4.- LAS FORMACIONES EVAPORITICAS.

4.- LAS FORMACIONES EVAPORITICAS.

4.1.- LOS YESOS DE PUENTE LA REINA.

4.1.1.- CARACTERISTICAS ESTRATIGRAFICAS.

Los materiales de esta unidad afloran en cuatro zonas diferentes:

1.- Núcleo del anticlinal de Añorbe. Es el afloramiento donde mejor se pueden reconocer estos materiales, especialmente en el extremo occidental del anticlinal (al Oeste del río Arga) donde los yesos son motivo de explotación en Mañeru (foto 127). En dicha localidad, los yesos afloran muy verticalizados, formando una serie monótona de unos 300-400 m. de potencia, constituída por capas masivas del orden métrico de espesor, separadas por niveles arcillosos de potencia menor (de pocos centímetros a uno o más metros). Las capas presentan una buena estratificación y tanto las arcillas como los yesos tienen tonos grisáceos y ocasionalmente rojizos. En la parte oriental del anticlinal se hallan las salinas de Obanos, que explotan un manantial salino que fluye del interior del anticlinal y que pone de manifiesto la presencia de niveles de halita en el subsuelo.

2.- Falla de Codes-Monjardín. A lo largo del plano de falla, los yesos se reconocen de forma discontinua muy laminados por la tectónica. Los mejores puntos para su observación son las pequeñas canteras abandonadas de Mués y Sorlada. En ellas la potencia de los yesos no rebasa los 10-20 m., pero se reconocen bien las litofacies yesíferas.

3.- Vertiente Norte de la Sierra del Perdón (fig. 23). RIBA y PEREZ MATEOS (1962) describen la presencia de facies yesíferas en la vertiente Norte del Perdón, por encima

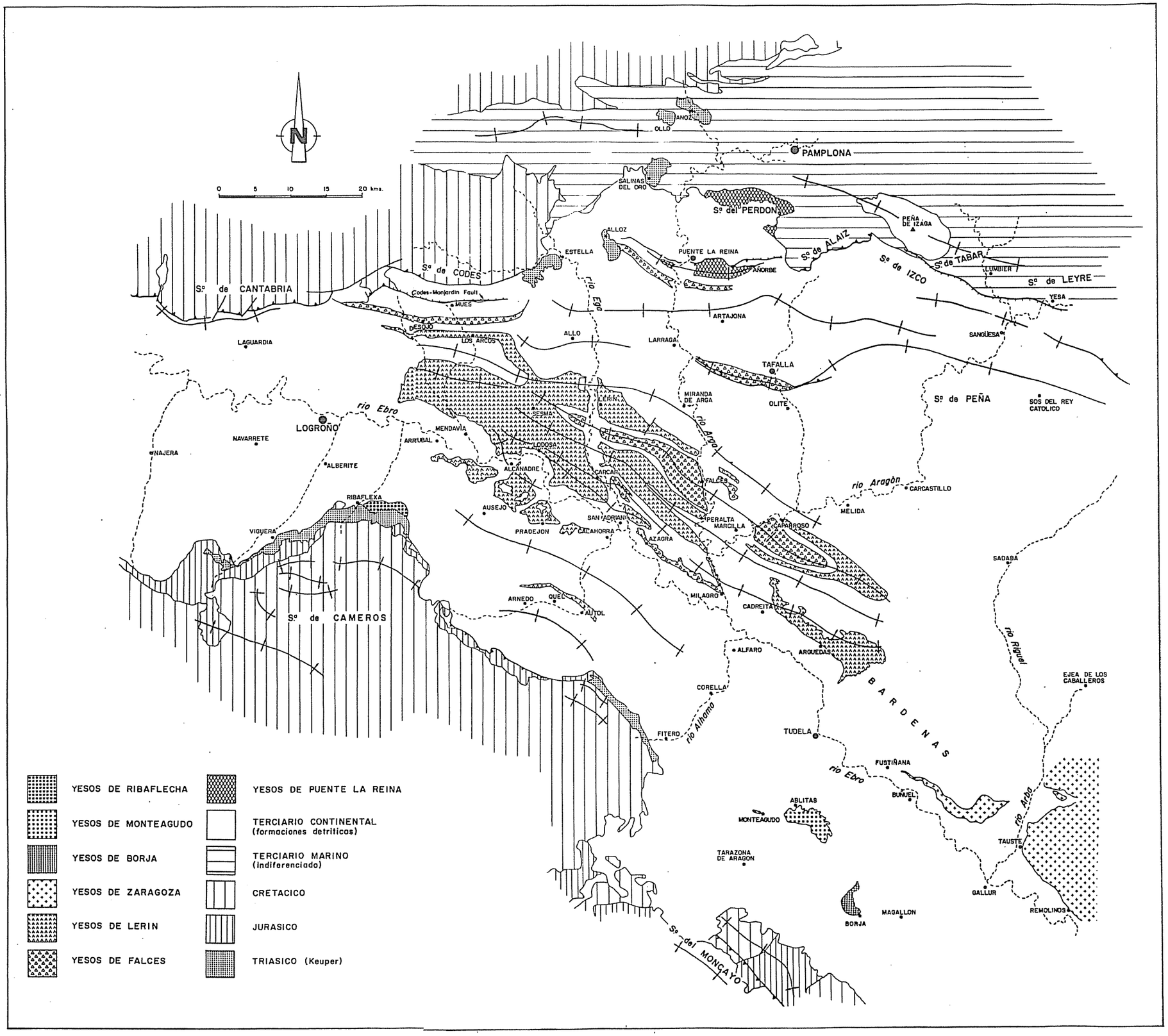
estratigráficamente de las Areniscas de Liédena. Esta zona, muy erosionada y cubierta por vegetación, resulta un lugar poco adecuado para el estudio detallado de los Yesos de Puente La Reina. Sin embargo, es el único punto de la cuenca donde puede reconocerse la base de la serie en continuidad directa sobre el Terciario marino de la cuenca de Pamplona. Estos yesos han sido atravesados en diversas ocasiones por los sondeos de prospección de potasas, que han permitido reconocer entre los mismos niveles de sal (halita) (DEL VALLE y PUIGDEFABREGAS, 1978). La parte alta de la Sierra del Perdón está constituída por los conglomerados del Oligoceno superior (conglomerados del Perdón), que descansan en discordancia angular sobre la serie de Puente La Reina, parcialmente erosionada.

4.- Sector de Arizaleta-Azcona. Constituye una pequeña zona de afloramiento de yesos y arcillas, de tonos rojizos, que en el Mapa Geológico de Navarra (CASTIELLA et.al. 1978) figuran como pertenecientes a la Fm. Lerín. Su situación estratigráfica es confusa debido a la complejidad estructural de la zona. Sin embargo, por sus características litológicas, estos yesos corresponden, en nuestra opinión, a los de Puente La Reina. El mejor punto para su observación es la pequeña cantera abandonada que se halla en la carretera de Arizala a Riezo, a la altura de Azcona. Cerca de esta cantera se realizó el sondeo de Arizaleta (AZ) (Diputación Foral de Navarra) con fines hidrogeológicos, del que hemos podido estudiar algunos testigos (anhidrita) que describiremos en el próximo apartado.

* * * *

La estratigrafia de los Yesos de Puente La Reina es difícil de establecer sólo a partir de los datos de superficie de que disponemos, dado el carácter incompleto y distorsionado de la serie en los diferentes afloramientos que hemos citado. A pesar de ello, pueden exponerse las siguientes características:

Figura 21.- Mapa geológico del sector navarro-riojano de la cuenca del Ebro, con situación de las formaciones evaporíticas motivo del presente estudio y rasgos estructurales principales.


