occidental de cuenca, entre las localidades de La Vilueña y Valtorres ha favorecido el estudio de los cambios de facies entre terrígenos-materiales de transición-evaporitas, cuya observación resulta difícil en gran parte de la cuenca.

Desde los bordes, las facies clásticas caracterizadas por brechas y conglomerados con escasa matriz gradan con rapidez hacia sectores más internos a los limos y lutitas grises y ocre, apareciendo como tránsito niveles arenoso-limosos (de hasta 50 cm) frecuentemente encostrados por carbonato (dolomita) con algunas pasadas conglomeráticas (Fig. 3.12). Los niveles arenoso-limosos enriquecidos en dolomita presentan colores blancos y grises, base irregular y techo plano, evidencias de bioturbación intensa inducida por raíces, y constituyen niveles favorables para la localización de restos de micro-macromamíferos. En este sentido, el yacimiento de Valtorres (De Bruijn, 1967) queda ubicado en materiales similares a los descritos, al igual que el yacimiento de La Vilueña, localizado durante las labores de prospección en este área, en un tramo de arcillas-margas negras de morfología lenticular de aproximadamente 1,5 m de potencia intercalado en una serie de niveles arenoso-dolomíticos. Estos yacimientos permiten datar en este sector las facies evaporíticas adyacentes de Unidad Inferior.

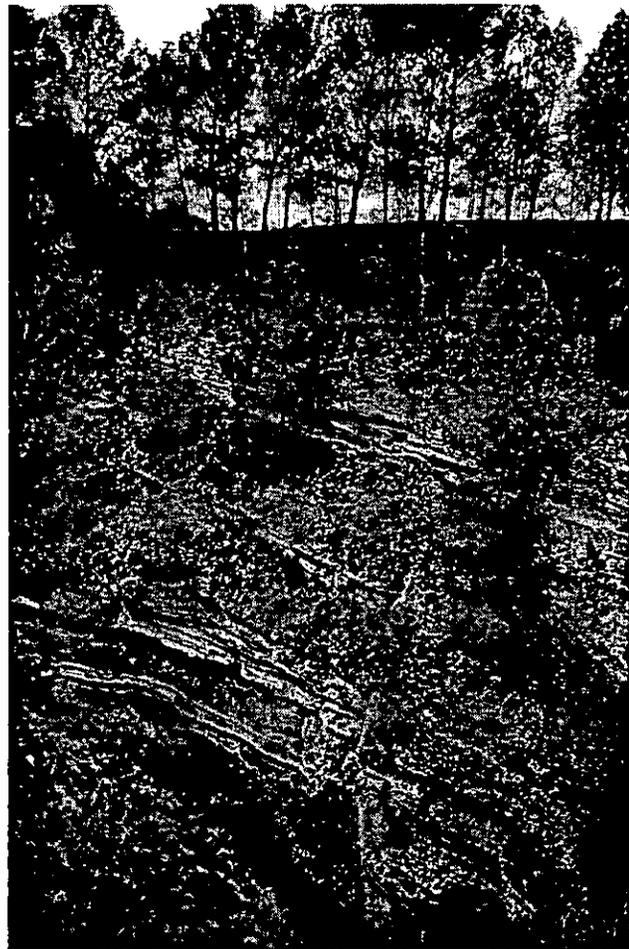


Figura 3.12. Niveles de arenas y limos cementados por dolomita con base irregular y techo plano.

Las facies de la Subunidad L_G -INF presentan una transición rápida y brusca hacia las facies yesíferas más internas de la cuenca (Lámina II.A), siendo remarcable la progresiva desaparición de los niveles encostrados por dolomita, que son sustituidos por los citados niveles centimétricos tabulares calcítico-aragoníticos. Usualmente asociados a la base de estos niveles, se encuentran laminaciones milimétricas de magnesita, margas magnesíticas, lutitas grises y negras (enriquecidas en materia orgánica) muy ricas en restos vegetales flotados. En concordancia con las estrechas franjas de facies descritas, la presencia de formaciones de yeso nodular es muy reducida, encontrándose pequeños

nódulos aislados de tamaño centimétrico o niveles de nódulos coalescentes que mantienen cierta continuidad.

Además, esta subunidad presenta una alta heterogeneidad a lo largo de los estrechos cinturones de facies en que se presenta; localmente, se observa una mejor representación de facies dolomíticas y dolomítico-margosas arenosas, unido a una escasez de los limos y lutitas grises y ocres característicos de la subunidad

Relaciones con otras subunidades

Esta subunidad, hacia los márgenes de cuenca pasa a facies clásticas groseras, mientras que hacia áreas internas grada con prontitud a la Subunidad de yesos laminado-nodulares (Y_{LN-INT}), que comprende yesos nodulares, yeso macro y mesocristalino con estratificación difusa.

Las relaciones en la vertical con otras subunidades son complejas debido a la ausencia de afloramientos con un registro sedimentario completo; aún así, en el área de La Vilueña-Valtorres se registra una tendencia hacia la expansión de las facies evaporíticas de Y_{LN-INT} sobre las de esta subunidad. Se encuentra sobre la Subunidad de lutitas y limos rojos con nódulos de yeso (L_R-INT). Por otra parte, en la localidad de Sediles, aparecen secciones de esta subunidad en estrecha relación con niveles de carbonato diagenético, más abundantes hacia techo, siendo coronada por carbonatos de la Subunidad de calizas palustres con gasterópodos (C_{PG-INT}), que constituye uno de los escasos niveles de correlación-referencia con el sector central de la cuenca.

3. 4. 3. SUBUNIDAD DE YESOS LAMINADO-NODULARES (Y_{LN-INT})

Localización y distribución de facies

Esta subunidad se encuentra básicamente representada en el sector Norte del área de estudio, en concreto entre el valle fluvial del Río Jalón y los relieves que forman la falda Sur de la Sierra de Armantes, extendiéndose en sentido transversal de la cuenca desde la localidad de Terror, hasta la carretera de Calatayud-Soria (N-234). Al Sur del Río Jalón, esta subunidad forma los tramos inferiores de las secuencias sedimentarias evaporíticas, con excepcionales afloramientos abiertos en taludes de la autovía Madrid-Barcelona. La marcada asimetría de los cinturones de facies se refleja en que su existencia hacia los márgenes occidental y oriental de la cuenca queda reducida a una franja de menor anchura y desarrollo que la existente en el sector de Armantes. Por último, en el SE de la cuenca, se encuentra formando la base de las secciones estratigráficas del sector comprendido entre Velilla-Morata de Jiloca y Mara (Fig. 3.13).

Descripción

El estudio sedimentológico de la subunidad se ha realizado básicamente en función de las secciones estratigráficas *SES-1*, *SES-2*, *FDP*, *VCT*, *ASR*, y *CER-2*, así como a partir de múltiples observaciones y secciones de detalle realizadas en la vertiente Sur de la Sierra de Arman-tes. Como apoyo fundamental para este estudio se han usado los sondeos de MYTA, si bien los testigos de los mismos no han podido ser obtenidos. Las máximas potencias de afloramiento de esta subunidad pueden alcanzar los 40 m en el sector de Arman-tes, si bien mediante los citados sondeos de prospección salina de MYTA se cortaron al menos unos 100 m de las facies más características de esta subunidad.

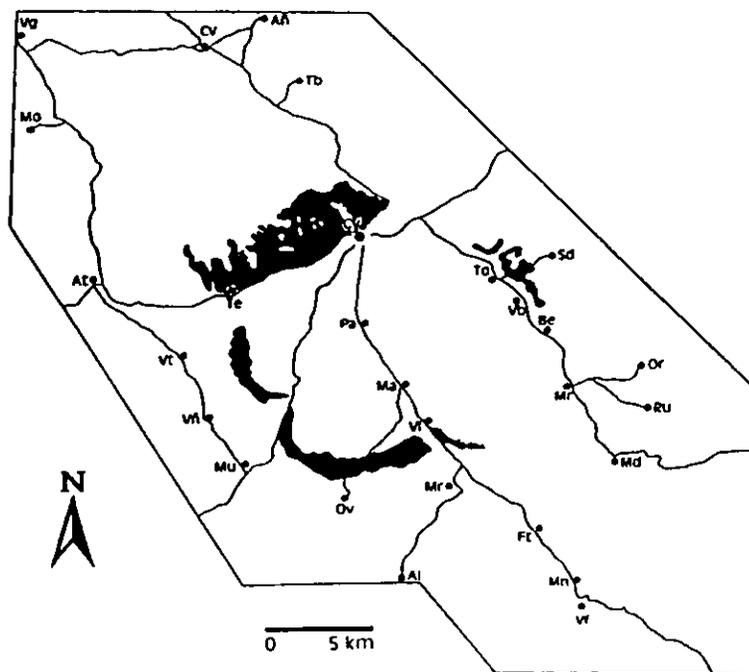


Figura 3. 13. Distribución geográfica de la Subunidad de yesos laminado-nodulares (Y_{LN-INF}).

Esta Subunidad se caracteriza por una gran complejidad debido a la gran variedad de litofacies presentes y a la importante impronta diagenética de una transformación a yeso secundario de las fases deposicionales sulfatadas. Estas últimas han podido ser identificadas como litofacies anhídricas y glauberíticas gracias tanto a la observación petrográfica de láminas delgadas de yeso secundario, como al reconocimiento en campo de pseudomorfos de cristales de glauberita. En este sentido, los sondeos de MYTA confirman la existencia de glauberita y anhídrita e incluso thenardita bajo una cobertera poco potente de transformación a yeso secundario. Las litofacies de yeso secundario existentes en esta subunidad se componen principalmente de:

- a) Niveles continuos de yeso nodular de textura alabastrina (aislados, coalescentes, o masivos), cuya potencia puede variar entre 2-3 cm en niveles masivos alabastrinos o de yeso micronodular laminado, hasta más de 1 m de potencia en tramos con matriz lutítico-margosa magnesítica con gran desarrollo de nódulos de yeso aislados. En este último caso, pueden observarse gradaciones

verticales en el diámetro de nódulo desde tamaños comprendidos entre 1-2 cm hasta unos 50 cm. (Lámina II.B).

b) Tramos con yeso laminado mesocristalino, con una potencia de lámina usualmente menor de 1 cm y que, presentan intercalaciones de arcillas, arcillas ricas en materia orgánica, margas magnesíticas y magnesita. Ocasionalmente, existen intercalaciones de niveles continuos de yeso nodular o gradaciones hacia tramos lutíticos con nódulos aislados de yeso.

c) Niveles continuos formados por agregados de cristales euhedrales-discooidales de yeso pseudomorfo de glauberita incluidos en una matriz lutítica y/o magnesítica. Pueden estar formados por yeso macrocristalino o bien quedar asociados a niveles nodulares masivos alabastrinos.

Hacia los sectores externos de la cuenca, las litofacies yesíferas son sustituidas por tramos lutíticos verde-grisáceos bioturbados con nódulos aislados de yeso de pequeño tamaño (2-3 cm de diámetro) con venas de yeso fibroso (*satinspar vein*) en disposición vertical-subvertical atravesando todo el nivel, o en posición horizontal a favor de discontinuidades internas de la propia estratificación. Destaca la presencia de finos niveles magnesíticos que se intercalan con otros niveles lutíticos verdosos, grises, grises oscuros, y negros para formar sucesiones rítmicas de pocos cm de potencia que se relacionan con niveles yesíferos suprayacentes.

Relaciones con otras subunidades

Las relaciones de facies con otras subunidades vienen marcadas por la asimetría de los cinturones de facies; en la Sierra de Armantes, en sentido Norte y Noroeste-Noreste se encuentra el cambio de facies con la Subunidad de lutitas y limos rojos (L_R-INF) (ver Lámina I), mientras que en los sectores occidental y oriental de la cuenca se observa el cambio de facies con la Subunidad de limos y lutitas grises-ocres (L_G-INF), si bien puede existir cambio con la Subunidad L_R-INF en profundidad, bajo la primera. En ambos casos, sus relaciones hacia zonas centrales de la cuenca son en progresivo cambio de facies hacia la Subunidad de yesos laminados (Y_L-INF), que describiremos más adelante, y cuya discriminación puede resultar compleja.

Se carece de información suficiente sobre las relaciones en la vertical con otras subunidades infrayacentes; sin embargo, esta subunidad puede encontrarse bajo la Subunidad de dolomías y margas dolomíticas (DM_D-INT) o la Subunidad de yesos laminados con magnesita (Y_{LM}-INT). En sectores del margen occidental y oriental de la cuenca, se localiza bajo tramos poco importantes de la Subunidad de carbonatos laminados diagenéticos (C_{LD}-INT), donde se encuentra afectada por la superficie paleokárstica que utilizamos como un criterio fundamental de diferenciación de la Unidad Inferior y Unidad Intermedia.

3. 4. 4. SUBUNIDAD DE YESOS LAMINADOS (Y_L-INF)

Localización y distribución de facies

Esta subunidad aparece fundamentalmente representada en áreas centrales de la cuenca; su extensión cubre aproximadamente desde el trazado de la carretera de Munébrega en el sector occidental hasta el curso del Río Perejiles en el sector oriental. Según la dirección longitudinal de la cuenca, se extiende desde unos 1,5-2 km al Sureste de Calatayud hasta las proximidades de Velilla de Jiloca y Villalba de Perejiles (Fig. 3.14).

Descripción

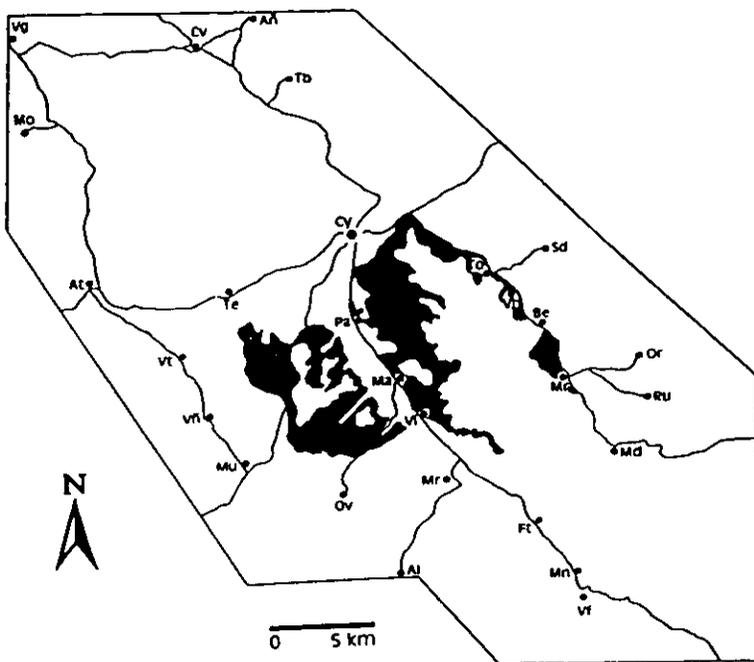


Figura 3. 14. Distribución geográfica de la Subunidad de yesos laminados (Y_L-INF).

El estudio sedimentológico se ha realizado a partir de las series estratigráficas de PCL, MAL, MOR, VEL-2, VLB-1 y VLB-2, además de múltiples observaciones del tránsito Unidad Inferior- Intermedia en la carretera de Munébrega, Valgalindo, Villalba de Perejiles, y Los Cerrillares. Las potencias máximas de esta subunidad se ubican en los sectores más centrales de la cuenca, en el Bloque Sur-Páramo, donde alcanzan entre 100 y 150 m, como en Torres, Villalba de Perejiles, o Maluenda.

La subunidad se caracteriza por monótonas secuencias de yeso laminado secundario afectadas por una extensa red de fracturas y fisuración vertical (Fig. 3.15 Lámina II.C). Mediante observación petrográfica en lámina delgada, se identifican en estas secuencias básicamente precursores anhidríticos y, en menor grado glauberíticos. Las láminas yesíferas alcanzan frecuentemente una potencia media de 1 cm, encontrándose separadas por finas láminas arcilloso-carbonáticas. Existen niveles de yeso micronodular con potencias comprendidas entre 1 y 4 cm, y generalmente, hacia la base de las secciones estratigráficas se reconocen niveles de 30-40 cm de potencia

constituidos por macrocristales de yeso de morfología tabular o pseudotabular de hasta 1,5 cm de longitud. Se encuentran frecuentemente eflorescencias de epsomita y yeso. Se localizan pequeñas superficies erosivas entre las diferentes láminas de yeso, además de *tepees* generados por competición en el crecimiento cristalino. Son frecuentes los *satinspar vein* en disposición horizontal interlaminados con otros términos de las secuencias.



Figura 3. 15. Aspecto de las secuencias de yeso laminado secundario (Subunidad de yesos laminados Y_I-INF) afectadas por una red de fracturación vertical-subvertical.

En los sectores más centrales de la cuenca, a escala macroscópica, existe una mayor abundancia en la base de las secciones de niveles de yeso macrocristalino, yeso micronodular, y pseudomorfos de glauberita que hacia el techo de las secciones. En general, se mantiene una homogeneidad de la estructura laminada del yeso, aunque a nivel microscópico, con un estudio petrográfico, se observa el tránsito en la vertical desde yesos laminados secundarios con pseudomorfos de anhidrita y glauberita hacia términos en que se observa una proporción creciente de morfologías de yeso primario frente a las de otras fases sulfatadas transformadas a yeso secundario, donde predomina fundamentalmente la anhidrita. Esta tendencia evolutiva aparece marcada aproximadamente en los últimos 50 m de la subunidad.