N
0 5 10 15 20 kms.
ANOZ
OLLO
PAMPLONA
SALINAS DEL ORO
Sº del PERDON
PEÑA DE IZAGA
ALLOZ
ESTELLA
PUENTE LA REINA
Sº de ALAIZ
Sº de TABAR
Sº de IZCO
ANORBE
LUMBIER
Sº de LEYRE
YESA
Sº de CANTABRIA
Sº de CODES
Codes-Monjardin Fault
MUES
río Ega
ARTAJONA
DESOJO
LOS ARCOS
ALLO
LARRAGA
SANGÜESA
LAGUARDIA
TAFALLA
LERIN
MIRANDA DE ARGA
río Arga
OLITE
Sº de PEÑA
SOS DEL REY CATOLICO
río Ebro
LOGROÑO
SESMA
NAVARRETE
MENDAVIA
ARRUBAL
LODOSA
NAJERA
ALBERITE
ALCANADRE
CARCAR
FALCES
río Aragón
CARCASTILLO
RIBAFLEXA
AUSEJO
SAN ADRIAN
PERALTA
MARCILLA
CABAÑOSO
MELIDA
VIGUERA
PRADEJON
CALAHORRA
AZAGRA
SADABA
ARNEDO
QUEL
AUTOL
MILAGRO
CADREITA
Sº de CAMEROS
ALFARO
ARGUEDAS
río Riguel
EJEA DE LOS CABALLEROS
CORELLA
río Alhama
B A R D E N A S
FITERO
TUDELA
río Ebro
FUSTIÑANA
BUÑUEL
río Arga
ABLITAS
MONTEAGUDO
TAUSTE
TARAZONA DE ARAGON
GALLUR
REMOLINOS
MAGALLON
BORJA
Sº del MONCAYO
YESOS DE RIBAFLECHA
YESOS DE MONTEAGUDO
YESOS DE BORJA
YESOS DE ZARAGOZA
YESOS DE LERIN
YESOS DE FALCES
YESOS DE PUENTE LA REINA
TERCIARIO CONTINENTAL (formaciones detriticas)
TERCIARIO MARINO (indiferenciado)
CRETACICO
JURASICO
TRIASICO (Keuper)

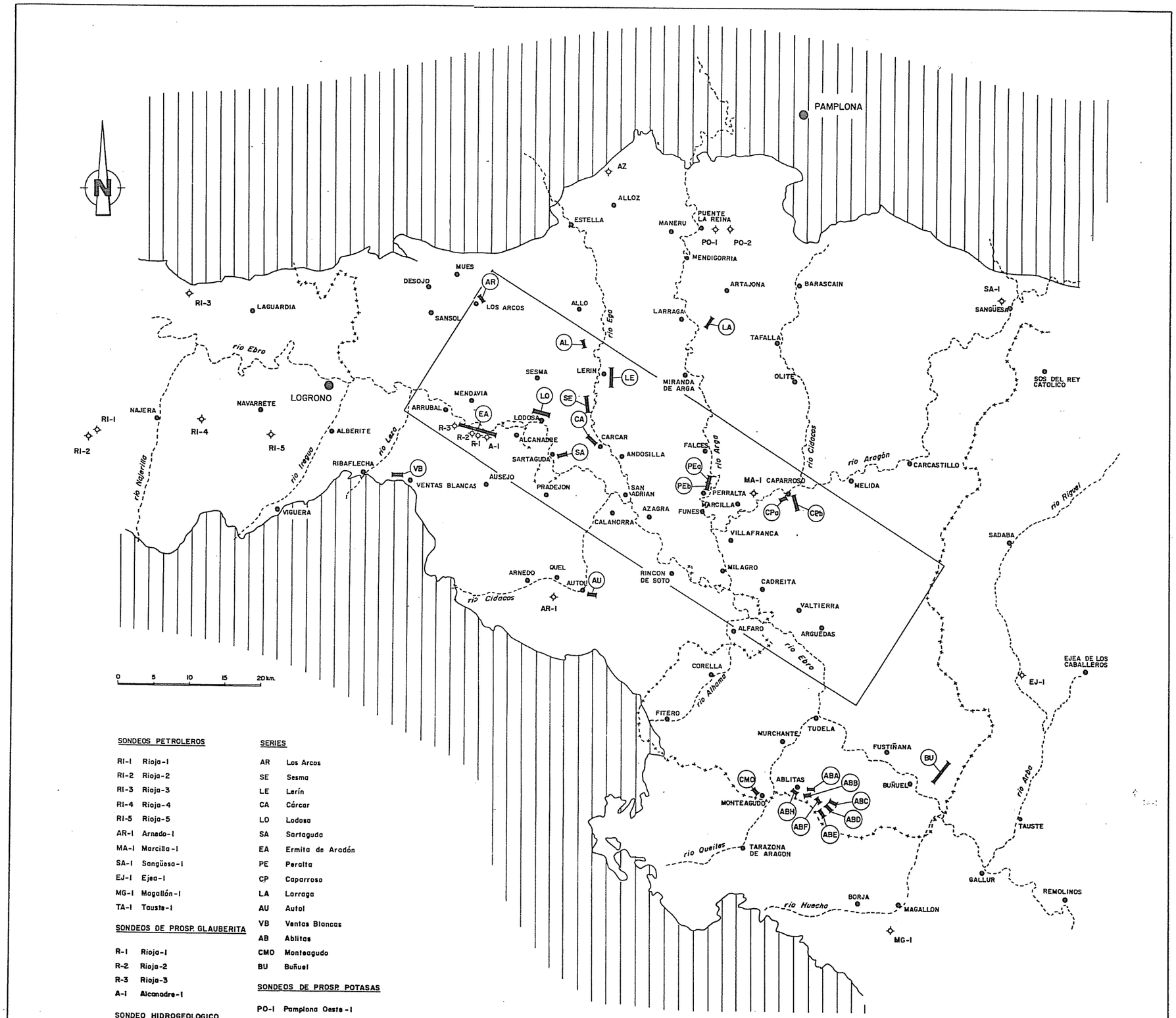
Los Yesos están desarrollados en la franja septentrional de la Ribera de Navarra (fig. 41). Hacia el Este pasan lateralmente a las facies lacustres y fluviolacustres de Zabalza y Javier (PUIGDEFABREGAS, 1975). Hacia el Sur pasan en subsuelo a las facies lutíticas de la "formación detrítica oligocena basal" (ENRESA, 1987). Hacia el Norte y el Oeste no se conocen los límites de la formación por quedar sus materiales, respectivamente, erosionados en la cuenca de Pamplona y cubiertas bajo la Sierra de Cantabria. Su depocentro puede corresponder a la zona del anticlinal de Añorbe, donde se observa un mayor desarrollo de las facies evaporíticas.

La potencia de los Yesos de Puente La Reina puede estimarse en unos 200-400 m. a partir de los materiales aflorantes (en la Sierra del Perdón llegan a superar los 400 m. (fig. 23), según DEL VALLE y SANCHEZ CARPINTERO, 1971), aunque esta potencia puede ser mayor en el subsuelo.

En las proximidades de Puente La Reina se realizaron dos sondeos de prospección de sales potásicas que llegaron a profundidades de 650 m. (sondeo Oeste de Pamplona nº 1) y 602 m. (sondeo Oeste de Pamplona nº 2). Estos sondeos (fig. 24) , descritos por ROJAS et.al. (1973), cortaron una importante serie evaporítica de yeso y sal datada como finieocena-oligocena inferior que se halla en contacto mecánico sobre materiales del Oligoceno superior-Mioceno ?.

La serie evaporítica consta de un potente tramo halítico inferior, de 124.5 m. de espesor en el sondeo 1, y de 230.26 m. en el sondeo 2, atribuido por los citados autores a la formación potásica; y un serie superior de arcillas y yesos en la que se individualizan tres tramos: 1) tramo inferior de yeso masivo con intercalaciones margosas, de 90 y 64.74 m. de espesor respectivamente en los sondeos 1 y 2; 2) tramo intermedio de margas con algunos niveles yesíferos, de 65 y 152 m. de espesor respectivamente; 3) tramo superior de arcillas y yesos de 20 m. de potencia (sólo en el sondeo 1).

Figura 22.- Mapa de situación de los perfiles estratigráficos y sondeos estudiados y muestreados en el presente estudio.



SONDEOS PETROLEROS

RI-1	Rioja-1
RI-2	Rioja-2
RI-3	Rioja-3
RI-4	Rioja-4
RI-5	Rioja-5
AR-1	Arnedo-1
MA-1	Marcilla-1
SA-1	Sangüesa-1
EJ-1	Ejea-1
MG-1	Magallón-1
TA-1	Tauste-1

SONDEOS DE PROSP. GLAUBERITA

R-1	Rioja-1
R-2	Rioja-2
R-3	Rioja-3
A-1	Alcanadre-1

SONDEO HIDROGEOLOGICO

AZ	Azcona

SERIES

AR	Los Arcos
SE	Sesma
LE	Lerín
CA	Cárcar
LO	Lodosa
SA	Sartaguda
EA	Ermita de Aradón
PE	Peralta
CP	Caparroso
LA	Larraga
AU	Autol
VB	Ventas Blancas
AB	Ablitas
CMO	Monteagudo
BU	Buñuel

SONDEOS DE PROSP. POTASAS

PO-1	Pamplona Oeste-1
PO-2	Pamplona Oeste-2

Los tres tramos superiores corresponden a los Yesos de Puente La Reina con toda seguridad, pero no está clara la equivalencia del tramo halítico con la formación potásica: por un lado no se identifican las Areniscas de Liédena separando ambas formaciones evaporíticas, como ocurre en toda la cuenca de Pamplona; por otro lado no se han detectado niveles de potasas en este tramo halítico; y en tercer lugar no se identifican tampoco las "margas de techo" de la formación potásica entre la sal y los yesos continentales.

ROJAS et.al. (1973) creen que estas sales pertenecen a la formación potásica, y corresponden a una subcubeta situada en la zona de Puente La Reina, separada de la cuenca potásica principal por un umbral que habría impedido la expansión hacia el Sur de la Arenisca de Liédena y el desigual desarrollo de la serie oligocena por encima de las sales. Este umbral tendría una posición similar a la de la actual sierra del Perdón. ROSELL ORTIZ (1983) también acepta esta interpretación, y considera la unidad salina como unas facies marginales de la cuenca Potásica.

Otra posible interpretación es la de considerar la serie evaporítica en su conjunto como perteneciente a la unidad Puente La Reina, y que la falla que limita por la base estos materiales afecte sólo a la serie continental, sin estar involucradas las evaporitas de la formación potásica. En este caso, sería especialmente destacable el desarrollo de las facies halíticas en la formación Puente La Reina, de las que en la actualidad no tenemos ninguna información. El estudio geoquímico y petrológico de estas sales podría ser decisivo para aceptar una u otra interpretación.

4.1.2.- PETROLOGIA.

Litológicamente la formación Puente La Reina está constituída por yesos y arcillas en superficie, y por anhidrita, arcillas y halita en profundidad. En este apartado haremos referencia principalmente al yeso y anhidrita, aunque también daremos algunos datos sobre la composición mineralógica de las arcillas. No hemos podido disponer de muestras de halita para su estudio.

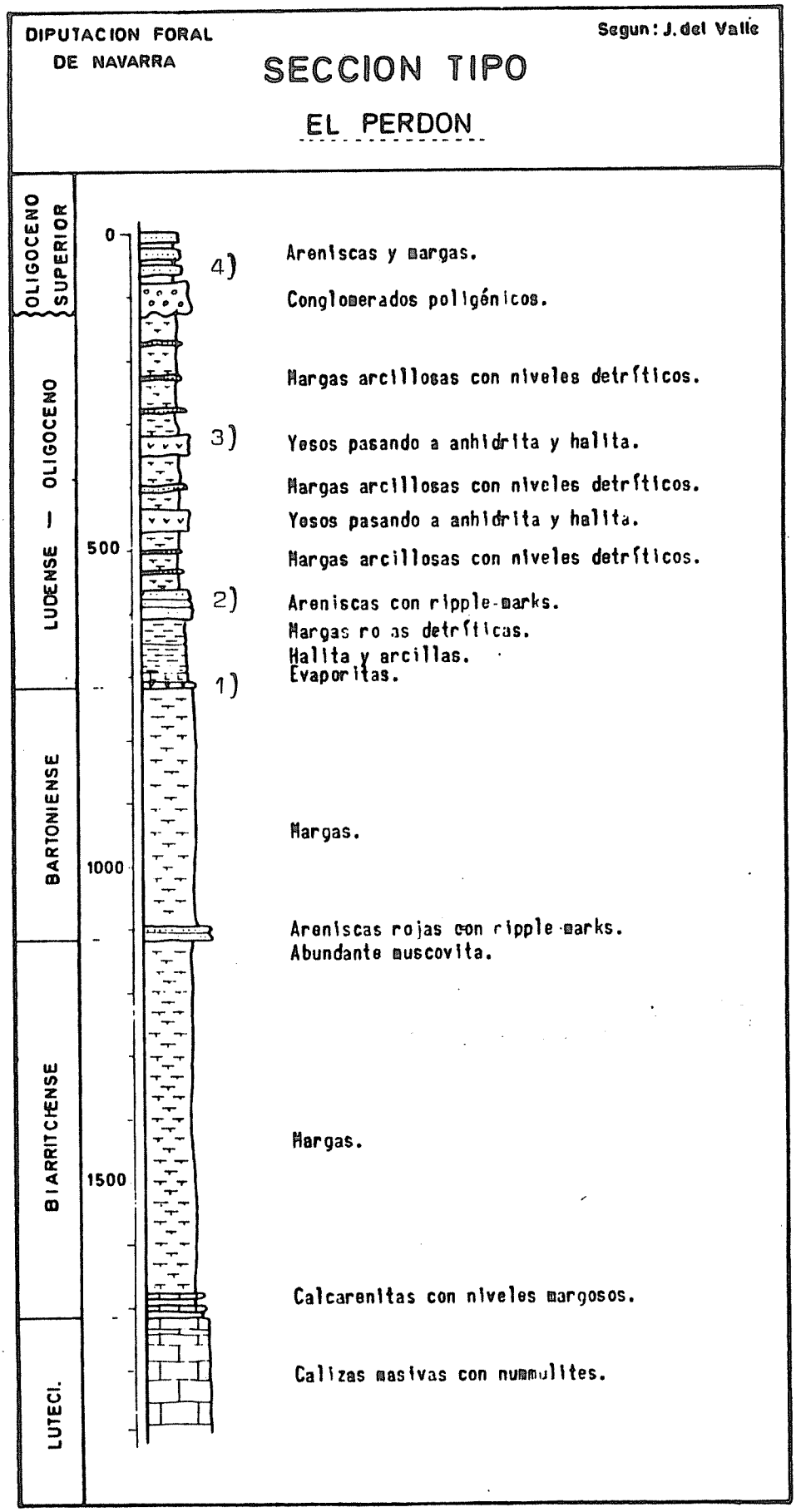


Figura 23.- Perfil estratigráfico del Terciario marino y continental en la Sierra del Perdón. En él se indica la posición de la Formación Potásica (1) y Areniscas de Liédena (2), que marcan el techo del Terciario marino, así como los Yesos de Puente La Reina (3) y los Conglomerados del Perdón (4), discordantes sobre los anteriores (DEL VALLE y SANCHEZ CARPINTERO, 1971).