El techo de esta subunidad aparece frecuentemente afectada tanto en sectores centrales como hacia los márgenes de cuenca por la superficie paleokárstica que utilizamos como criterio de separación entre las Unidades Inferior e Intermedia. Las características de la discontinuidad, y el análisis de los materiales infrayacentes y suprayacentes a la superficie en cada sector de la cuenca, serán estudiadas en el capítulo 8.

Relaciones con otras subunidades

Esta Subunidad pasa hacia los márgenes de cuenca a la Subunidad de yesos laminado-nodulares (Y_{LN} -INF). Hacia el NO de la cuenca, este tránsito es progresivo pero, sin embargo, hacia el SE, resulta más rápido. De la misma forma, los cambios laterales de facies hacia los márgenes occidental y oriental de la misma subunidad son rápidos y bruscos en el espacio de unos centenares de metros siguiendo las pautas generales de cambio de facies en estas áreas.

Hacia el sector meridional del Bloque Sur-Páramo, en sentido SE, se reconoce el cambio de facies entre los tramos del techo de esta Subunidad (tramo final con pseudomorfos de anhidrita y una creciente proporción de morfologías de yeso primario) y la Subunidad de yesos laminados con magnesita (Y_{LM} -INF).

El establecimiento de las relaciones con otras subunidades del Bloque Armantes-Norte se dificulta por la ausencia de registro sedimentario en el valle fluvial del Río Jalón. Consideramos que la correlación más probable es entre los materiales del techo de la Subunidad (Y_L -INF) y el tramo transicional entre la Unidad Inferior e Intermedia que se localiza en los relieves del Sur de la Sierra de Armantes.

Por otra parte, se desconocen las relaciones estratigráficas con cuerpos sedimentarios infrayacentes, pudiendo recurrirse a la información proporcionada por los citados sondeos profundos de prospección salina de Paracuellos y Cifuentes. En estos dos sondeos, se detectaron facies halítico-anhidríticas en profundidad tal como se ha indicado previamente.

3. 4. 5. SUBUNIDAD DE YESOS LAMINADOS CON MAGNESITA (Y_{LM} -INF).

Localización y distribución de facies

La subunidad se encuentra representada en una estrecha franja transversal en el Bloque Sur-Páramo, en el SE de la cuenca, en un área muy reducida que se extiende aproximadamente desde las localidades de Velilla de Jiloca y Belmonte de Gracián hasta 1,5-2 km en sentido SE. (Fig 3.16).

Descripción

El estudio sedimentológico ha sido realizado a partir de las secciones estratigráficas *BEL-2* y *MAR-2*. La potencia máxima de afloramiento de esta subunidad es de 16 m en la sección *Mar-2* (Valle del Río Perejiles).

Se ha observado una convergencia entre el tipo de facies que caracteriza esta subunidad con el de la Subunidad de yesos laminados con magnesita de la Unidad

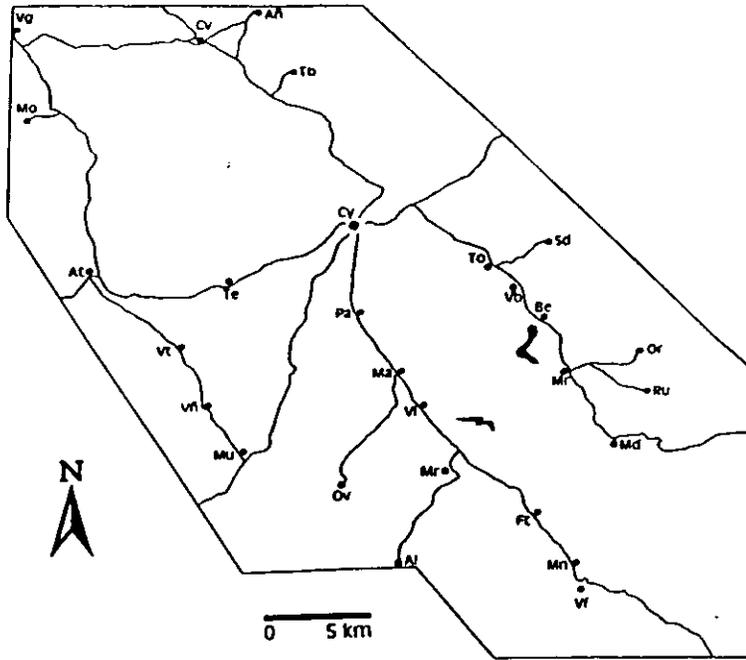


Figura 3. 16. Distribución geográfica de la Subunidad de yesos laminados con magnesita (Y_{LM-INT})

Intermedia (Y_{LM-INT}). Las facies de la subunidad consisten en bonitos depósitos muy laminados yesíferos-magnésicos/lutíticos ordenados en secuencias muy finas estratocrecientes y muy bien definidas, con una potencia que oscila entre los 2-2.5 m (Fig. 3.17) Cada secuencia individual se compone de yeso laminado de carácter primario (yeso microselenita, lenticular, y detrítico) con intercalaciones de magnesita y/o arcillas de espesor variable desde pocos milímetros hasta 1-2 cm.

El yeso microselenita se presenta como costras cristalinas continuas con desarrollo de pliegues enterolíticos; el yeso detrítico posee un tamaño arena media a gruesa, presentándose como láminas aisladas con granoselección y estructuras de flujo. Como tendencia general dentro de cada secuencia, se puede distinguir un tramo inferior más potente que posee mayor abundancia de carbonato magnésico/arcillas interlaminadas, y un tramo superior formado esencialmente por costras microseleníticas (de hasta 2-3 cm de potencia) con porcentaje bastante menor de carbonato interlaminado. En ocasiones, se han localizado niveles nodulares de potencia métrica caracterizados por una disposición elongada vertical de los nódulos de yeso, además de una intensa presencia de huellas de raíces rellenas de magnesita.

La principal característica de esta subunidad es la marcada secuencialidad sedimentaria que permite la distinción de ciclos evaporíticos con una de potencia media de unos 2-2,5 m. Asimismo, esta secuencialidad queda patente en una gran parte de los sedimentos evaporíticos y carbonáticos de diferentes subunidades de Unidad Intermedia en el sector SE de cuenca.

Relaciones con otras subunidades

Esta subunidad, como gran parte de las facies evaporíticas de la Unidad Inferior, se encuentra afectada a su techo por la superficie paleokárstica que utilizamos como criterio básico de diferenciación de las Unidades Inferior e Intermedia.

Sus únicas relaciones laterales son en cambio de facies hacia el NO de la cuenca con los tramos superiores de la Subunidad Y_L-INF.



Figura 3. 17. Aspecto de las secuencias estratocrecientes de 2-2.5 m de la Subunidad Y_{LM}-INF.

4. ESTRATIGRAFÍA DE LA UNIDAD INTERMEDIA

4. 1. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS FACIES EVAPORÍTICO-CARBONATADAS

La distribución espacial de los depósitos evaporítico-carbonáticos de Unidad Intermedia sobrepasa en gran parte la propia extensión de los depósitos evaporíticos de Unidad Inferior. Las facies carbonáticas (dolomías y calizas) se disponen de forma marginal en la unidad, mientras que los sectores más centrales están ocupados por facies evaporítico-carbonáticas (yeso laminado con magnesita-dolomita), carbonatos diagenéticos y calizas con gasterópodos.

Las facies de Unidad Intermedia se extienden por la práctica totalidad de la cuenca, quedando limitadas por los bordes actuales de cuenca. En el Bloque Norte-Armantes, las facies carbonáticas se extienden por toda la Sierra de Armantes y el área de Torralba de Ribota forman potentes sucesiones terrígeno-carbonáticas, que superan los 200 m de potencia, pero sin embargo, han sido eliminadas por erosión fluvial del Río Jalón al Sur de los relieves de la citada sierra. En los bloques Sur-Occidental y Oriental,

también los procesos erosivos y la tectónica han condicionado la mala conservación de las facies evaporítico-carbonáticas de la Unidad Intermedia y la parcialidad de afloramiento de las facies siliciclásticas marginales a éstas. En el Bloque Sur-Páramo, se localizan las facies con mayor influencia evaporítica de la Unidad Intermedia. En general, en los sectores centrales de este bloque se presentan los menores espesores de la unidad, cercanos a los 30 m, que constan de carbonatos diagenéticos y calizas con gasterópodos, mientras que en sectores más meridionales, la potencia de afloramiento aumenta hasta aproximadamente los 120 m de facies de yeso laminado primario con carbonato magnésico. Por último, en sentido SE de la cuenca, estas facies evaporítico/carbonáticas se relacionan en cambio lateral de facies muy espaciado con facies carbonáticas (calizas), y por último siliciclásticas, ya fuera de la zona de estudio. Este sector de la cuenca es muy representativo del conjunto de la unidad, ya que se conserva todos los cinturones de facies que no han quedado salvaguardados de la erosión en el resto de la cuenca.

4. 2. DESCRIPCIÓN DE SUBUNIDADES DE UNIDAD INTERMEDIA

4. 2. 1. SUBUNIDAD DE YESOS LAMINADOS CON MAGNESITA (Y_{LM-INT})

Localización y distribución de facies

La presente subunidad encuentra su representación en el interfluvio de los ríos Perejiles y Jiloca (Bloque Sur-Páramo), en el SE de la cuenca, en un área aproximadamente delimitada por las localidades de Morata de Jiloca y Mara, ocupando una estrecha franja transversal de una anchura de unos 3 Km. (Fig. 3.18.).

Descripción

El estudio sedimentológico ha sido llevado a cabo a partir de las secciones estrati-

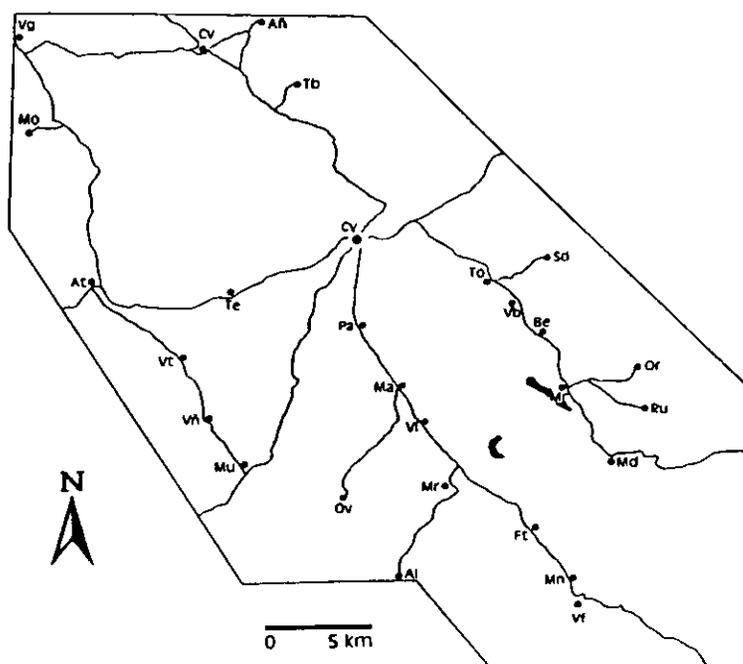


Figura 3. 18. Distribución geográfica de la Subunidad de yesos laminados con magnesita (Y_{LM-INT})

gráficas *MOR*, *MAR-3*, *MAR-4* y *PEÑ*, además de numerosas observaciones de detalle realizadas en diversos afloramientos. La potencia de afloramiento de esta subunidad alcanza 20-30 m en la sección *Mor*, y en determinadas secciones, como *Mar-3*, las potencias son mayores, aunque su reconocimiento es más complejo debido a la fuerte impronta diagenética que poseen.

Básicamente, la descripción de estas facies es muy similar a la realizada para la Subunidad Y_{LM} -INF, ya que existe una convergencia en el tipo de facies, por lo que remitimos al lector a ese apartado.

La principal característica de esta subunidad es la marcada secuencialidad sedimentaria que permite la distinción de ciclos evaporíticos con una potencia media de unos 2-2,5 m, que en ocasiones es interrumpida por niveles complejos de paleosuelos desarrollados sobre substrato magnesítico con nódulos columnares de yeso.

Relaciones con otras subunidades

En el Bloque Sur-Páramo, esta subunidad se relaciona lateralmente hacia el NO con la Subunidad de calizas laminadas diagenéticas (C_{LD} -INT), mientras que hacia el SE pasa a la Subunidad de margas dolomíticas con yeso laminado (M_D -INT). No se conocen las relaciones directas con otras subunidades hacia los sectores oriental y occidental debido a la ausencia de afloramientos por erosión. Sin embargo, hacia el margen oriental (sector de Orera-Ruesca), la correlación directa más probable es con la Subunidad de dolomías y margas dolomíticas (DM_D -INT).

La subunidad reposa sobre la Subunidad de yesos laminados de Unidad Inferior (Y_L -INF), entre las que existe una transición vertical gradual.

4. 2. 2. SUBUNIDAD DE MARGAS DOLOMÍTICAS CON YESO LAMINADO (M_D -INT).

Localización y distribución de facies

Esta subunidad se localiza sólo en un área muy limitada en el Sur de la cuenca en el interfluvio de los ríos Perejiles y Jiloca (Bloque Sur-Páramo), acotada aproximadamente por el Norte por una transversal trazada entre las localidades de Morata de Jiloca y Mara, y por el Sur por otra transversal entre Miedes y Fuentes de Jiloca (Fig. 3.19.). Además, solamente se ha localizado de forma significativa en el Bloque Sur-Occidental.

Descripción

El estudio sedimentológico de esta subunidad se ha fundamentado en las secciones estratigráficas MAR-3, MAR-4, PEÑ, VIC, MOR, y MDE realizadas en el Bloque Sur-Páramo y VDO en el Bloque Sur-Occidental. Por lo general, adopta una geometría en forma de cuña con aumento de potencia de afloramiento hacia el SE de la cuenca, alcanzándose los 20 m en el Valle del Río Jiloca, mientras que en el Valle del Río Perejiles se llegan a contabilizar más de 50 m.

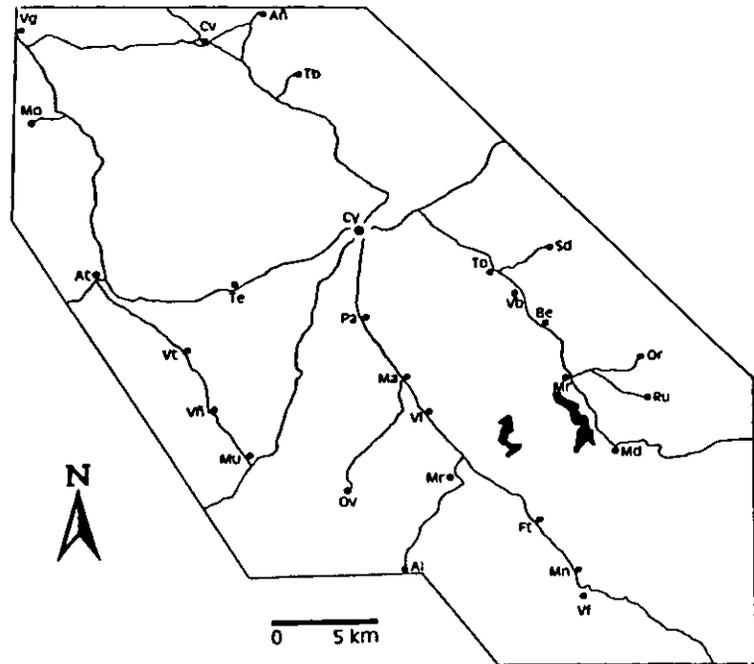


Figura 3. 19. Distribución geográfica de la Subunidad de margas dolomíticas con yeso laminado (M_D -INT)

Los materiales que integran esta subunidad son dolomías, margas dolomíticas y arcillas que se encuentran interlaminaadas con yeso lenticular, microselenítico y, en ocasiones yeso detrítico. Los niveles dolomíticos y margo-dolomíticos poseen potencias comprendidas entre los 10-15 cm; a su vez se encuentran subdivididos en tábulas o láminas que oscilan entre tamaños subcentimétricos hasta los 2-3 cm. Los carbonatos presentan colores blancos a grises en función del grado de pureza en dolomita y poseen abundantes restos vegetales flotados. Se intercalan con niveles de yeso lenticular y microselenita usualmente centimétricos. En la sección *Mor*, hacia el techo de la subunidad desaparecen progresivamente las costras microseleníticas quedando solamente finas láminas de yeso lenticular intercaladas con materiales dolomíticos y, en ocasiones, agregados de cristales de yeso lenticular (rosas del desierto), o grandes cristales lenticulares aislados en el encajante dolomítico, alcanzando hasta 50 cm de longitud. Por otra parte, también se han reconocido intercalaciones de niveles de yeso mesolenticular bioturbado de color blanco-crema, hacia el techo de la subunidad. Intercalados a espacios regulares, se han encontrado niveles con resalte, de 1-1,5 m de potencia, con gran abundancia de huellas de raíces, con rellenos de carbonato, cementación yesífera y grandes cristales de yeso lenticular. Estos niveles pueden ser localizados en otras subunidades adyacentes, pudiendo ser utilizados como niveles de correlación local.