4.1.2.1.- EL YESO y LA ANHIDRITA.

A) Litofacies.

De las diferentes observaciones realizadas sobre los materiales de esta unidad se deduce una pobreza en variedades en las litofacies de sulfato cálcico. Se trata de yesos laminados (foto 2) o nodulares (foto 1), en forma de capas masivas de espesor métrico. Estas facies presentan unas características bien diferentes de las ofrecidas por las otras formaciones evaporíticas que hemos estudiado, lo que permite su clara distinción en los afloramientos a pesar de que la estratigrafía en los mismos no esté del todo clara por causas tectónicas o diapíricas.

En las canteras de Mañeru los yesos se presentan en bancos bien estratificados de yeso laminado de gran pureza. La laminación se manifiesta como bandas de tonalidad gris más claras u oscuras según la cantidad de impurezas que contiene el yeso. En otras ocasiones la laminación se manifiesta por una alternancia milimétrica de yeso y carbonato (micrita). Con frecuencia esta laminación ofrece un aspecto brechoso o "boudinado", debido a las deformaciones que han sufrido estos materiales.

En los demás afloramientos el tipo de litofacies dominante o exclusiva es la nodular. Los nódulos son de pequeño tamaño (centimétricos) y forman densos empaquetados ("chiken-wire") con coloración rojiza o grisácea indistintamente. Las capas de yeso nodular también están bien estratificadas y son de gran pureza. En algunos casos el contenido en matriz lutítica internodular es mayor (cantera de Azcona) y el yeso tiene un color rojizo más intenso.

B) Petrografía.

El tipo de sulfatos que constituyen la formación es exclusivamente de yeso secundario en superficie y anhidrita en profundidad:

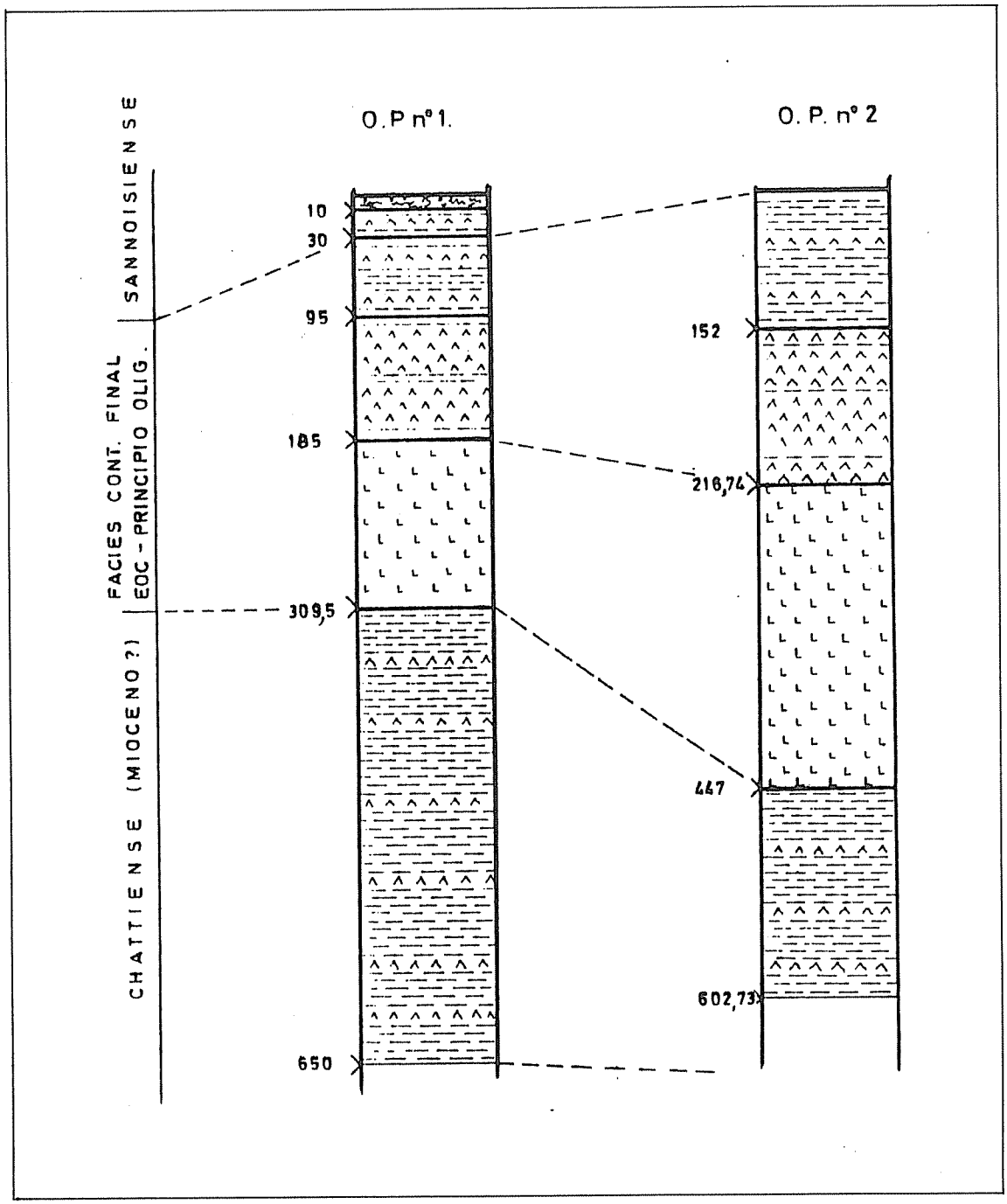


Figura 24.- Perfiles litológicos y unidades, de los sondeos Oeste Pamplona-1 y Oeste Pamplona-2, en las proximidades de Puente La Reina, con fines de prospección de sales potásicas (ROJAS et.al., 1973).

El yeso secundario es alabastrino (con porfiroblastos en algunos casos), aunque también se han reconocido algunos niveles de yeso megacristalino (cantera de Mañeru).

Las muestras de anhidrita estudiadas al microscopio (sondeo de Azcona) ofrecen las siguientes características:

- La anhidrita presenta preferentemente hábito prismático (fotos 5 y 6), con tamaño cristalino que puede variar entre 50 y 500 µm., formando una microestructura desorientada e inequigranular. En algunos casos los prismas de anhidrita tienden a formar agregados esferulíticos o en abanico.

- La anhidrita constituye niveles masivos muy puros, o bien densos empaquetados micronodulares con matriz lutítico-carbonatada más o menos abundante. El tamaño de estos micronódulos en las láminas estudiadas es muy variable: desde 100 µm hasta 1-2 mm.

- La matriz lutítico-carbonatada está principalmente constituída por micrita, entre la que se reconocen diferentes componentes: bioclastos (fragmentos de foraminíferos de diversos géneros (fotos 3 y 4), fragmentos de bivalvos, gasterópodos, briozoos, etc.); granos de cuarzo de tamaño arena fina (monocristalinos y angulosos, con frecuente extinción ondulante), así como feldespatos; minerales opacos (hematites...); fragmentos de roca. También se han reconocido algunos pequeños granos de color verdoso de posible glauconita.

4.1.2.2.- LAS ARCILLAS.

En las canteras de Mañeru, siguiendo un corte transversal Norte-Sur a las mismas, se han recogido y analizado por difracción de Rayos-X, varias muestras de arcillas intercaladas entre las capas de yeso motivo de la explotación (tabla 5). En este sector, las arcillas son de color gris dominante, aunque se individualizan algunos horizontes rojizos, poco representativos.

Los análisis de difracción de Rayos-X permiten ver que se trata de arcillas del tipo Illita, Clorita, entre las que

destacan en menor grado de importancia arcillas expansibles de carácter indeterminado. Los carbonatos (calcita y dolomita) están presentes en relativa abundancia como minerales acompañantes. Los tectosilicatos (cuarzo, feldespatos) están prácticamente excluidos en la fracción arcillosa analizada.

Tabla núm 5 — Arcillas Canteras de Mañeru / Yesos de Puente La Reina

muestra	il	cl	ca	es	ex	cc	do	mg	cz
MÑ-1	■	■			■		■		
MÑ-2	■	■				■	■		■
MÑ-3	■	■	?		■				
MÑ-4	■	■	?			■	?		
MÑ-5	■	■			?	■			
MÑ-6	■	■			■		■		
MÑ-7	■	■			■	■			
MÑ-8	■	■			■	■	■		
MÑ-9	■	■			■	■	■		

La Tabla número 5 presenta la composición mineralógica de las arcillas de los Yesos de Puente La Reina analizadas por difracción de Rayos-X. Los minerales que se indican en la cabecera de la tabla son los siguientes:

il = illita — cc = calcita
cl = clorita — do = dolomita
ca = caolinita — mg = magnesita
es = esmectita — cz = cuarzo
ex = arcillas expansibles
■ = mineral indentificado
? = mineral de presencia dudosa

4.1.3.- SEDIMENTOLOGIA.

La posición de los Yesos de Puente La Reina justo por encima de las facies marinas de la Fm. Guendulain (potasas y Arenisca de Liédena), en un contexto paleogeográfico con pocas variaciones del que caracterizó las facies anteriores, pueden hacernos dudar del origen continental que clásicamente se le atribuyen a estas evaporitas.

Podría aceptarse perfectamente un origen marino para los Yesos de Puente La Reina, como resultado de la evaporación de aguas marinas en un ambiente evaporítico de transición entre las facies fluvio-lacustres continentales de la cuenca de Jaca por el Este, y el mar en regresión por el Oeste. Esta influencia marina quedaría además reforzada por la presencia de fauna marina entre las evaporitas (fotos 3 y 4), y por las particulares facies de esta formación bien, diferentes de las ofrecidas por las otras formaciones evaporíticas de edad más moderna, de origen típicamente continental (de hecho, las facies evaporíticas que muestran los Yesos de Puente La Reina tienen un mayor parecido con las marinas del Triásico -Keuper, Muschelkalk medio- que propiamente con las otras de origen continental de la cuenca del Ebro).

Sin embargo, el origen continental de los Yesos de Puente La Reina parece estar demostrado por UTRILLA (1989) a partir de la composición isotópica de sus sulfatos: la citada autora analizó dos muestras de yeso pertenecientes a dos localidades diferentes donde afloran los Yesos (una correspondiente a litofacies laminada en la cantera de Mañeru; otra de litofacies nodular en la cantera de Muéz) y obtuvo valores típicamente no marinos para la misma (tabla nº 25). También puntualiza que los sulfatos de la formación Puente La Reina por sus características isotópicas deben proceder del reciclaje de las evaporitas triásicas.

De lo expuesto parece obligado admitir que estas evaporitas se generaron en un medio continental aislado ya del mar, a partir de aguas procedentes de las cordilleras periféricas a la cuenca. Probablemente pueda atribuirse al reciclaje del Trias de los diapiros de la Cordillera Cantábrica (Estella, Alloz, Salinas de Oro, etc.) cuya extrusión data ya en algunos casos desde el Cretácico superior (PFLUG, 1967, KIND, 1967).

La presencia de fauna marina entre las evaporitas de Puente La Reina debe interpretarse entonces como el material reciclado de los Eocenos marinos en estado de erosión en el margen Surpirenaico.

Desde un punto de vista paleogeográfico, las evaporitas se desarrollaron en un surco sedimentario en posición meridional con respecto a la cuenca de Pamplona, con depocentro en el actual núcleo del anticlinal de Añorbe (fig 41). En esta zona la presencia de facies laminadas de yeso (Mañeru) y de halita ponen de manifiesto el desarrollo de un ambiente lacustre evaporítico relativamente estable. Perifericamente se extiende una amplia zona con evaporitas nodulares formadas intersticialmente en una llanura lutítica con posición subterranea de la lámina de agua (Sorlada, Muës, Azcona...). En esta zona periférica las facies laminadas están muy poco representadas, lo que supone que el lago salino tuvo escaso desplazamiento lateral. Las arcillas que acompañan a las evaporitas son de origen detrítico y proceden de los sistemas fluvio-lacustres periféricos a la cuenca evaporítica (facies de Javier y Zabalza).

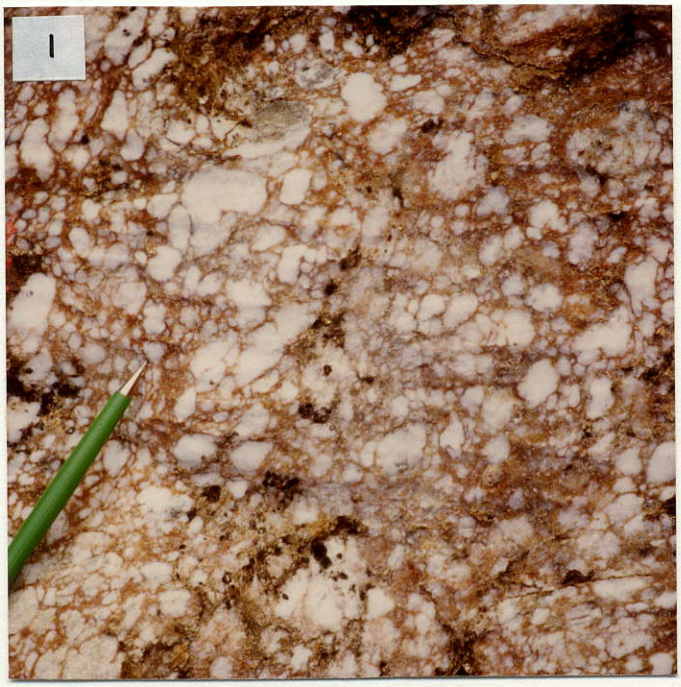
L A M I N A 1.