Como rasgo significativo, hacia techo de la subunidad se encuentra un tramo que consta de menos de una decena de metros, en el que las litofacies yesíferas se encuentran disueltas, quedando solamente moldes cristalinos. Sobre este tramo, y en relación con la inmediata proximidad a techo de materiales de la Subunidad CB_{PY} -INT, se encuentran pseudomorfos de yeso lenticular en calcita acaramelada, de color ámbar, que también puede encontrarse formando diques centimétricos de disposición preferente subvertical.

En la localidad de Mara (sección *Vic*), la subunidad presenta la máxima potencia a la vez que presenta algunos rasgos diferentes, encontrándose hacia la base de la sección una sucesión de dolomías y margas dolomíticas de color gris-verde con intercalaciones de niveles de yeso nodular, frecuentemente con una disposición elongada verticalmente. Del mismo modo, son frecuentes los agregados de cristales de yeso tipo rosa del desierto y los macrocristales de yeso, así como niveles dolomíticos tabulares (hasta 50 cm) duros y compactos de color ocre con cristales de yeso lenticular. En sentido SE de la cuenca, en la sección *Mde*, se localizan los equivalentes a las facies anteriormente descritas dando lugar a alternancias de margas dolomíticas y niveles dolomítico arenosos con alto grado de bioturbación por raíces, pero sin evidencias de relictos de yeso.

En el sector de Valgalindo (sección *Vdo*), lejos de los afloramientos del Bloque Sur-Páramo, las facies de la subunidad presentan una estructura laminada a nivel centimétrico muy similar a la existente en el sector central, aunque la ausencia de una continuidad adecuada para la conexión de ambos afloramientos impide establecer una relación directa. Estos materiales, de naturaleza carbonática, presentan generalmente un importante contenido en terrígenos (arcillas y limos) y restos vegetales flotados. Forman una sección de unos 20 m de potencia con una alternancia de magnesitas, dolomías y calizas, y materiales arcilloso-carbonatados con presencia ocasional de aragonito. La totalidad de la serie se encuentra afectada por procesos de calcitización parcial de los carbonatos magnésicos, habiendo sido disuelto el yeso lenticular interlaminado.

Relaciones con otras subunidades

Se dispone debajo de la Subunidad de calizas brechoides, calizas con pseudomorfos de yeso lenticular y calizas palustres (CB_{PY} -INT) (Lámina III.A.), y sobre la Subunidad de lutitas y limos rojos con nódulos de yeso (L_R -INF).

Lateralmente, hacia el NO, se relaciona en cambio de facies con la Subunidad de yesos laminados con magnesita (Y_{LM} -INT). Este cambio de facies se presenta tendido y con bajo ángulo hacia el techo de las subunidades, pero es rápido y brusco en su parte basal. Los tramos de techo de la subunidad se relacionan lateralmente con la Subunidad de calizas laminadas diagenéticas (C_{LD} -INT). Las relaciones laterales de facies en sentido SE son dobles; en el Valle del Jiloca pasa lateralmente a la Subunidad de yesos mesolenticulares bioturbados (Y_{MB} -INT). Este tránsito queda oculto debido a la existencia de un gran número de deslizamientos de ladera entre las localidades de Morata y Fuentes

de Jiloca; en el Valle del Perejiles, el tránsito es directo hacia facies rojas distales de abanico aluvial.

A modo de excepción, en el Bloque Sur-Occidental de la cuenca, a unos 4 km al Este de la localidad de La Vilueña (Valgalindo), los materiales que representan en ese área a la subunidad, quedan sobre superficie paleokárstica que les separa de la Subunidad de yesos laminados de Unidad Inferior (Y_L -INF). Como hemos descrito en párrafos anteriores, estos materiales se encuentran parcialmente calcitizados presentando leves diferencias con los del Bloque Sur-Páramo. En este sector, se relacionan lateralmente con la Subunidad de calizas laminadas diagenéticas (C_{LD} -INT).

4. 2. 3. SUBUNIDAD DE YESOS MESOLENTICULARES BIOTURBADOS (Y_{MB} -INT)

Localización y distribución de facies

La Subunidad de yesos mesolenticulares bioturbados (Y_{MB} -INT) contiene las facies yesíferas sindeposicionales más meridionales de la Unidad Intermedia, formando una prolongación de la misma que puede ser continuada a lo largo de la margen derecha del valle del Jiloca, aproximadamente entre Morata de Jiloca y Villafeliche en el sector SE de la cuenca (Fig. 3.20.). No se han localizado las facies representativas de esta subunidad en los taludes del valle del Río Perejiles. Esta Subunidad sería en parte equivalente a la unidad yesífera marginal definida en Ortí *et al.* (1994) como *Yesos de Fuentes*.

Descripción

El estudio sedimentológico ha sido llevado a cabo principalmente en las secciones estratigráficas *FTE* y *MON*; además se han utilizado las secciones *MOR* y *PAJ* para la correlación directa y la observación de los cambios laterales de facies. En la columna

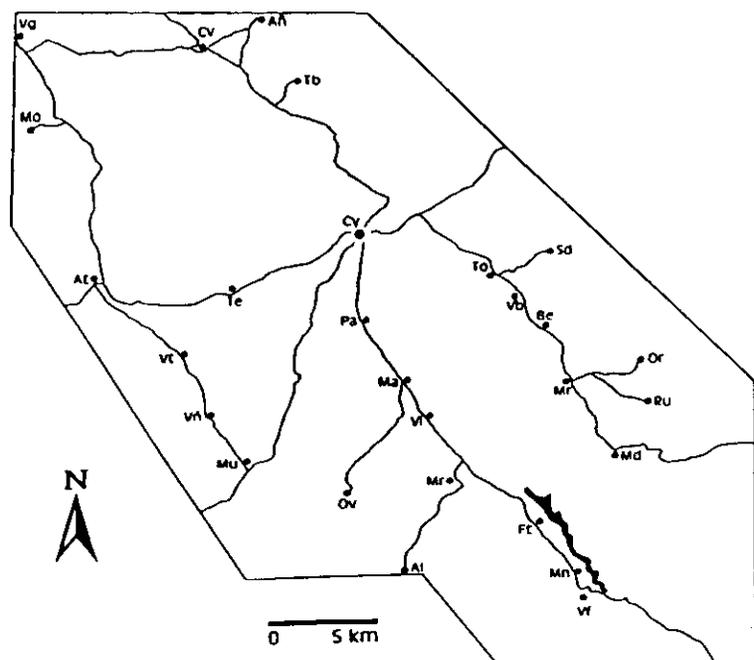


Figura 3. 20. Distribución geográfica de la Subunidad de yesos mesolenticulares bioturbados (Y_{MB} -INT).

estratigráfica *Mor*, se localizan los primeros niveles de yeso mesolenticular bioturbado característico de la subunidad, que se encuentran intercalados con tramos de la Subunidad M_D -INT. Presenta su potencia máxima en Fuentes de Jiloca (algo más de 70 m), y disminuye desde este punto hasta los casi 50 m de Montón (Fig. 3.21). Desde esta localidad hacia el SE se produce el progresivo cambio a facies lutíticas y limosas rojas de abanico aluvial con niveles carbonáticos, desapareciendo a la altura de Villafeliche. La cartografía de esta subunidad resulta problemática ya que los procesos de fracturación, colapso, y deslizamientos de ladera existentes entre Morata y Fuentes de Jiloca han limitado al máximo las condiciones de afloramiento dejando opciones para su estudio tan sólo en la sección *Fte* y en las canteras de yeso de la sección *Mon*.

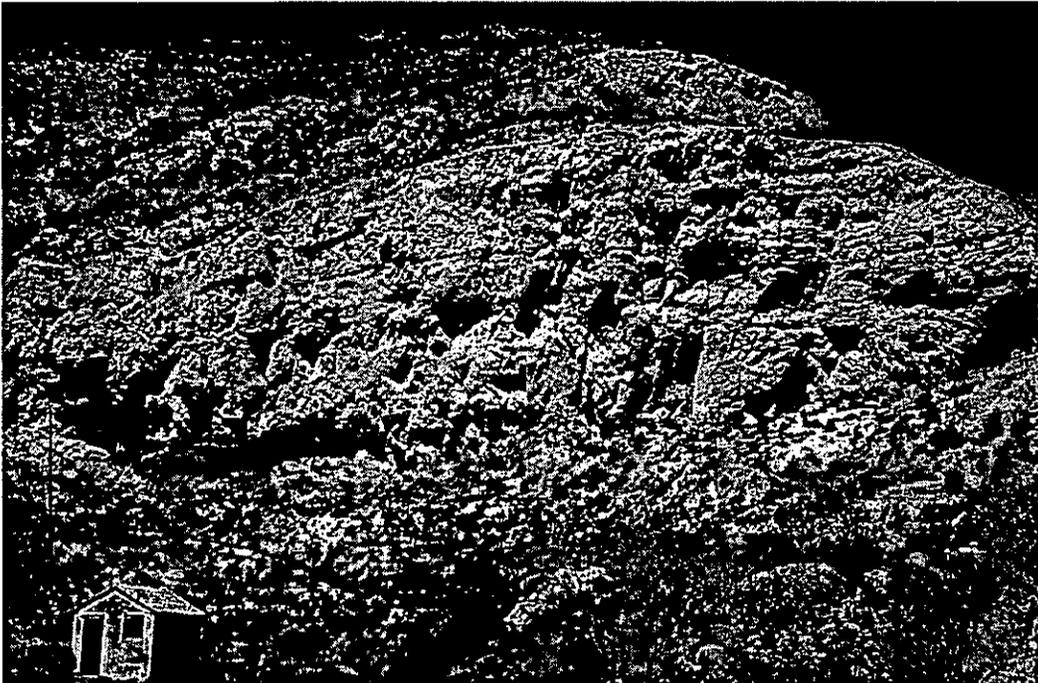


Figura 3. 21. Aspecto de la cantera de yeso de Montón (Subunidad de yesos mesolenticulares bioturbados Y_{MB} -INT).

El cuerpo principal de esta subunidad está constituido básicamente por litofacies de yeso mesolenticular bioturbado ordenado en tramos masivos de entre 2 y 5 m de potencia. Su color es blanco-crema y su aspecto es homogéneo con presencia común de nódulos de sílice (Lámina III.B). La intensa bioturbación queda plasmada en un denso entramado de estriotúbulos. Además de las litofacies yesíferas, existen litofacies carbonáticas que sirven de encajante para el crecimiento de yesos mesolenticulares, y que, a menudo, forman niveles de composición predominantemente calcárea. En relación con las litofacies carbonáticas que comprenden esta subunidad, se ha observado una diferente distribución del carbonato, quedando mineralogías preferentemente dolomíticas hacia el NO, y calcíticas, por el contrario, hacia el SE. Del mismo modo, se encuentran potencias de más de 10 m de yesos mesolenticulares pseudomorfiados por calcita a techo de las litofacies yesíferas inalteradas en Montón, así como la presencia hacia la

base de la subunidad de bancos de potencia métrica de yeso mesolenticular bioturbado (1,3-1,5 m) intercalados con lutitas rojas, carbonatos nodulosos y tobáceos (oncolíticos y caráceas).

Por otra parte, se ha reconocido en Montón, en unos niveles de margas negras-verdes yesificadas intercaladas en las litofacies de yeso mesolenticulares bioturbados, la existencia de un importante yacimiento paleontológico de micromamíferos (MN-6, Aragoniense Superior) que se ha convertido en un dato de gran importancia para la cronoestratigrafía de las principales unidades del Mioceno de la cuenca.

Relaciones con otras subunidades

Las relaciones de facies con otras subunidades son las siguientes: queda bajo la Subunidad de calizas brechoides, calizas con pseudomorfo de yeso lenticular y calizas palustres (CB_{py}-INT) y la Subunidad de calizas bioclásticas, palustres y tobas de caráceas (C_B-INT), y queda sobre la Subunidad de lutitas y limos rojos con nódulos de yeso (L_R-INF).

Hacia el NO de la cuenca, se presenta en cambio lateral de facies con la Subunidad de margas_dolomíticas con yeso laminado (M_D-INT), mientras que en sentido SE se pasa a facies lutítico-limosas rojas de abanico aluvial con intercalaciones de carbonatos palustres y nodulosos.

4. 2. 4. SUBUNIDAD DE CALIZAS LAMINADAS DIAGENÉTICAS (C_{LD}-INT)

Localización y distribución de facies

Esta subunidad se presenta fundamentalmente dentro del Bloque Sur-Páramo, desde la transversal Morata-Mara hacia el NO, llegando hasta la margen derecha de la vega del Río Jalón donde forman una serie de retazos de afloramiento discontinuo sobre las facies yesíferas. En el Bloque Norte-Armantes, se encuentran retazos de esta subunidad sobre los yesos de Unidad Inferior que se localizan entre la vertiente Sur de la Sierra de Armantes y el valle fluvial del Jalón. En los bloques Sur-Occidental y Sur-Oriental se extienden formando afloramientos discontinuos hasta muy cerca de los bordes actuales de cuenca (Fig. 3.22).

Descripción

El estudio sedimentológico de esta subunidad se ha realizado en numerosas secciones, siendo las principales las series FDP, VCT, VDO, VLB-(1-3), PBE, PCL, MAL, BEL (1-3), VEL-2, MAR-(1-2), CER-1 y SED.

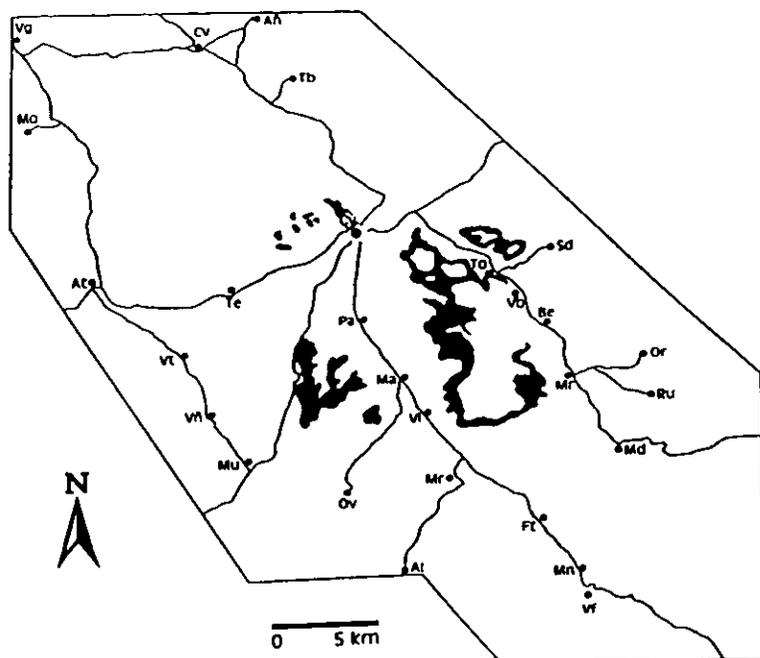


Figura 3. 22. Distribución geográfica de la Subunidad de calizas laminadas diagenéticas (C_{1D-INT}).

El sector comprendido entre la transversal Morata-Mara y aproximadamente Velilla de Jiloca-Belmonte de Gracián acumula enormes potencias de carbonatos diagenéticos (mayoritariamente laminados, aunque también con texturas brechoideas hacia techo) que alcanzan máximos de 55-60 m (ver isópacas del Anexo). Desde ese área hacia el NO, las potencias disminuyen de forma considerable hasta los 5 m en sectores próximos a Villalba de Perejiles o Torres.

Entre el valle fluvial del Río Jalón y Velilla de Jiloca (Valle del Jiloca)-Belmonte de Gracián (Valle del Perejiles) y en los márgenes occidental y oriental de la cuenca, los afloramientos son en multitud de ocasiones puntuales, aislados y dispersos, con potencias que normalmente no superan los 20 m, siendo éstas menores en el Bloque Sur-Páramo (5-15 m). En el Bloque Norte-Armantes, la potencia de la subunidad oscila entre 5-7 m, en afloramientos igualmente puntuales.

Las facies más típicas de esta subunidad son calizas de color ocre-pardo con una fina laminación (milimétrica a centimétrica), con moldes y pseudomorfos de yeso, tanto de cristales lenticulares como de costras microseleníticas. Se encuentran con frecuencia *slumps*, así como brechas de *slump* en los materiales de la subunidad (Lámina III.C). El contenido en terrígenos es cada vez más importante hacia el techo de esta subunidad, así como hacia los márgenes de cuenca.

En los bloques Sur-Occidental y Sur-Oriental de la cuenca, permanece por lo general el carácter laminado, aunque en ocasiones puede perderse parcialmente para ser sustituido por texturas clásticas y microbrechoideas.

El rasgo principal de las facies de esta subunidad es su carácter diagenético, a partir de una transformación de facies primarias evaporítico/carbonáticas, lo cual será objeto de estudio en el capítulo 7.