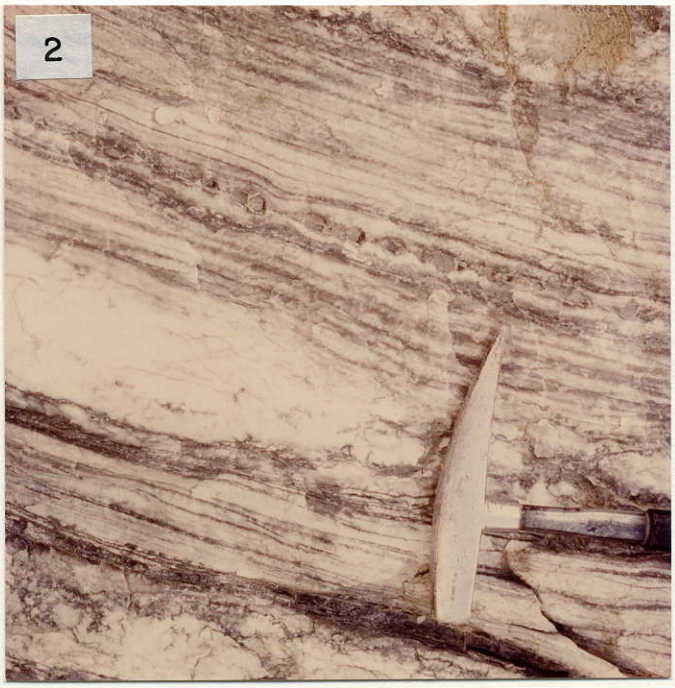
Foto 1.- Litofacies micronodular de yeso en la formación Puente La Reina. Los nódulos, de yeso alabastrino, destacan entre una matriz rojiza de carácter arcilloso (cantera de Sorlada).

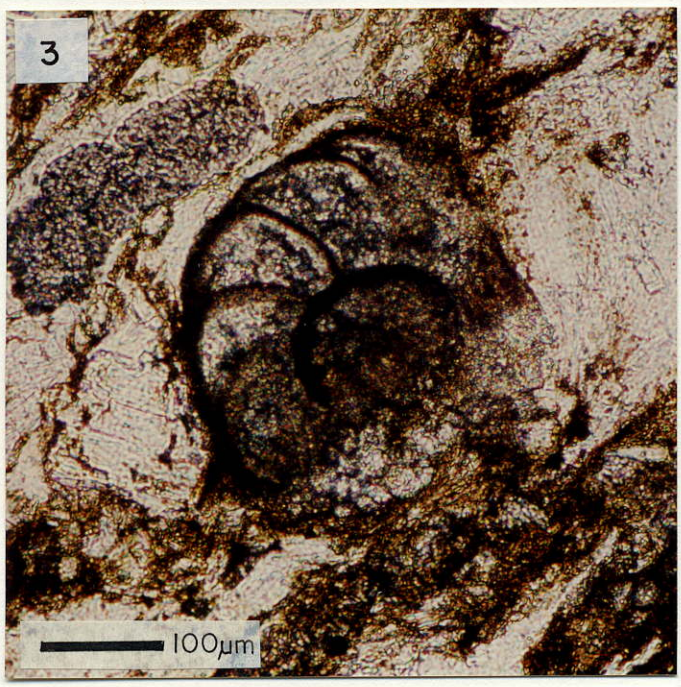
Foto 2.- Litofacies masiva-laminada de yeso en la formación Puente La Reina (cantera de Mañeru).

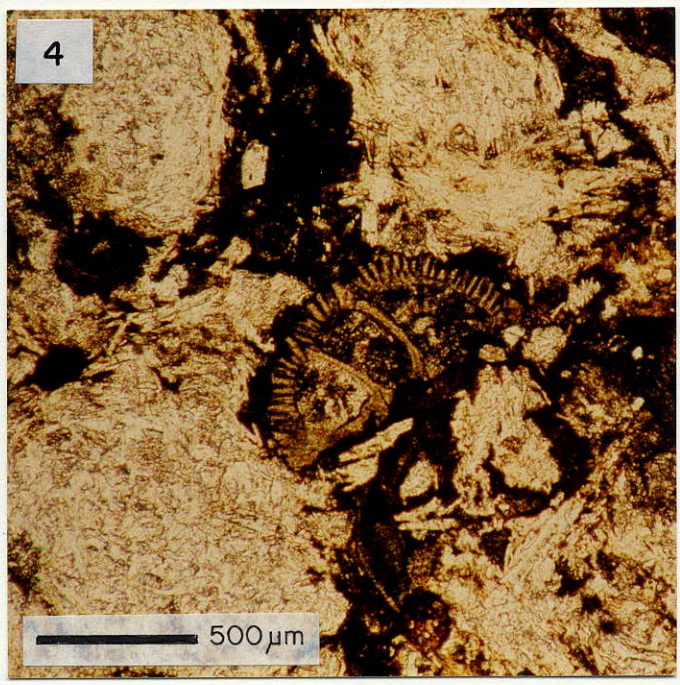
Fotos 3 y 4.- Restos de foraminíferos marinos del Eoceno entre anhidritas nodulares de la formación Puente La Reina (microfotografías de las muestras AZ-46 y AZ-50, del sondeo de Arizaleta).

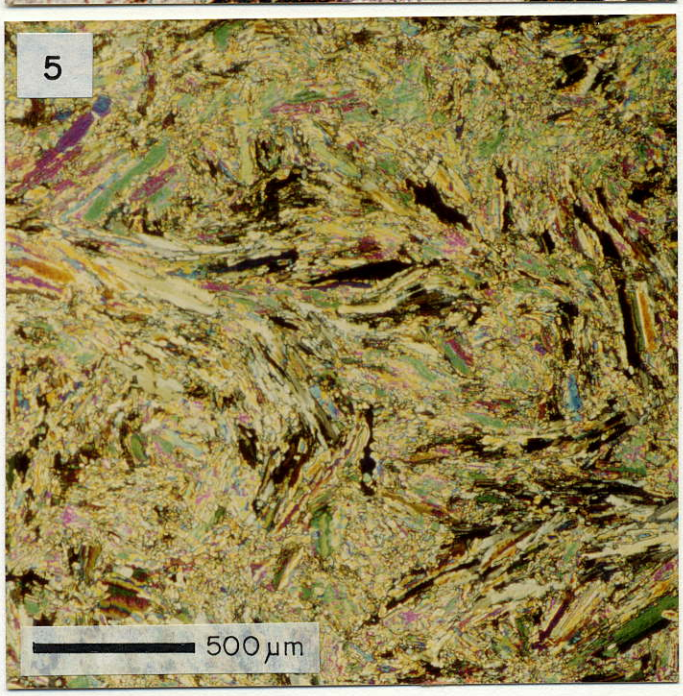
Fotos 5 y 6.- Aspecto característico de la anhidrita prismática en la formación Puente La Reina (microfotografías de las muestras AZ-58 y AZ-83, del sondeo de Arizaleta).

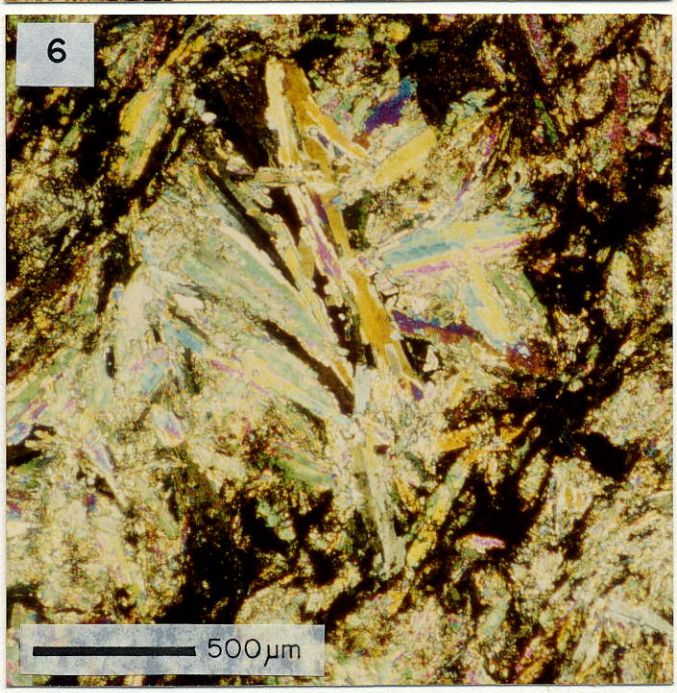

1


2


3
100μm


4
500μm


5
500μm


6
500μm

4.2.- LOS YESOS DE FALCES Y LERIN.

En este apartado trataremos conjuntamente estas dos formaciones evaporíticas al presentar características petrológicas y sedimentológicas muy similares. También haremos referencia a la unidad Arcillas de Marcilla, descrita originalmente por CASTIELLA et.al. (1978), que separa ambas formaciones en la zona central de la cuenca.

4.2.1.- CARACTERISTICAS ESTRATIGRAFICAS DE LOS YESOS DE FALCES.

Los Yesos de Falces afloran en diferentes puntos de la Ribera de Navarra:

1.- Zona de Barbarín-Desojo-Aguilar de Codes. En esta zona (fig. 25) los yesos se presetan formando una continua franja, de orientación Este-Oeste, con más de 20 kms. de longitud, en la que las capas se hallan muy verticalizadas debido a su proximidad a la falla de Codes-Monjardín. La serie aflora en su totalidad, entre las facies de Espronceda y las de Sangüesa, con una potencia que varía, según SOLE SEDO (1972), entre 750 m. (corte de Desojo) y 950 m. (corte de Olejua), manifestándose una progresiva disminución de espesor de Este a Oeste.

RIBA y PEREZ MATEOS (1962) y SOLE SEDO (1972), ponen también de manifiesto el marcado carácter heterócrono de los límites superior e inferior de la formación yesífera en este sector de la cuenca, como consecuencia del desplazamiento de las facies evaporíticas hacia el Oeste durante su sedimentación. Entre los dos extremos del afloramiento, la base de la formación llega a presentar un heterocronia de cerca de 750 m. de espesor (SOLE SEDO, 1972).

Al Oeste de Aguilar de Codes los yesos dejan de aflorar por quedar cubiertos bajo los materiales cretácicos cabalgantes de la Sierra de Cantabria. Por el Este el afloramiento queda limitado por la falla de Pamplona.

2.- Flanco meridional del anticlinal de Añorbe. Los yesos se extienden a lo largo de una franja continua de unos 15 kms. limitada por el Oeste por el diapiro triásico de Alloz. Por el Este, los yesos pasan lateralmente a las facies lacustres de Sangüesa. Este afloramiento constituye la prolongación hacia el Este del de Desojo-Barbarín, hallándose desplazado del mismo hacia el Norte por efectos del juego siniestral de la falla de Pamplona.

3.- Núcleo del anticlinal de Tafalla. Los yesos afloran entre los ríos Arga y Cidacos, presentando una estructura diapírica vergente hacia el Sur (los yesos llegan a cabalgar ligeramente las facies miocénicas del flanco meridional del pliegue).

4.- Núcleo del anticlinal de Falces. Constituye el mayor afloramiento de estos materiales, con una extensión de cerca de 40 kms, que va desde las proximidades de Sesma, por el Oeste, hasta más allá de Caparroso por el Este. Los Yesos presentan también estructura diapírica, que puede ser observada en excelentes condiciones de afloramiento en los cortes producidos por los ríos Aragón (entre Caparroso y Marcilla) (foto 8) y Arga (entre Falces y Peralta) sobre el núcleo del anticlinal.

5.- Núcleo del anticlinal de Arguedas-Andosilla. Es un afloramiento de características similares al del anticlinal de Falces. Los yesos, con estructura diapírica pueden observarse en detalle en el corte del río Aragón entre las localidades de Funes y Milagro (foto 7). También se reconocen bien en los alrededores de Azagra (foto 24) y en Andosilla.

* * * *

La estratigrafía de esta formación es difícil de establecer debido al carácter diapírico de sus materiales. Por lo general se presenta como una potente y monótona serie yesífera en la que las intercalaciones arcillosas tienen escaso desarrollo. Los yesos pueden formar desde capas de 1-2 m. de potencia hasta tramos contínuos de varias decenas

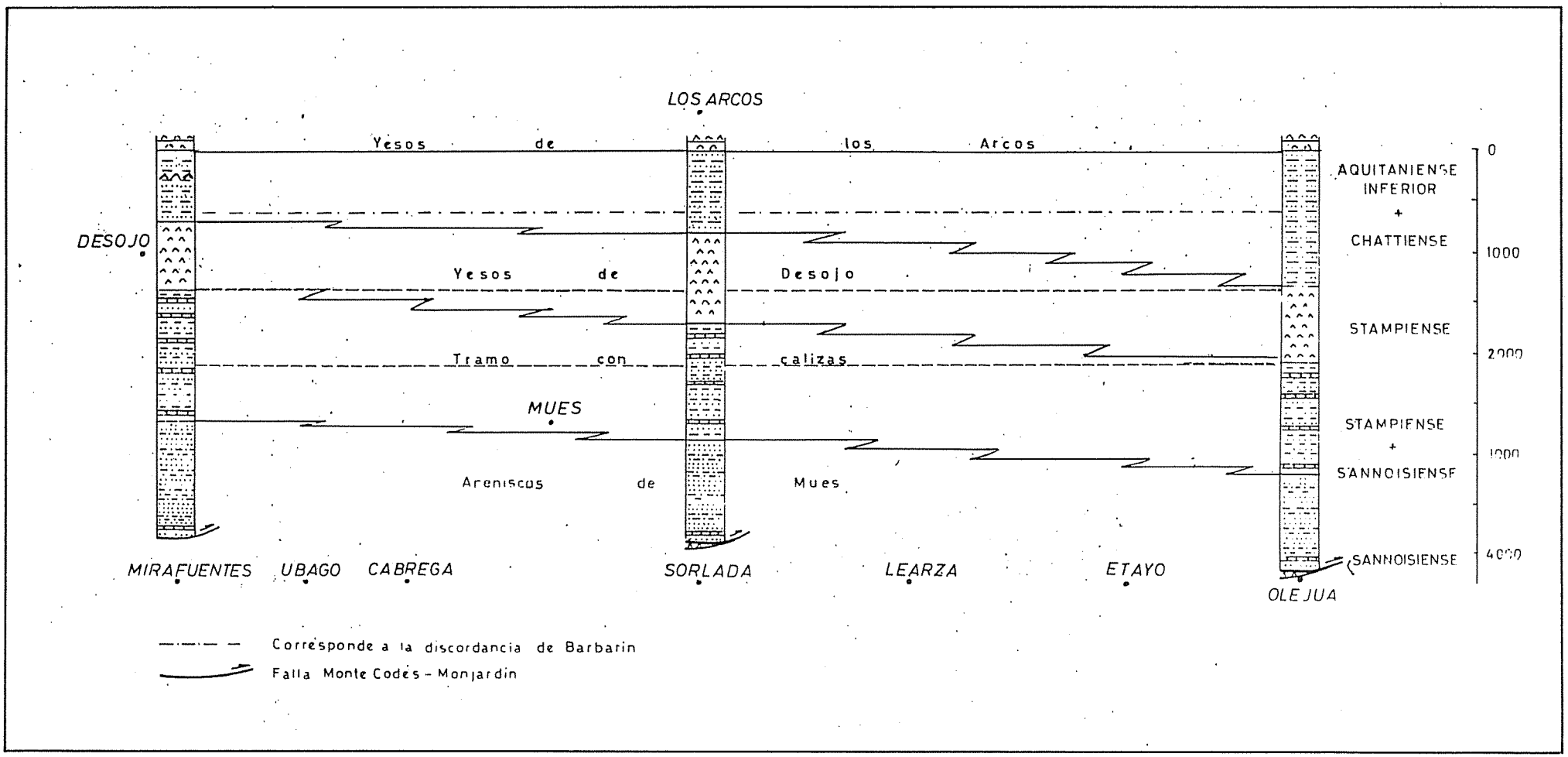


Figura 25.- Esquema litoestratigráfico de las formaciones terciarias continentales en el sector navarro de Los Arcos-Desojo-Aguilar de Codés, según SOLE (1972). Se observa el carácter heterócrono de los Yesos de Desojo (o Falces) que muestran un desplazamiento progresivo de sus facies hacia el Oeste sobre las de la Fm. Mués.