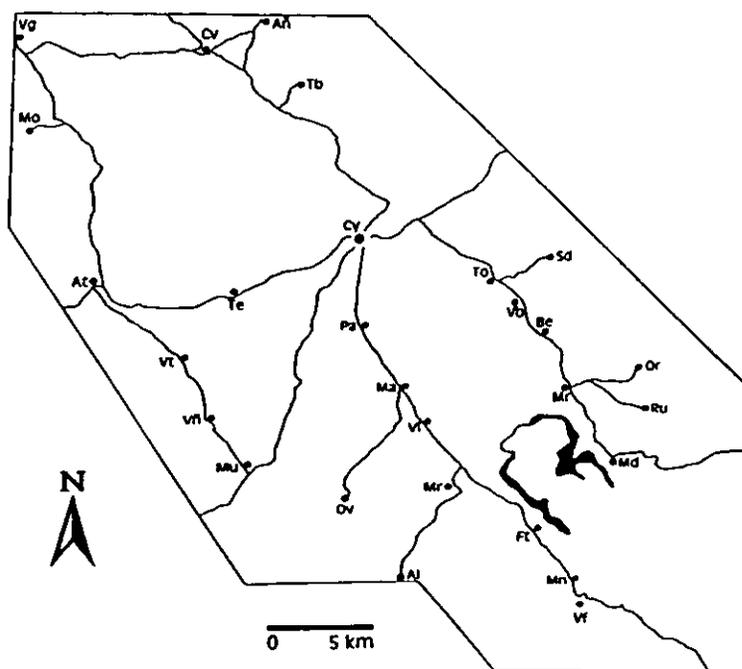
Relaciones con otras subunidades

Sus relaciones con otras subunidades pueden resultar complejas; como característica fundamental, los cuerpos de carbonatos laminados diagenéticos siempre se encuentran sobre una superficie de paleokarstificación desarrollada sobre materiales evaporíticos de las subunidades Y_{LN} -INF, Y_L -INF, o Y_{LM} -INF. Lateralmente, se relacionan con materiales de la Subunidad Y_{LM} -INT y M_D -INT, que constituyen las facies deposicionales y precursoras de los carbonatos diagenéticos. Por otra parte, hacia los bordes de la cuenca, las relaciones laterales también son complejas, ya que en multitud de casos existe una ausencia de afloramientos debido a la erosión. Generalmente, se encuentran a techo de los materiales terrígenos de la Subunidad de limos y lutitas grises-ocres (L_G -INF), como se puede observar en la localidad de Sediles, sin que pueda distinguirse discontinuidad alguna entre ambas subunidades.

4. 2. 5. SUBUNIDAD DE CALIZAS BRECHOIDES, CALIZAS CON PSEUDOMORFOS DE YESO LENTICULAR Y CALIZAS PALUSTRES (CB_{PY} -INT)

Localización y distribución de facies

Esta subunidad se localiza sólo al Sur del Río Jalón, en el interfluvio de los Ríos Jiloca y Perejiles (Bloque Sur-Páramo), en un sector limitado al Norte por una transversal entre La Loma del Morrón y el Barranco de Juan Seca (entre Mara y Belmonte de Gracián) y al Sur por las localidades de Miedes y Fuentes de Jiloca (Fig. 3.23).



Descripción

Los estudios sedimentológicos de esta subunidad se han basado en las secciones estrati-

Figura 3. 23. Distribución geográfica de la ya mítica Subunidad de calizas brechoides, calizas con pseudomorfos de yeso lenticular, y calizas palustres (CB_{PY} -INT)

gráficas *VEL-2*, *MAR-4*, *MOR*, *FTE* en el valle del Jiloca, y *MAR-3*, *VIC* y *MDE* en el valle del Perejiles, que son representativas de todas las facies características de la subunidad.

Las potencias de afloramiento de la subunidad aumentan hacia el SE de la cuenca, definiendo una morfología de cuña, oscilando entre los 20 y los 45 m máximos en Fuentes de Jiloca (Fig. 3.24). Las facies de esta subunidad se componen básicamente de niveles calizos brechoideos que alternan con calizas masivas tabulares y laminadas (Fig. 3.25). Se han identificado abundantes texturas de dedolomitización, con relictos de los precursores, y moldes de agregados de macrocristales de yeso lenticular en relación con los niveles brechoideos; también se localizan niveles calcícticos tabulares o con fina laminación marcada usualmente por pseudomorfos de costras y sucesiones de yeso lenticular, en los que igualmente se reconocen texturas de dedolomitización. Los niveles calcáreos masivos se corresponden con calizas palustres recristalizadas, bioturbadas y con gasterópodos. En sentido SE de la cuenca, se pierden las evidencias de pseudomorfos de yeso, siendo sustituidos por una proporción creciente de calizas palustres y tobas de caráceas que marcan el cambio de facies con la Subunidad *C_B-INT*.

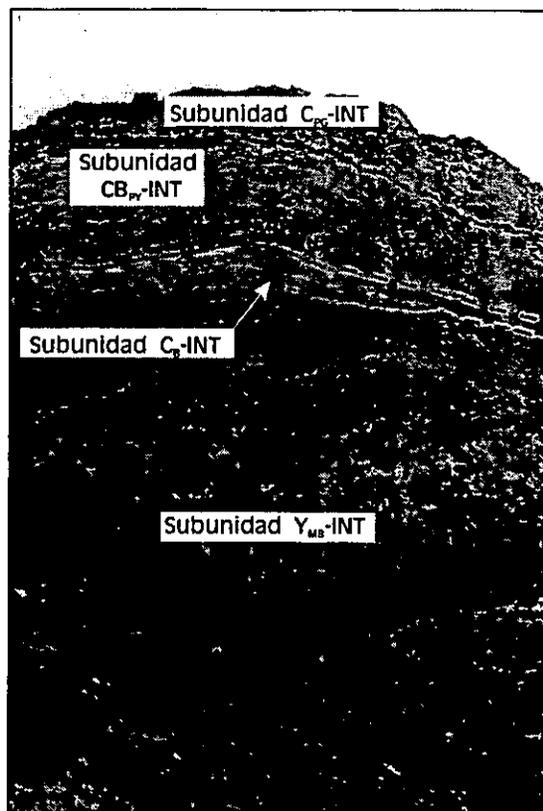


Figura 3. 24. Aspecto de la Subunidad *CB_{py}-INT* en las cercanías de la localidad de Fuentes de Jiloca formando los tramos centrales del farallón rocoso dominado por estructuras brechoideas.

Relaciones con otras subunidades

Las relaciones de facies con otras subunidades son múltiples en el Bloque Sur-Páramo pudiendo quedar sobre las subunidades *C_{LD}-INT* (Lámina III.C), *Y_{LM}-INT*, *M_D-INT*, y *Y_{MB}-INT* (Lámina III.D). En todos los casos, queda debajo de la Subunidad de lutitas y limos rojos con conglomerados silíceos y oncolíticos (*L_R-SUP*).

Finalmente, sus relaciones laterales dentro del mismo Bloque Sur-Páramo son hacia el NO con la Subunidad de carbonatos laminados diagenéticos *C_{LD}-INT*, mientras que hacia el SE, la subunidad pasa lateralmente a la Subunidad de calizas bioclásticas, palustres y tobas de caráceas (*C_B-INT*). Se desconocen las relaciones de facies con otras subunidades en los bloques Sur-Oriental y Sur-Occidental.

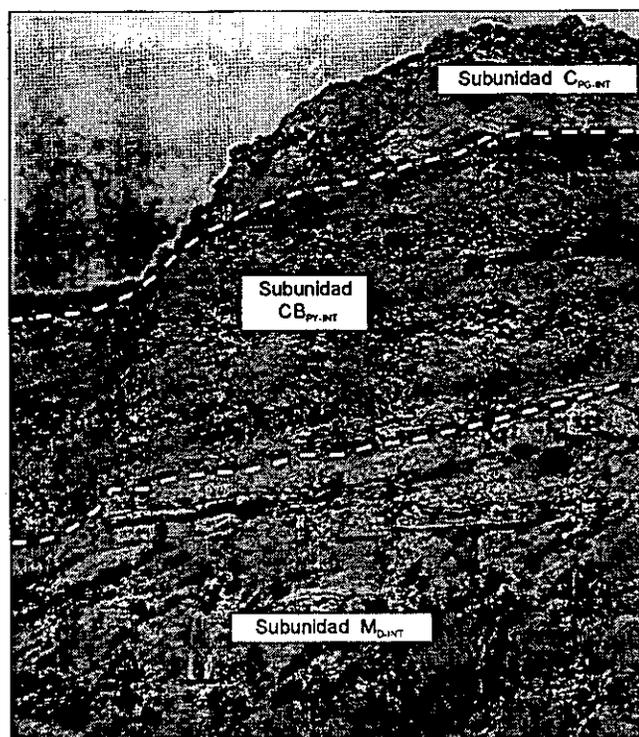


Figura 3. 25. Aspecto de la Subunidad CB_{PY-INT} en la sección estratigráfica Mor.

4. 2. 6. SUBUNIDAD DE CALIZAS BIOCLÁSTICAS, PALUSTRES Y TOBAS DE CARÁCEAS (C_B-INT)

Localización y distribución de facies

Esta subunidad se reconoce en el interfluvio de los ríos Jiloca y Perejiles (Bloque Sur-Páramo), en el sector meridional del área de estudio, apareciendo aproximadamente desde una transversal trazada entre las localidades de Fuentes de Jiloca y Mara hasta el límite meridional del sector de estudio (Fig. 3.26), con una mejor representación en el valle del Jiloca. No se ha encontrado representada en los bloques Sur-Occidental y Oriental.

Descripción

El estudio sedimentológico de esta subunidad se ha realizado básicamente en función de las series estratigráficas realizadas en el valle fluvial del Jiloca (*FTE*, *MON*, y *PAJ*) y la sección *MDE* en el Valle del Perejiles. La geometría general de esta subunidad es en cuña, aumentando su potencia en sentido SE de la cuenca. Desde el sector de

Fuentes de Jiloca, donde se encuentra el cambio de facies con la Subunidad CB_{py}-INT, la potencia de afloramiento oscila entre 65 m (sección *Mon*), y unos 100 m cerca del límite Sur del área de estudio (sección *Pa*).

La subunidad se caracteriza por una alta variabilidad de litofacies, que describimos desde el NO a SE de cuenca:

En Fuentes de Jiloca (sección *Fte*), los niveles de la base de esta subunidad son carbonatos tabulares de color ocre-beige de 10 cm de potencia con pequeñas

intercalaciones margosas, de textura granuda, porosa, pulverulenta, y huellas de raíces. Son fundamentalmente calizas bioclásticas formadas por gasterópodos, ostrácodos, caráceas, y formaciones tobáceas algales en las que los componentes se presentan normalmente fragmentados, con un mayor grado de recristalización hacia el el techo de la subunidad. Se observa la existencia de niveles de sílex de poca entidad, en ocasiones centimétricos e irregulares.

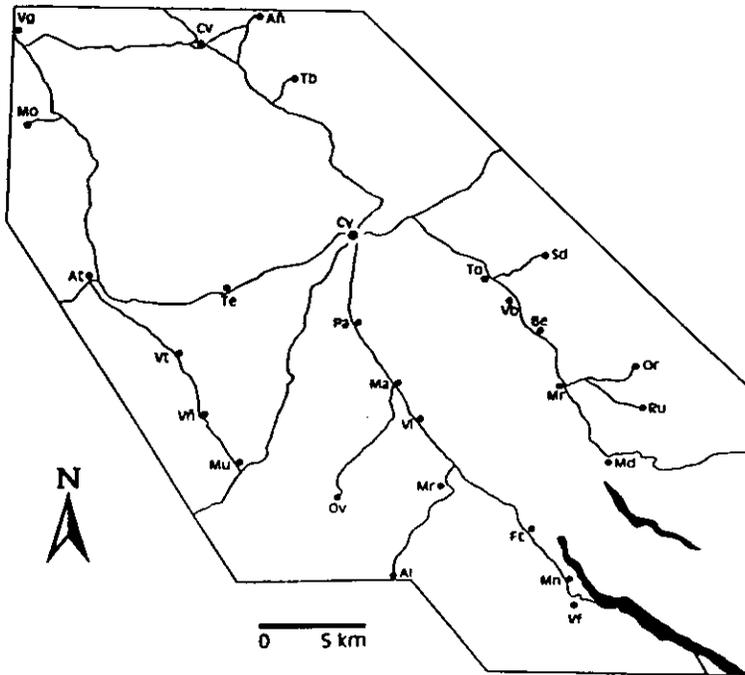


Figura 3. 26. Distribución geográfica de la Subunidad de calizas bioclásticas, palustres y tobas de caráceas (CB-INT)

En Montón (sección *Mon*), los niveles carbonáticos son más potentes (0,2-0,5 m) y están separados por margas blancas laminadas. Los niveles presentan morfologías irregulares y sinuosas, aunque son comunes las geometrías en forma de canal muy laxo que se rellenan con carbonatos nodulosos, y muestran estructuras de acreción lateral. Presentan laminación paralela difusa y en ocasiones ripples de corriente, bioturbación, así como niveles de sílex asociadas a niveles con abundantes huellas de raíces. Las texturas carbonáticas micríticas se encuentran a menudo recristalizadas, reconociéndose comúnmente texturas tobáceas pertenecientes a tobas de caráceas, o biomicritas con gasterópodos.

En la serie *Paj*, los niveles carbonáticos presentan alta variabilidad morfológica, con geometrías tabulares, irregulares, o canalizadas. La potencia media de los niveles es de unos 0,5 m y se encuentran intercalados por margas. Las texturas son usualmente muy heterogéneas, brechoideas, bioturbadas y frecuentemente con alto grado de recristalización, siendo similares a las de Montón, aunque con mayor abundancia de rasgos edáficos.

Como nivel de referencia, a techo de la presente subunidad, y en general a techo de Unidad Intermedia en el sector meridional de cuenca, se encuentra un carbonato noduloso de colores amarillentos, ocre y blanquecinos, de una potencia media de unos 3 m, que se presenta de forma continua lateralmente en una gran parte de los sectores meridionales de la cuenca (Lámina IV.A). Este nivel calcáreo de caliza se encuentra recristalizado, enriquecido en terrígenos y, en ocasiones, se reconocen oncoides de morfología esférica y diámetro no superior a los 3 cm.

Relaciones con otras subunidades

Esta subunidad se relaciona lateralmente hacia el NO con la Subunidad de calizas brechoideas con pseudomorfos de yeso lenticular y calizas palustres (CB_{py}-INT), quedando aproximadamente el cambio de facies entre las localidades de Fuentes de Jiloca y Montón. Hacia el SE cambia lateralmente a facies rojas de abanicos aluviales distales que quedan fuera del sector estudiado.

Por otra parte, yace sobre la Subunidad Y_{MB}-INT en el SE, mientras que queda bajo las facies de la Subunidad de lutitas y limos rojos con conglomerados silíceos y oncolíticos (L_R-SUP).

4. 2. 7. SUBUNIDAD DE DOLOMIÁS Y MARGAS DOLOMÍTICAS (DM_D-INT)

Localización y distribución de facies

Esta subunidad queda especialmente representada en el Bloque Norte-Armantes, formando parte de la vertiente Sur de la Sierra de Armantes; así, se extiende desde las estribaciones occidentales de la citada sierra hasta su sector más oriental, prolongándose hasta el área de Torralba de Ribota, en la margen izquierda del Río Ribota. Sin embargo, esta subunidad también aflora, aunque de forma discontinua en el margen oriental de la cuenca, desde Los Arcos hasta la localidad de Miedes o en el margen occidental, en el sector de Munébrega (Fig. 3.27).

Descripción

El estudio sedimentológico de esta subunidad se ha fundamentado en las columnas estratigráficas de la Sierra de Armantes y Torralba de Ribota como son las

secciones *TRB*, *CIG*, *CRS*, *ARC*, *SES-2*, *SED* y *ORE*, además de múltiples observaciones realizadas en el margen oriental de la cuenca. Las litofacias que componen esta subunidad son básicamente niveles dolomíticos que alternan con niveles margoso-dolomíticos y arcillas. Queda de manifiesto la tendencia a un enriquecimiento progresivo en el porcentaje de terrígenos en las dolomías hacia los márgenes de cuenca, pasando finalmente a niveles arenoso-limosos cementados con dolomita; estas facies también han sido agrupadas dentro de esta subunidad.

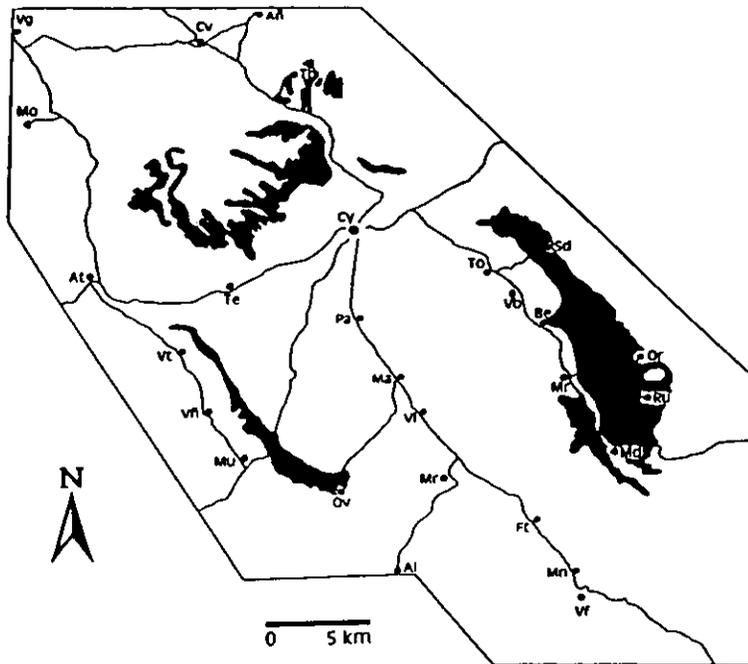


Figura 3. 27. Distribución geográfica de la Subunidad de dolomías y margas dolomíticas (D_{MD-INT})

En el sector de Torralba de Ribota, en el borde oriental del Bloque Norte-Armantes, se observa una sedimentación grosera integrada por brechas discordantes sobre materiales cámbricos que pasan lateralmente de forma muy rápida hacia el centro de la cuenca a facies arenosas y conglomeráticas, y posteriormente a una serie margo-calcárea (dolomítica) con frecuente bioturbación de raíces, y procesos de hidromorfismo en margas y lutitas (sección *Trb*). Frecuentemente y en asociación con los niveles más calcáreos, se han encontrado esquirlas

óseas y restos de macro-micromamíferos. De Bruijn (1967) describe cuatro yacimientos, denominados Torralba I-IV, que junto con el yacimiento Torralba V de Boné *et al.* (1980), proporcionan faunas propias del Aragoniense Medio (MN4). La sección *Trb*, con un total de 80 m, representa hacia su parte inferior la transición entre materiales terrígenos groseros adyacentes al borde de cuenca y los materiales de naturaleza dolomítico-margosa, y dolomítico-arenosa que caracterizan esta subunidad, mientras que hacia su techo se localizan las facies más típicas de la subunidad.

La zona de transición, en la mitad inferior de la sección (aproximadamente 37 m), consta de materiales de naturaleza mixta constituidos por areniscas calcáreas (dolomíticas) que se intercalan con limos y lutitas rojas. Las capas de arenisca, de grano fino a medio, presentan potencias muy variables entre 25-150 cm, con bases y techos

irregulares, con nodulizaciones y huellas de raíces. Los tramos limoso-lutíticos presentan mayor potencia dentro de la serie, siendo masivos, sin estructura, con frecuentes rizotúbulos, marmorizaciones, y tramos margoso-dolomíticos de color verde-gris; estos últimos se presentan como niveles con una potencia media de 50 cm, base y techo planoparalelos, colores blancos, texturas pulverulentas, y ocasionalmente restos de gasterópodos. Este tramo inferior presenta similitudes evidentes con la serie *Arc*, que como la anterior es adyacente a las facies terrígenas más groseras adyacentes a los bordes de cuenca, con las que presenta rápido cambio lateral de facies, caracterizándose por algo más de 35 m de niveles de areniscas dolomíticas muy irregulares de potencia media 50 cm, con acuñamientos frecuentes y huellas de raíces, que se intercalan con tramos de limos verdes y grises.

La mitad superior de la sección *Trb* presenta una composición general mucho más carbonatada, con niveles dolomíticos e intercalaciones de margas blancas y rosadas, siendo representativa del conjunto de la subunidad. Aquí, las dolomías se ordenan en niveles de una potencia entre 1,5-2,5 m, en los que pueden diferenciarse subniveles de morfología irregular. Presentan frecuente laminación de carácter fenestral, así como texturas brechoideas, pseudomicrokarst, huellas de raíces, acumulaciones locales de óxidos de hierro, grietas de retracción, y restos de gasterópodos. Se observa una recristalización parcial de los niveles dolomíticos de techo. El contenido en terrígenos es muy reducido, oscilando entre el 1-5%.

Las secciones realizadas en sectores más internos de la cuenca (*Ses-2*, *Crs*), en las vertientes Sur y Este de la Sierra de Armantes, reflejan los mejores afloramientos de esta subunidad. La influencia de los aportes siliciclásticos es bastante menor. La serie *Ses-2*, con algo más de 140 m, se levantó en el sector más occidental de la Sierra de Armantes, constituyendo un punto importante de estudio ya que muestra un significativo cambio litológico entre las facies evaporíticas de Unidad Inferior y facies dolomíticas de Unidad Intermedia. Las facies de esta subunidad ocupan aproximadamente la mitad superior de la sección (los últimos 70 m) (Fig. 3.28). Los niveles dolomíticos, de color blanco-grisáceo, lateralmente continuos con potencias que oscilan entre 0,5-1,5 m presentan intercalaciones margosas y niveles de areniscas. Las morfologías que describen estos niveles se asemejan a grandes cuerpos lensoidales de techo bien definido y recto, pero de base sinuosa y alabeada. Estos niveles presentan una textura porosa con una laminación fenestral milimétrica que se ordena en tábulas de hasta 2 cm. Es frecuente encontrar cantos blandos margoso-lutíticos, así como una microbrechificación intensa asociada con huellas de raíces, pudiendo quedar los componentes de la brecha incipientemente cementados. Se reconocen también concentraciones de óxidos de hierro ligados especialmente a los materiales brechificados. En las series *Crs* y *Vcñ*, las laminaciones se encuentran ocasionalmente deformadas presentando antifomas (pseudoanticlinales) de pequeña entidad y orden centimétrico (10-15 cm de alto) que se atenúan hacia el techo de los niveles, y que localmente alcanzan hasta 1,2 m de altura (Sanz-Rubio *et al.*, 1995).

En el área de Orera-Ruesca, y concretamente en las inmediaciones de la primera de las localidades, las secuencias sedimentarias adyacentes a las facies terrígenas del margen de cuenca quedan integradas por niveles dolomíticos masivos o arenoso-limosos, con laminación fenestral, bioturbados, y potencia de hasta 1 m, que presentan a intervalos irregulares estructuras pseudoanticlinales (morfológicamente *tepees*) similares a los descritos en la Sierra de Armantes. Los niveles quedan intercalados con arcillas y margas dolomíticas fuertemente bioturbadas, y pasan en el espacio de unos centenares de metros a facies características de la Subunidad de lutitas y margas dolomíticas bioturbadas (LM_{DB}-INT) (Lámina IV.B). De la misma forma, hacia el Oeste, a menor cota, en las cortas de la mina de sepiolita de MYTA, así como en subsuelo, se han reconocido facies de esta subunidad formadas por una alternancia de niveles dolomíticos y margo-dolomíticos de potencia entre 0.5-1 m que se caracterizan por la existencia de niveles enriquecidos en sepiolita.

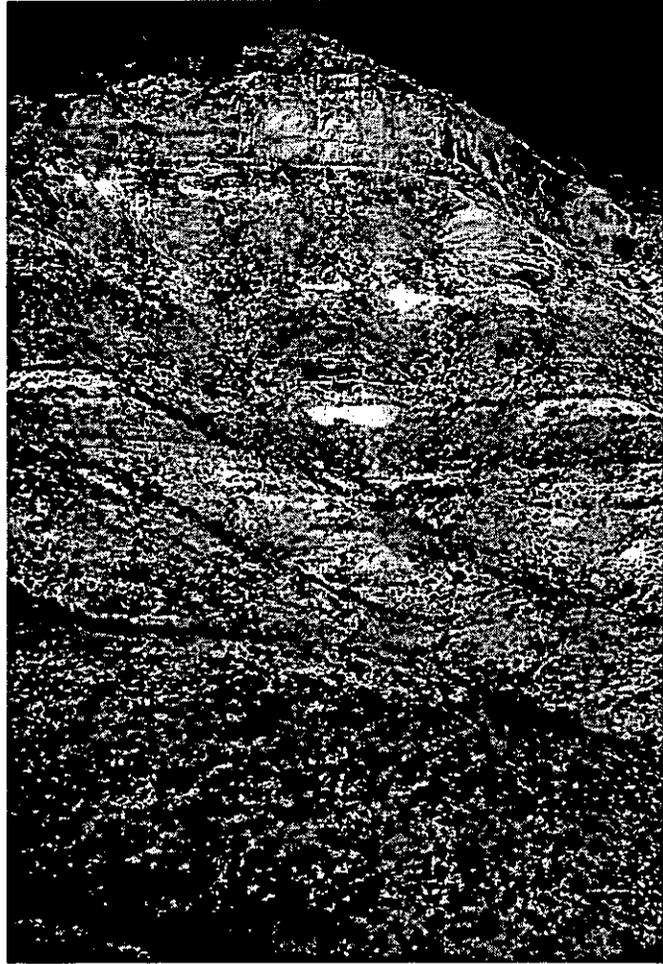


Figura 3. 28. Aspecto de la Sección Ses-2, en el sector más occidental de la Sierra de Armantes. Las facies de la Subunidad DM_D-INT ocupan aproximadamente la mitad superior de la sección (los últimos 70 m).

Relaciones con otras subunidades

Estratigráficamente, yace sobre facies de la Subunidad de limos y lutitas rojas con nódulos de yeso (L_R-INF), la Subunidad de yeso laminado-nodular de Unidad Inferior (Y_{LN}-INF), y de forma muy local, la Subunidad de limos y lutitas grises-ocres con aragonito (L_G-INF).

Lateralmente, se caracteriza por un paso transicional hacia los márgenes de cuenca a facies terrígenas groseras, y que es posible reconocer en todo el margen oriental de la cuenca, desde Torralba de Ribota hasta Miedes. Hacia el NO de la Sierra de Armantes, se produce el cambio de facies con la Subunidad de lutitas, limos y areniscas

con calizas (LA_C-INT). Para el estudio de las relaciones de facies con esta última subunidad, el sector SO-O de la Sierra de Armantes presenta afloramientos de excelente calidad (Fig. 3.29). Este cambio de facies consiste en un paso transicional en sentido NO desde materiales dolomíticos y margoso dolomíticos a una sucesión de lutitas y limos rojos con niveles calizos intercalados.

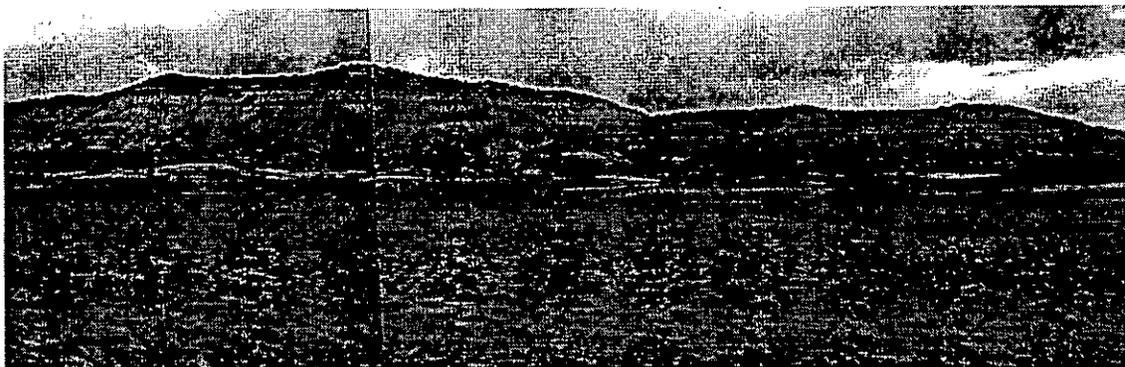


Figura 3. 29. Sector SO-O de la Sierra de Armantes.

Las relaciones de facies hacia las partes más centrales de la cuenca son complejas ya que entre el Bloque Norte-Armantes y los sectores que quedan al Sur del Río Jalón, existe un importante vacío erosional. La correlación directa entre ambos lados del Río Jalón no es posible, ya que se carece de un nivel de correlación o referencia adecuado.

Localmente, en la zona de Orera-Ruesca, las facies dolomíticas que dominan la subunidad gradan hacia sectores más centrales a una sedimentación fina terrígena característica de la Subunidad de lutitas y margas dolomíticas bioturbadas (LM_{DB}-INT), y a su vez parecen relacionarse hacia los sectores de Bloque Sur-Páramo con la Subunidad de yesos laminados con magnesita (Y_{LM}-INT). En la localidad de Miedes, o en Munébrega, se reconoce un pausado cambio de facies hacia sectores más internos de la cuenca a la Subunidad de Margas dolomíticas con yeso laminado (M_D-INT).

Los materiales de esta subunidad han proporcionado numerosos yacimientos paleontológicos, como los de Armantes, Miedes, y Mara que son de referencia obligada en el establecimiento de una cronología de la Unidad Intermedia.

4. 2. 8. SUBUNIDAD DE LUTITAS, LIMOS Y ARENISCAS CON CALIZAS (LA_C-INT)

Localización y distribución de facies

Esta subunidad se localiza en la vertiente Norte de la Sierra de Armantes (Bloque Norte-Armantes) extendiéndose desde su sector más occidental hacia áreas centrales del

relieve, aflorando localmente en algunas áreas al Norte de la localidad de Torralba de Ribota. También se localiza en sectores surorientales del área de estudio (Fig. 3.30).

Descripción

El estudio sedimentológico de la subunidad se ha llevado a cabo en las secciones CRZ, PRS, CIG y ARM. Las potencias máximas de esta subunidad se encuentran en el vértice noroccidental de la Sierra de Armantes, donde se pueden localizar potencias de alrededor de unos 200 m (Fig 3.31), que constan de una secuencia de niveles rojos con una alternancia regular con calizas rosadas/blancas.

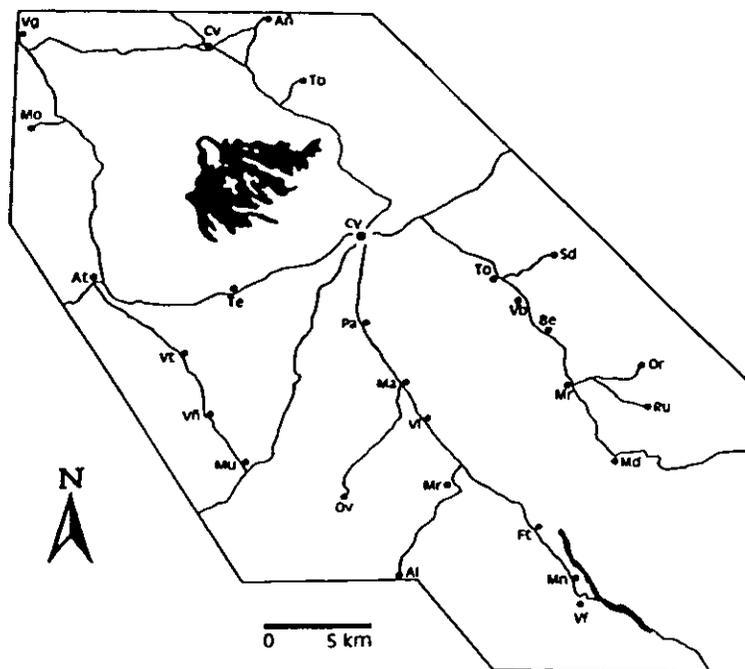


Figura 3. 30. Distribución geográfica de la Subunidad de lutitas, limos y areniscas con calizas (L_{AC-INT}).

Los niveles rojos están formados por lutitas y limos rojos, que se encuentran frecuentemente bioturbados y contienen nódulos de carbonato (calcita). Existen intercalaciones de niveles arenosos, y algunas pasadas conglomeráticas. Los niveles calcáreos, con una potencia media de 1.8-2 m son calizas con marcada estructura planar y cementos de calcita en su parte basal, mientras que hacia techo el carbonato es noduloso con bioturbación de raíces y alta recristalización. Estos carbonatos pueden ser muy ricos en terrígenos, constituyendo en ocasiones verdaderas areniscas de matriz calcárea. En ocasiones, en relación con tramos de caliza, se encuentran niveles de margas laminadas blancas con importante nodulización y variaciones hacia términos más lutítico-limosos y arenosos.

Relaciones con otras unidades

En el sector nor-occidental de la Sierra de Armantes, la subunidad queda a base de sucesiones de niveles calcíticos recristalizados intercalados con margas (Subunidad de calizas palustres con gasterópodos C_{PG-INT}) sobre los que se ha formado una superficie de erosión que enrasa con la existente en Fuentes de Jiloca con una altitud muy

semejante, alrededor de los 960 m. En el sector suroriental del área de estudio, queda debajo de la Subunidad de calizas bioclásticas, palustres, y tobas de caráceas (C_B-INT). En ambos sectores se encuentra sobre la Subunidad de lutitas y limos rojos con nódulos de yeso (L_R-INF).



Figura 3. 31. Secuencia de niveles rojos en alternancia regular con calizas rosadas/blancas (Subunidad LA_c-INT) del sector noroccidental de la Sierra de Armantes.

En Armantes, lateralmente, pasa a la Subunidad de dolomías y margas dolomíticas (D_{MD}-INT) hacia los sectores más centrales de la cuenca, mientras que en el sector suroriental lo hace hacia la Subunidad de yesos mesolenticulares bioturbados (Y_{MB}-INT). En cualquier caso, hacia los sectores más marginales se produce su tránsito hacia facies terrígenas más groseras.

4. 2. 9. SUBUNIDAD DE LUTITAS Y MARGAS DOLOMÍTICAS BIOTURBADAS (LM_{DB}-INT)

Localización y distribución de facies

Esta subunidad se caracteriza por su localizada representación en el sector existente entre las localidades de Orera y Ruesca (Fig. 3.32), en el Bloque Sur-Oriental.

Descripción

El estudio sedimentológico se ha basado únicamente en la sección estratigráfica *ORE*, así como en gran número de observaciones puntuales. La sección *Ore* se ubica en el término denominado Valdelesterreros, a unos 1000 m al SE de la localidad de Orera, y a unos 750 m al NE de Ruesca, en un paraje muy cercano a los afloramientos paleozoicos.

Los depósitos de esta subunidad comprenden una sucesión cíclica de arcillas-margas dolomíticas de colores rojizos, grises, ocre y verdes con intercalaciones de niveles dolomíticos de color blanco-crema (Fig. 3.33 y 3.34). La estructura-

ción de los ciclos (con potencias usuales entre 1,5-2 m) consiste en un tramo basal arcilloso-margoso dolomítico laminado, bioturbado, con restos vegetales y variaciones verticales de color definiendo subciclos. El tramo superior, de naturaleza dolomítica, posee menor potencia (0,25-0,5 m) quedando frecuentemente bioturbado por raíces, aunque en ocasiones es masivo o laminado. La morfología de estos niveles puede ser de base y techo planoparalelos, o bien adoptar una forma basal de canal laxo. Las potencias máximas de esta subunidad se registran en la propia sección de Orera, con cerca de unos 80 m de sucesión cíclica. La descripción más detallada de los ciclos y su interpretación se estudiará en el capítulo 6.

Relaciones con otras subunidades

Esta subunidad se presenta en cambio lateral de facies hacia la Subunidad de dolomías y margas dolomíticas (DM_D -INT) hacia áreas próximas al margen de cuenca. De la misma forma, en este sector también la subunidad queda sobre facies características de la Subunidad DM_D -INT, como han mostrado los sondeos de MYTA.

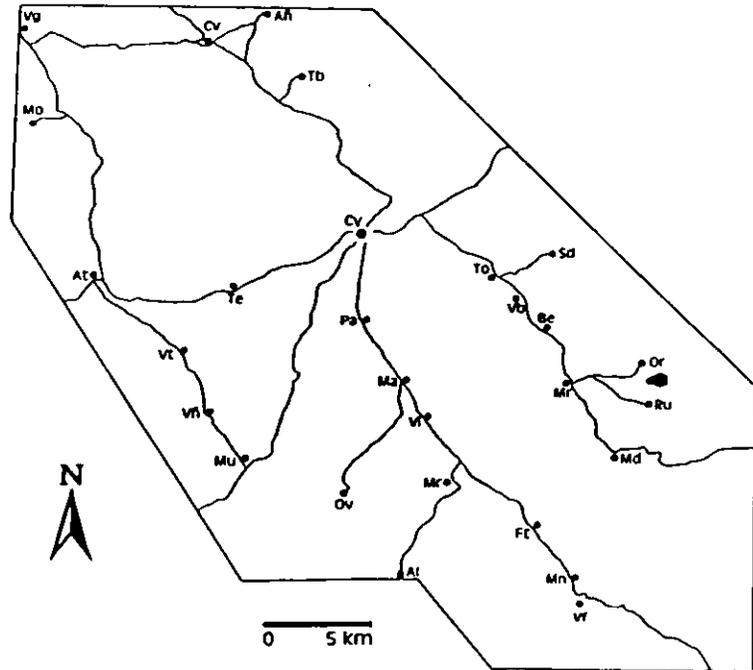


Figura 3. 32. Distribución geográfica de la Subunidad de lutitas y margas dolomíticas bioturbadas (LM_{D8} -INT).



Figura 3. 33. Sucesiones cíclicas de arcillas-margas dolomíticas de colores rojizos, grises, ocres y verdes con intercalaciones de niveles dolomíticos de color blanco-crema del sector de Orera.

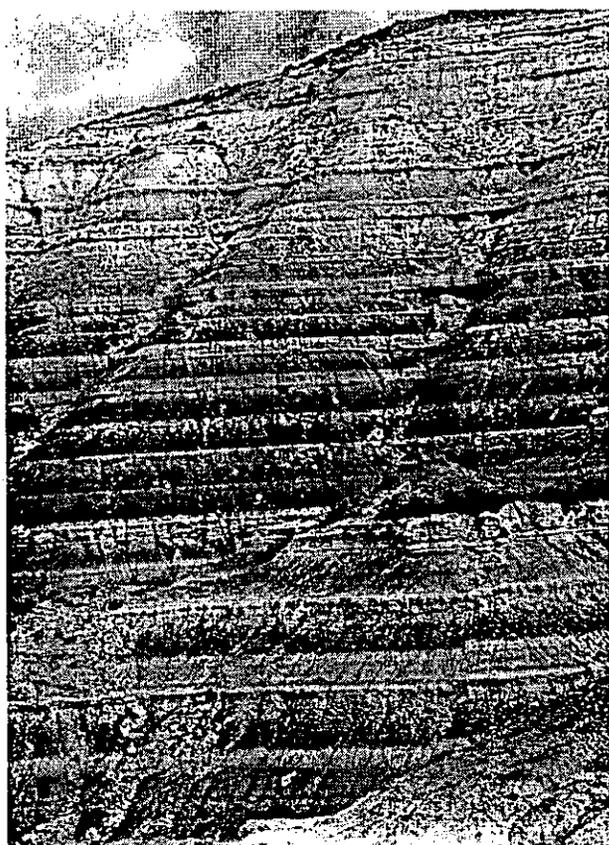


Figura 3. 34. Sucesión cíclica del sector de Orera (detalle).

La relación lateral de la subunidad con los sectores más centrales de la cuenca queda algo indeterminada, ante la importante ausencia de registro sedimentario entre esta zona y el curso fluvial del Perejiles. Sin embargo, la correlación más probable es con la propia Subunidad DM_D -INT, o con la Subunidad de margas dolomíticas con yeso laminado (M_D -INT) o, en parte, con la Subunidad de calizas brechoides, calizas con pseudomorfos lenticulares de yeso, y calizas palustres (CB_{PY} -INT).

4. 2. 10. SUBUNIDAD DE CALIZAS PALUSTRES CON GASTERÓPODOS (C_{PG-INT})

Localización y distribución de facies

Esta subunidad aflora en dos sectores muy reducidos y concretos de la cuenca que presentan dificultades para la identificación de las relaciones laterales de facies:

a) Al Sur del Río Jalón, esta subunidad se extiende en el sector centro-oriental de la cuenca, en concreto desde la localidad de Belmonte de Gracián hacia el NO, en ambos márgenes del río, aproximadamente hasta el curso del Río Jalón. (Fig. 3.35) Así, se han podido encontrar estas facies en su máxima potencia en el sector de Los Cerrillares-Cortasogas, mientras que en Sediles todavía se encuentran relictos de la subunidad

formando pequeños cerros testigo sobre evaporitas de Unidad Inferior. No se encuentra representada en el valle del Jiloca.

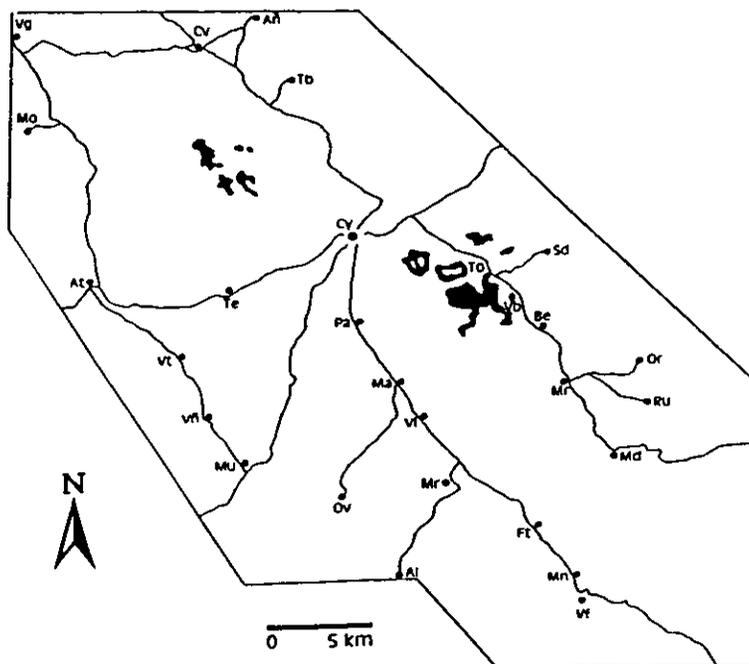


Figura 3. 35. Distribución geográfica de la Subunidad de calizas palustres con gasterópodos (C_{PG-INT}).

b) Al Norte del Río Jalón (sector nor-occidental de la Sierra de Armantes). La presente subunidad se encuentra también representada en los sectores nor-occidentales de la Sierra de Armantes, formando las áreas topográficamente más elevadas, incluyendo la superficie erosiva de 964 m de Armantes, y una serie de pequeños cerros testigo que se conservan a menor cota (Fig. 3.35) en la falda Norte de Armantes.

Descripción

El análisis sedimentológico de esta subunidad al Sur del Río Jalón se realizará en función de las series estratigráficas *CER-1* y *VLB (1-3)*. La subunidad se caracteriza por una sucesión de niveles calizos ricos en gasterópodos parcialmente recristalizados, de

color blanco-crema de hasta 0.5 m de potencia, con intercalaciones margosas menores. (Fig. 3.36) Los niveles destacan por su apariencia masiva, si bien se describen niveles muy nodulosos e incluso calizas brechoides cementadas con base y techo muy irregulares. Son frecuentes las huellas de raíces, así como algunas texturas laminadas fenestrales. La potencia máxima oscila entre 20-25 m en los sectores de Los Cerrillares y Barranco de Cortasogas.



Figura 3. 36. Aspecto de los niveles calizos de la Subunidad C_{PG} -INT.

Frente a la localidad de Villalba de Perejiles, los materiales calcáreos de esta subunidad se encuentran removilizados e incorporados dentro de una unidad clástica, inferior a un nivel de glaciación.

De la misma forma, en el techo de la subunidad pueden distinguirse carbonatos nodulosos que presentan alta similitud con el nivel carbonático noduloso de referencia de techo de la Unidad Intermedia, con lo cual podría considerarse como una prolongación del mismo en esta subunidad.

El estudio sedimentológico de esta subunidad en el sector de la Sierra de Armantes se realiza en función de las series *CRZ* y *ARM*. La primera, con una potencia de 79 m, se caracteriza por 35 m inferiores de facies de lutitas y limos rojos, areniscas calcáreas, con huellas de raíces, y rizotúbulos que se intercalan con niveles métricos carbonáticos (calcita) de color blanco-gris con textura no recristalizada y ligeramente pulverulentos (Subunidad LA_C -INT). Los metros restantes suponen un verdadero cambio en la sedimentación, incrementándose de forma neta la proporción de carbonatos frente a terrígenos (Subunidad C_{PG} -INT). Se componen de una alternancia de niveles calizos blancos de unos 50 cm separados por finos niveles de margas blancas, que presentan

morfologías sinuosas de base y techo irregulares con abundante bioturbación y gasterópodos enteros. Los procesos de karstificación y cementaciones de calcita asociados constituyen un rasgo común del techo de la columna.

Relaciones con otras subunidades

Al Sur del Río Jalón, la subunidad tiende a adelgazarse rápidamente en sentido SE, desapareciendo aproximadamente a la altura de Velilla de Jiloca. A techo limita con la Subunidad de lutitas y limos rojos con conglomerados silíceos y conglomeráticos (L_R-SUP).

En la Sierra de Armantes, yace sobre la Subunidad de lutitas, limos y areniscas con calizas (L_A-INT), con la que existe una transición vertical (Fig. 3.37).



Figura 3. 37. Niveles calizos de la Subunidad C_{pc}-INT en el Norte de la Sierra de Armantes.

En ambos sectores, se observa la circunstancia de la ausencia de las relaciones de esta subunidad hacia los márgenes de cuenca, así como la unión entre los sectores del Sur y Norte del Río Jalón, debido a la erosión.

5. ESTRATIGRAFÍA DE LA UNIDAD SUPERIOR

5. 1. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS DEPÓSITOS DE LA UNIDAD SUPERIOR

La actual configuración de la Cuenca de Calatayud solamente permite la conservación de las facies centrales de la Unidad Superior en el interfluvio de los ríos Jiloca y Perejiles formando un extenso páramo resultado de una superficie de erosión que bisela los suaves plegamientos que muestran estos depósitos (Hoyos *et al.*, 1979). De esta forma, el movimiento relativo entre los diferentes bloques tectónicos de la cuenca, y los procesos erosivos determinan que la Unidad Superior quede ausente por completo al Norte del Río Jalón (Sierra de Armantes), así como de los sectores occidental y oriental de la cuenca, exceptuando afloramientos puntuales de los términos de la base de la unidad frente a la localidad de Torres. Sin embargo, la continuidad y extensión de esta Unidad debió ser bastante más importante de lo que hoy parece, ya que se pueden localizar algunos afloramientos de la misma en las proximidades de la Carretera de Alhama de Aragón-Nuévalos, entre los km 47-48, yaciendo sobre un sustrato mesozoico plegado (Meléndez *et al.*, 1979). Así, la existencia de Unidad Superior queda limitada al sector central de la cuenca extendiéndose desde 1-2 km al Sur de la localidad de Calatayud en sentido SE hasta el sector vecino de Daroca, fuera de la zona de estudio, si bien se han reconocido hacia los bordes actuales de cuenca (Munébrega en el margen occidental y Sediles en el margen oriental) facies de abanico aluvial que pueden corresponderse con materiales de la Unidad Superior, equivalentes a los términos centrales del Bloque Sur-Páramo. Sanz-Rubio *et al.* (1995, 1996) distinguieron tres tramos principales en las facies terrígeno-carbonáticas que componen la Unidad Superior, que hacemos equiparar aquí con tres subunidades estratigráficas de carácter informal. (Lámina V.A). Estas tres subunidades se caracterizan por una representación de las facies centrales, debido a la ausencia de registro de las facies proximales y medias en los sectores septentrional, occidental y oriental.

5. 2. DESCRIPCIÓN DE LAS SUBUNIDADES DE UNIDAD SUPERIOR

5. 2. 1. SUBUNIDAD DE LUTITAS Y LIMOS ROJOS CON CONGLOMERADOS SILÍCEOS Y ONCOLÍTICOS (L_R-SUP)

Localización y distribución de facies

Su representación en el Bloque Sur-Páramo se encuentra muy ligada a la distribución general de la unidad (Fig. 3.38), encontrándose tan sólo pequeños afloramientos residuales en el Bloque Sur-Oriental, cerca de la localidad de Torres.

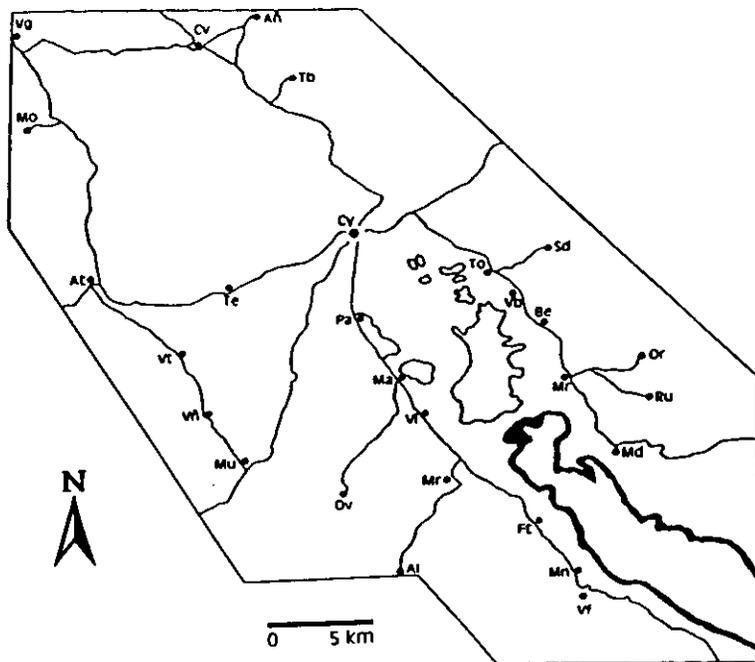


Figura 3.38. Distribución geográfica de la Subunidad de lutitas y limos rojos con conglomerados silíceos y oncolíticos (L_R -SUP).

Descripción

El estudio sedimentológico de esta subunidad se ha realizado en un gran número de secciones estratigráficas que cubren la Unidad Superior tanto en el Valle del Río Jiloca, como en el del Río Jalón (Lámina V.B). La subunidad presenta una morfología de cuña, con un aumento considerable de potencia hacia el SE de la cuenca. Su espesor oscila entre los 5 m (área de Villalba de Perejiles) y los 65 m (área de Montón-Villafeliche). Hacia la zona de Daroca, fuera del sector estudiado, la potencia de esta subunidad se man-

tiene más o menos estable con una leve tendencia a la disminución, que se hace realmente patente en la localidad de Nombrevilla. Por el contrario, hacia el sector al Norte del Río Jalón, se pierde el registro de esta subunidad.

Litológicamente, se compone de lutitas y limos rojos con intercalaciones de niveles arenosos y conglomeráticos polimícticos de cuarzo, cuarcita y pizarra. Los cantos se caracterizan por su redondez y por encontrarse soportados por una matriz lutítica. También se encuentran niveles canalizados, más abundantes hacia el techo de la subunidad (ver sección *Fte*), formados casi íntegramente por oncoides y fitoclastos, o con carga mixta de siliciclásticos, y oncoides formados por un fino encostramiento de calcita sobre cantos terrígenos.

Relaciones con otras subunidades

Esta subunidad constituye la base de la Unidad Superior. Su contacto con la infrayacente Unidad Intermedia, representa una de las discontinuidades sedimentarias más marcadas y evidentes de la cuenca. Se apoya sobre las subunidades DC_{py} -INT, C_B -INT y C_{PG} -INT. Estratigráficamente, dentro de la Unidad Superior precede a la Subunidad de tobas autóctonas y facies de removilización tobácea (T_A -SUP).

5. 2. 2. SUBUNIDAD DE TOBAS AUTÓCTONAS Y DEPÓSITOS DE REMOVILIZACIÓN TOBÁCEA (T_A -SUP)

Localización y distribución de facies

La representación de la Subunidad (T_A -SUP) en la Cuenca de Calatayud, sigue las pautas que hemos definido previamente para la Unidad Superior en su conjunto, estando estrechamente ligada a la distribución de la Subunidad de lutitas y limos rojos con conglomerados silíceos y oncolíticos (L_R -SUP) (Fig. 3.39), aunque a diferencia de ésta, no se ha encontrado en los Bloques Sur-Occidental y Sur-Oriental.

Descripción

El estudio sedimentológico, al igual que en el caso anterior, ha sido llevado a cabo en un gran número de secciones, habiéndose realizado las columnas estratigráficas de detalle *BEL-4*, *VEL-1* y *VEL-3*, que han mostrado su gran utilidad en el análisis de facies tobáceas. El espesor medio de esta subunidad varía entre los 20-30 m y forman un resalte morfológico sobre las facies terrígenas de la subunidad L_R -SUP. En gran parte de la cuenca, la Superficie de Erosión Fundamental (Solé Sabaris, 1978), se desarrolla al nivel de esta subunidad.

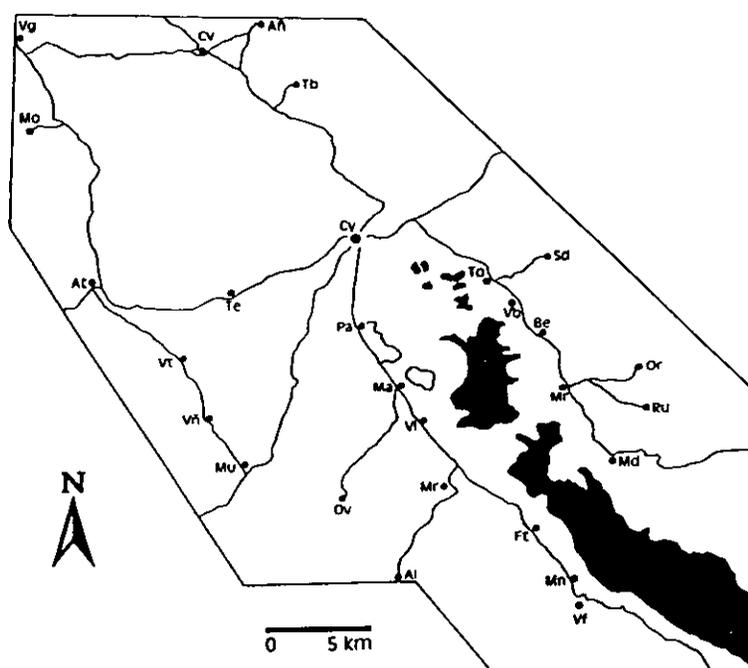


Figura 3.39. Distribución geográfica de la Subunidad de tobas autóctonas y depósitos de removilización tobácea (T_A -SUP).

Esta subunidad comprende facies carbonáticas con una gran variabilidad de facies tobáceas. La base queda normalmente marcada por un nivel muy irregular (3-6 m de potencia) de carbonato noduloso altamente recristalizado y con gran continuidad lateral. Su base es sinuosa e irregular, con abundante contenido en terrígenos y en ocasiones oncoides.

Las facies tobáceas de esta subunidad constan principalmente de depósitos tobáceos autóctonos y facies de removilización tobácea, tales como tobas oncolíticas, tobas fitoclásticas o intraclásticas (en el sentido de Pedley, 1990), así como niveles carbonáticos bioturbados y bioclásticos. La subunidad incluye niveles calizos y calcomargosos con cierta continuidad lateral, alta recristalización, y potencias entre 0,5-1,5 m con bases y geometrías irregulares, relacionadas con facies de removilización tobácea. Los depósitos tobáceos autóctonos forman tramos de potencia muy variable, desde unos cm a 4-5 m de potencia que rellenan frecuentemente canales. Las morfologías tabulares se corresponden con niveles con huellas de raíces y bioclastos. (Lámina V.B)

Relaciones con otras subunidades

Estratigráficamente, esta subunidad queda sobre la Subunidad de lutitas y limos rojos con conglomerados silíceos y oncolíticos (L_R -SUP) y debajo de la Subunidad de calizas laminadas de caráceas y gasterópodos (C_L -SUP).

5. 2. 3. SUBUNIDAD DE CALIZAS LAMINADAS DE CARÁCEAS Y GASTERÓPODOS (C_L -SUP)

Localización y distribución de facies

El afloramiento de esta subunidad se concreta y reduce al interfluvio de los ríos Jiloca y Perejiles (Bloque Sur-Páramo) desde una transversal trazada entre Belmonte de Gracián y Velilla de Jiloca hacia el NO. Su representación es parcial, ya que se encuentra asociada a sectores que han sufrido procesos de subsidencia sinsedimentaria y que han sido salvaguardados de la acción de procesos erosivos (Sanz-Rubio *et al.*, 1997) (Fig. 3.40).

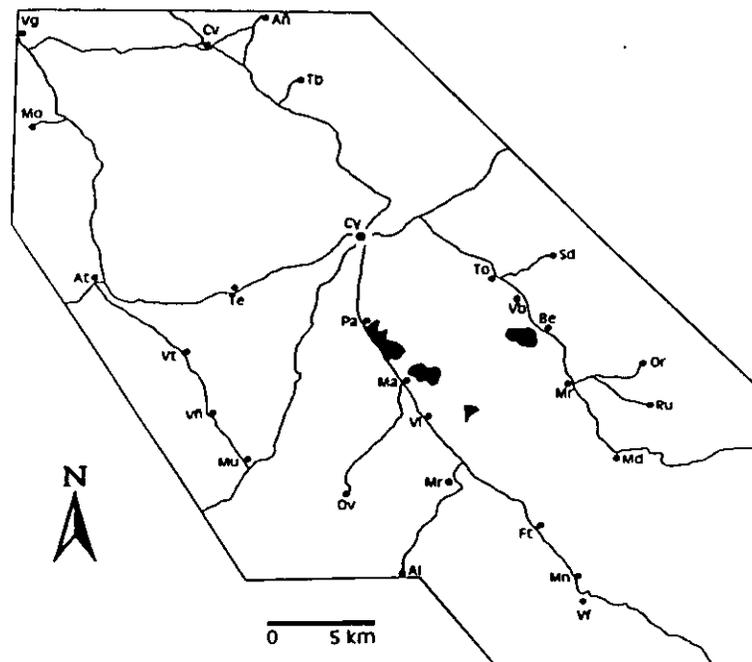


Figura 3. 40. Distribución de la Subunidad de calizas laminadas de caráceas y gasterópodos (C_L -SUP).

Descripción

El estudio sedimentológico se ha llevado a cabo fundamentalmente en las secciones *VEL-1*, *MAL*, *BEL-1*, *BEL-2*, donde se localizan las mayores potencias. Esta subunidad constituye el último tramo litológico diferenciable en la serie Mio-Pliocena con una potencia de afloramiento que puede alcanzar hasta 60 m. Las mayores potencias de esta subunidad han quedado salvaguardados de los efectos de la superficie de erosión finipliocena en áreas con procesos de colapso o subsidencia sinsedimentaria, cuyos mejores ejemplos son Maluenda y Belmonte (Sanz-Rubio *et al.*, 1997). En estas áreas, se puede diferenciar con facilidad el tránsito entre la subunidad infrayacente y la presente, pero en áreas, donde el páramo no se encuentra afectado por colapsos y subsidencia, esta subunidad no llega a aflorar.

Esta subunidad se compone de una serie de niveles calizos perfectamente tabulares de unos 10-15 cm de potencia cada uno, que presentan una laminación paralela muy bien definida. (Lámina V.C) Es un material muy incoherente, ligero, no cementado y caracterizado por una fábrica muy porosa con alguna efímera intercalación tobácea, que se compone fundamentalmente de tobas de caráceas y gasterópodos.

Relaciones con otras subunidades

Esta subunidad queda siempre sobre la Subunidad de tobas autóctonas y depósitos de removilización tobácea (T_A -SUP).

Lámina I. A) Vista general del sector sur-occidental de la Sierra de Armantes donde se observa en la base del relieve, bajo una marcada superficie estructural, el paso lateral de la Subunidad L_R -INF hacia zonas centrales de la cuenca a yesos de la Subunidad de yesos laminado-nodulares Y_{LN} -INF. Sobre la citada superficie se encuentran materiales carbonáticos de la Subunidad de dolomías y margas dolomíticas (DM_D -INT) que hacia sectores más distales cambian lateralmente de facies a la Subunidad de lutitas, limos y areniscas con calizas (LA_C -INT). B) Vista general del Sureste de la cuenca (Río Jiloca-Montón) donde se observa el paso desde la Subunidad L_R -INF hacia materiales de la Subunidad de yesos laminado-nodulares Y_{LN} -INF hacia la izquierda de la fotografía. A la derecha de la fotografía, sobre los tramos lutíticos quedan los materiales de la Subunidad de yesos mesolenticulares bioturbados (Y_{MB} -INT).

Lámina II. A) La Vilueña. Vista general del cambio de facies entre los materiales de la Subunidad L_C -INF (izquierda de la fotografía), adyacentes a facies de abanico aluvial, hacia facies yesíferas más internas (derecha de la fotografía). B) Sección compuesta de niveles continuos de yeso nodular de textura alabastrina (aislados, coalescentes, o masivos). Se reconocen tramos de potencia métrica con gran desarrollo de nódulos en una matriz lutítico-margosa magnesítica, que en ocasiones se encuentran verticalmente gradados. C) Aspecto de las secuencias de yeso laminado de la Unidad Inferior en sectores centrales de la cuenca.

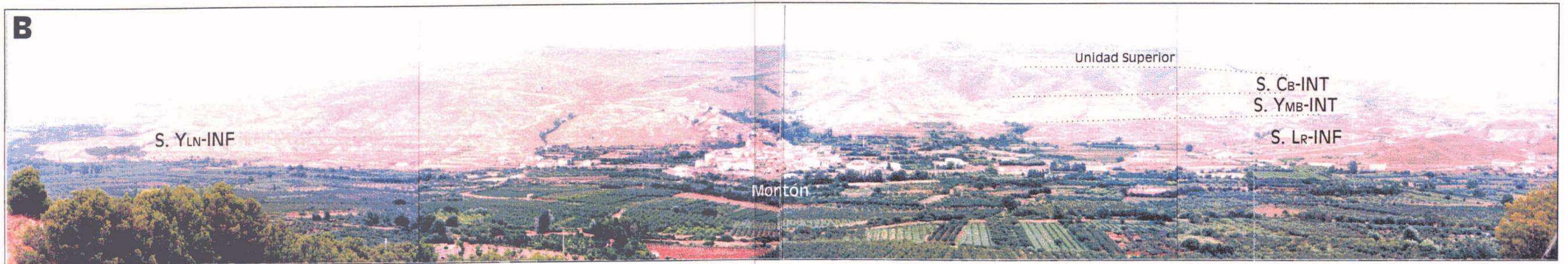
Lámina III. A) Aspecto de campo de los materiales que componen la Subunidad M_D -INT frente a la localidad de Morata de Jiloca, que se disponen bajo la Subunidad de calizas brechoideas, calizas con pseudomorfos de yeso lenticular y calizas palustres (CB_{PY} -INT). B) Aspecto de campo de la cantera de yesos de Montón (Subunidad de yesos de mesolenticulares bioturbados Y_{MB} -INT). C) Macroestructura de deformación (sector de Mara) donde se aprecian las facies brechoideas de la Subunidad CB_{PY} -INT (color ocre amarillento) que quedan sobre materiales más laminados de la Subunidad C_{LD} -INT (color blanquecino). D) Vista general de la sección Mor donde se aprecia el contexto estratigráfico de la Subunidad CB_{PY} -INT.

Lámina IV. A) Vista general del Bloque Sur-Páramo donde se aprecia la relación entre las principales subunidades descritas en la Unidad Intermedia y parte de la Unidad Superior. Del mismo modo, se reconoce un tramo de color blanquecino de la Subunidad C_B -INT, que, en determinados casos ha podido ser utilizado como nivel de correlación. B) Localidad de Orera. Cambio lateral de facies entre los materiales de la Subunidad DM_D -INT (izquierda de fotografía) y las arcillas y margas dolomíticas de la Subunidad de lutitas y margas dolomíticas bioturbadas (LM_{DB} -INT).

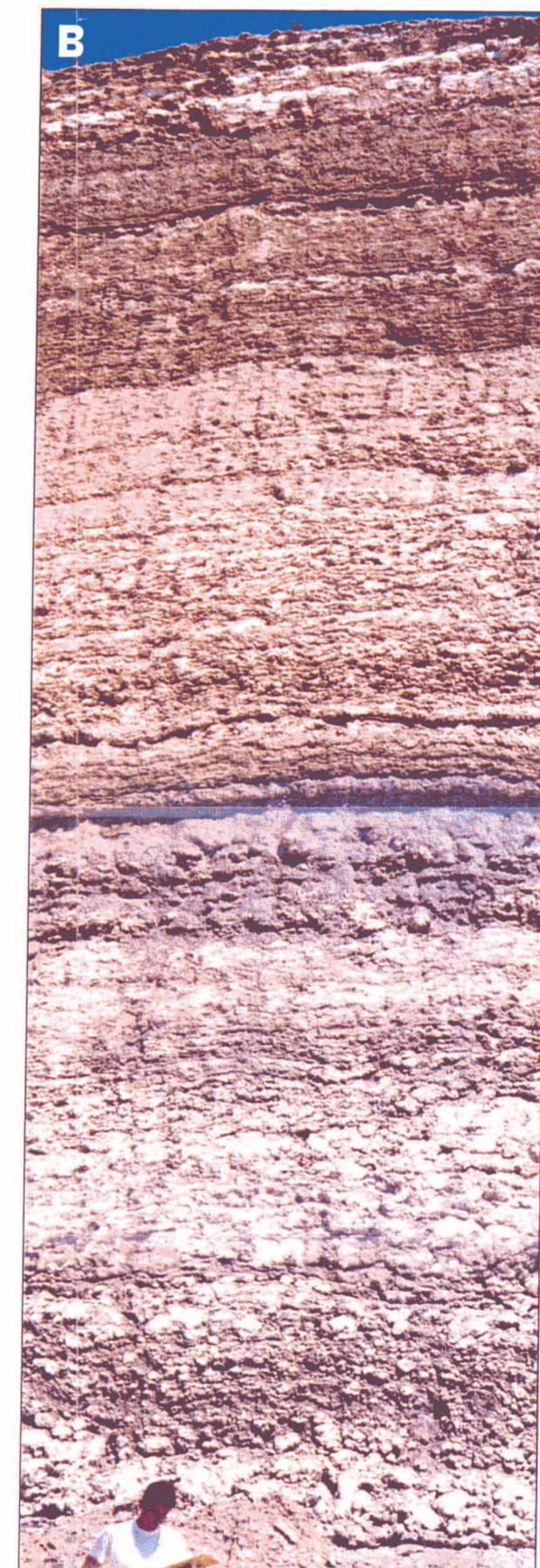
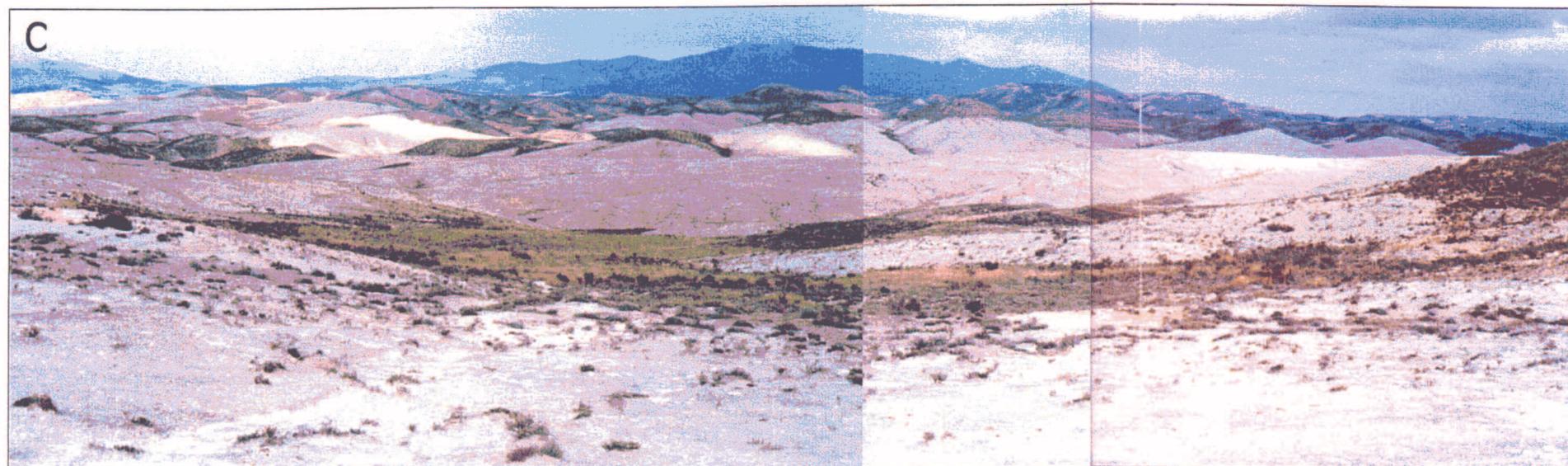
Lámina V. A) Reconocimiento en campo de las tres subunidades que forman la Unidad Superior (Localidad de Maluenda). B) Fuentes de Jiloca. Nivel de páramo con representación de la Subunidad T_A -SUP sobre la Subunidad L_R -SUP. C) Aspecto de las calizas laminadas de la Subunidad C_L -SUP.

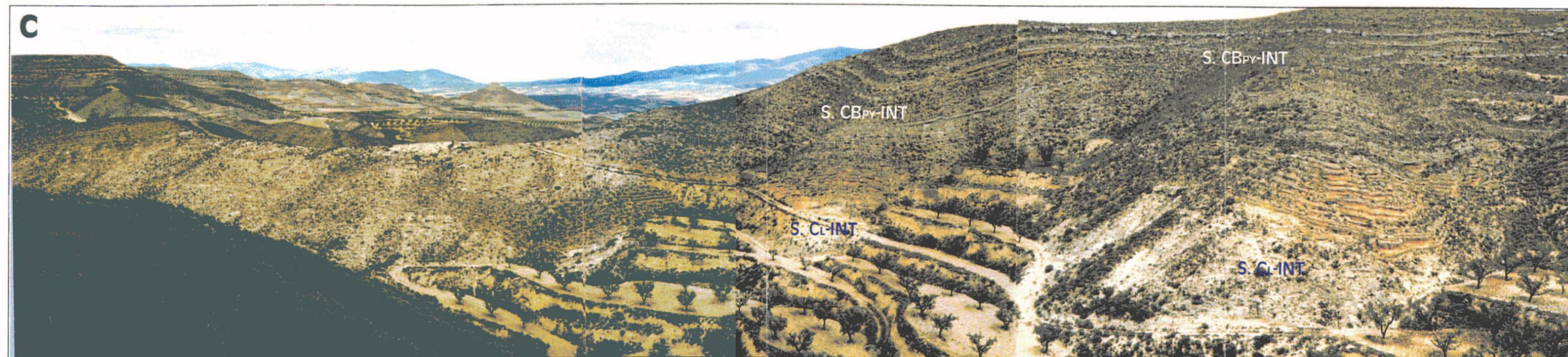
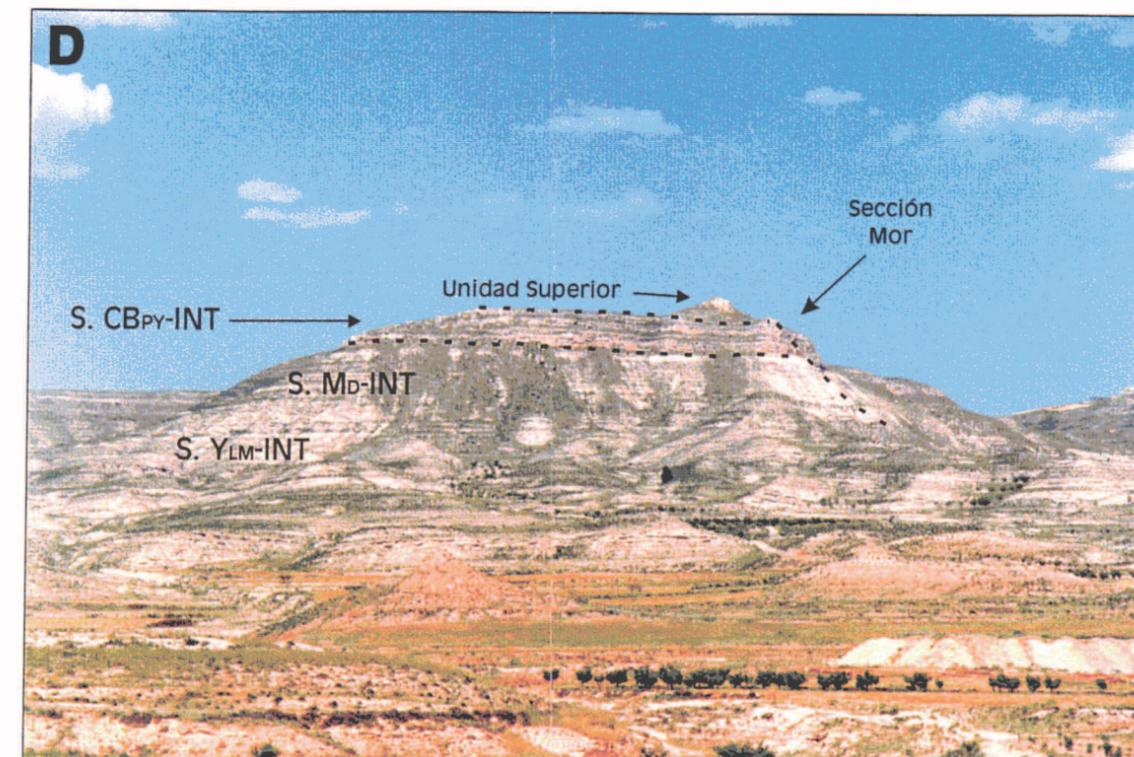
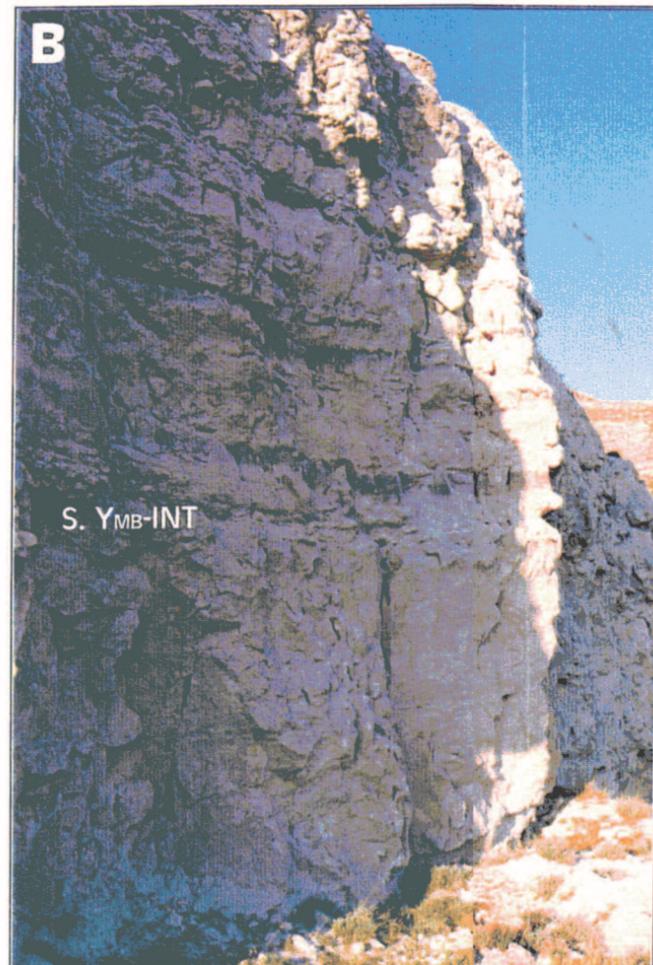
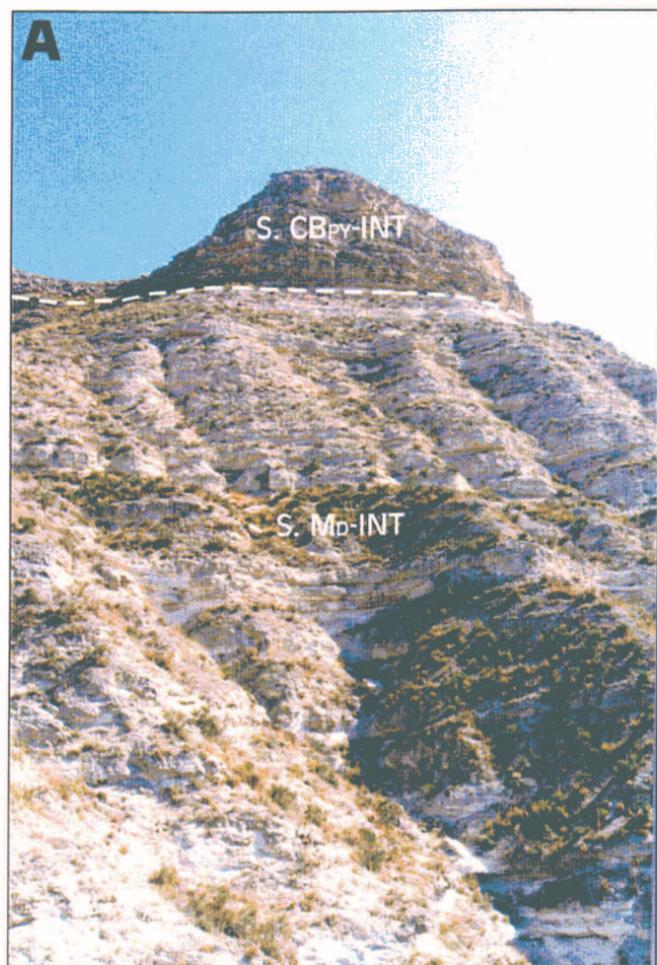


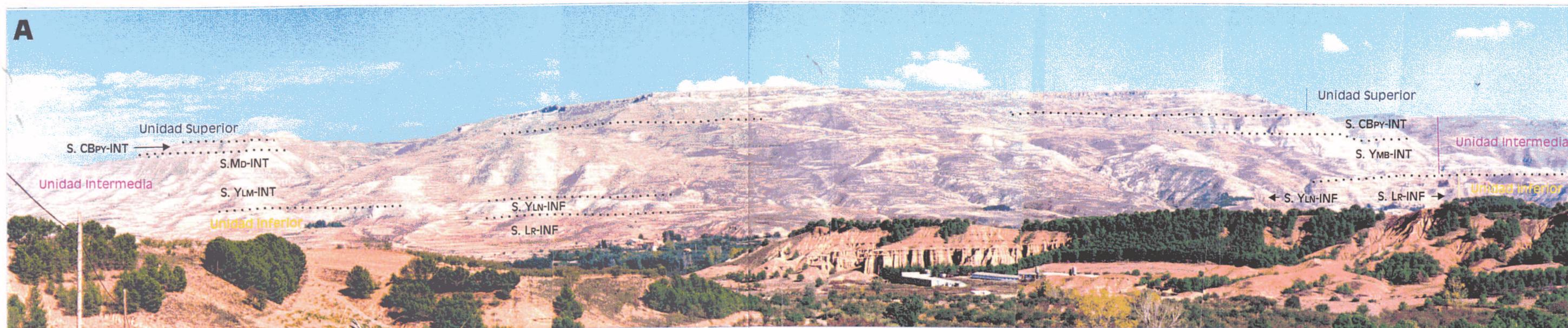
Sector Sur-Occidental de la Sierra de Armantes



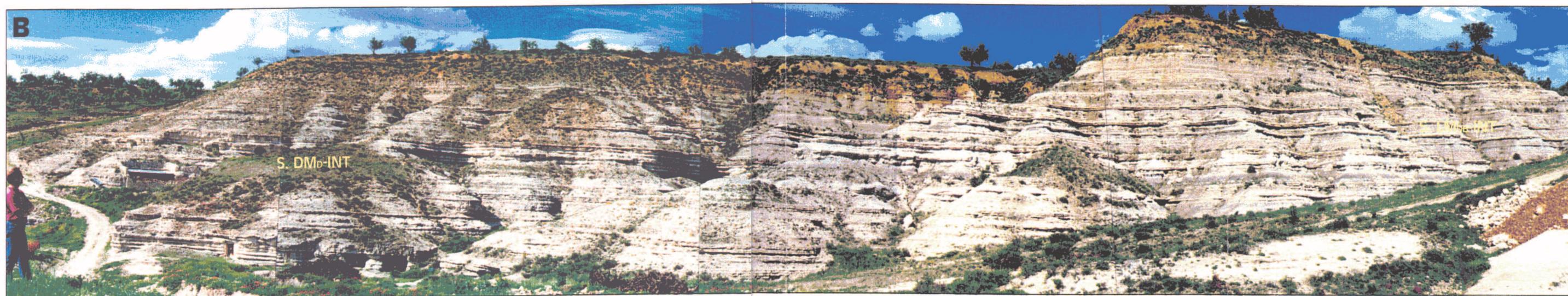
Valle del Jiloca (Montón)







Vista general del Bloque Sur-Páramo (Valle del Jiloca)



Vista general del cambio lateral de facies S. DM_D-INT/LM_{DB}-INT en la localidad de Orera



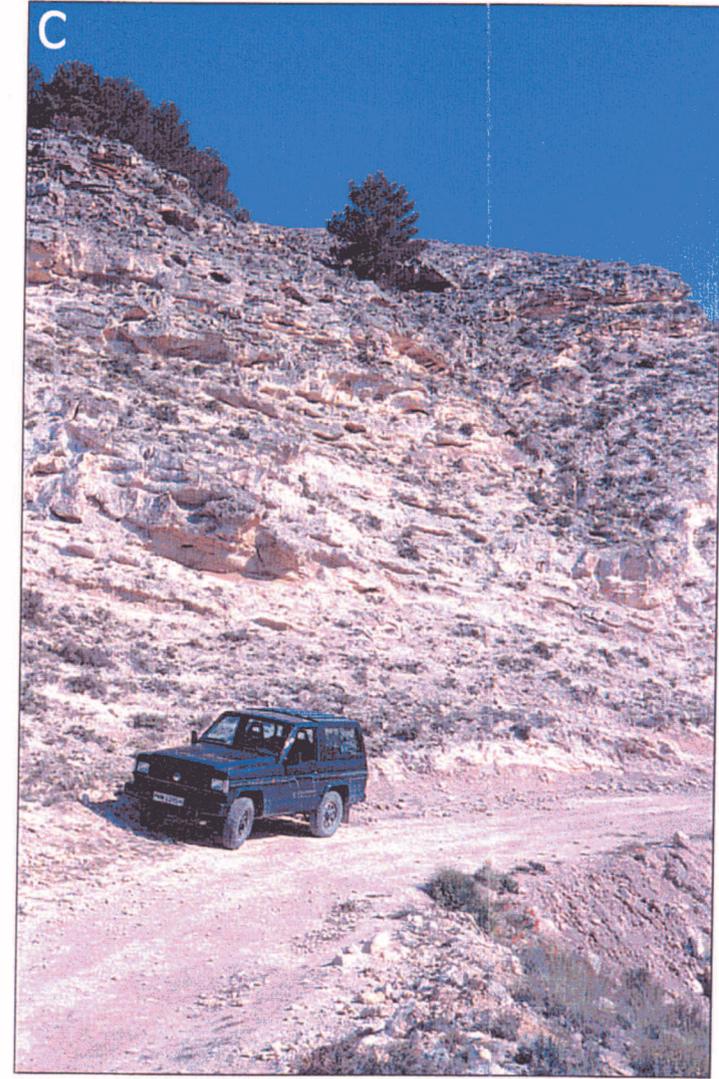
A

← Subunidad C_L-SUP

← Subunidad T_A-SUP

← Subunidad L_R-SUP

← Unidad Inferior



C



B

S. T_A-SUP

S. L_R-SUP

ABRIR CAPÍTULO 4