de metros. La potencia de esta unidad es difícil de precisar en la zona central de la Ribera de Navarra, pues en los núcleos de los anticlinales no llega a aflorar en ningún caso la totalidad de la serie. No obstante, pueden esperarse valores superiores a los 1000 m. en vista de la gran magnitud de yesos aflorantes.

En los anticlinales de Falces y Arguedas se individualiza bien un potente tramo de yesos y arcillas a techo de la formación, al que hemos denominado como Miembro Superior. Sus características estratigráficas han podido determinarse con mayor detalle al aflorar en zonas poco deformadas:

Miembro Superior de los Yesos de Falces:

Los yesos y arcillas forman una serie cíclica en la que ambas litologías están bien representadas. Estos ciclos son idénticos a los que describiremos como "ciclos elementales" para el caso de la formación Lerín. El corte más representativo se presenta en Peralta (fig. A-10), donde la serie tiene una potencia de 290 m. y sus facies pueden ser observadas con detalle. Hacia techo, el Mb. Superior pasa gradualmente a las Arcillas de Marcilla, y hacia el Oeste pasa lateralmente a los yesos masivos, que en esta dirección tienen una edad progresivamente más joven. En los afloramientos de Desojo (sector de Los Arcos) y Mendigorría (anticlinal de Añorbe) no se individualiza este miembro, y la serie pasa de forma relativamente rápida, de los yesos a las arcillas de la Fm. Ujué.

En el anticlinal de Tafalla, la carretera que va de Berbizana a Artajona corta los Yesos de Falces y su tránsito a las facies lacustres de Sangüesa. Sobre este tránsito se ha realizado un perfil estratigráfico de detalle (fig. A-13) en el que se observa cómo las facies evaporíticas se intercalan con las detríticas, formando una serie superior a los 250 m. Estas facies de tránsito pueden representar en este sector de la cuenca al Mb. Superior que hemos descrito, aunque no es posible la correlación de esta serie con los yesos de los anticlinales de Falces y Arguedas por falta de continuidad en los afloramientos.

El Miembro Superior equivale en parte a los Yesos de Carcar de CASTIELLA et.al. (1978), aunque en nuestro caso

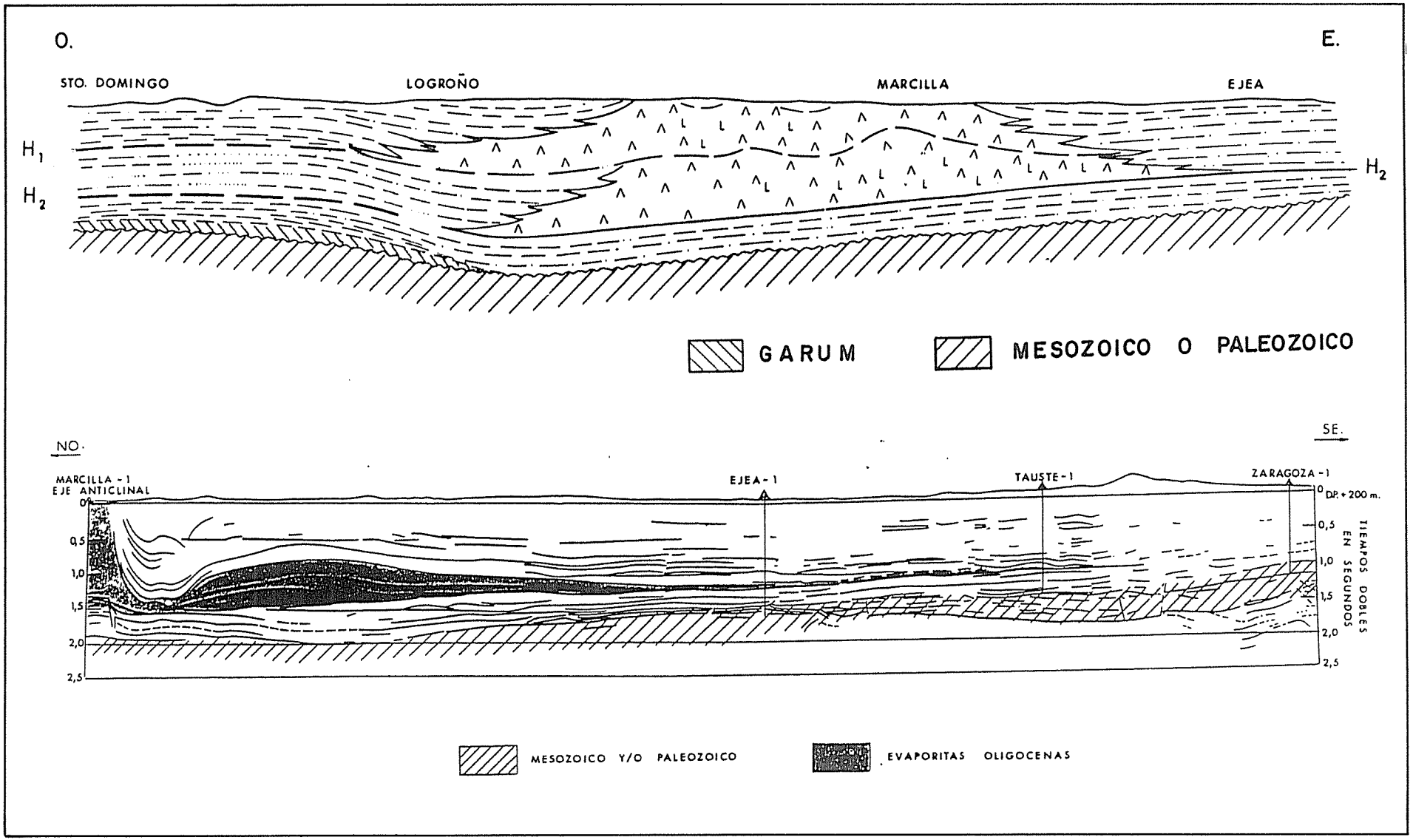


Figura 26.- Perfiles sísmicos a través de la cuenca terciaria navarro-riojana y aragonesa occidental, mostrando la extensión y estructura de los Yesos de Falces en subsuelo (ENRESA, 1987).

hemos preferido no utilizar esta denominación pues dicha unidad, tal como la describen los citados autores, presenta varios aspectos estratigráficos confusos:

- Al Oeste del río Ega, CASTIELLA et.al. agrupan toda la serie evaporítica que se extiende desde el núcleo del anticlinal de Cárcar hasta la base de los Yesos de Los Arcos con la denominación de Yesos de Carcar. Esta serie, tal como se muestra en la figura A-5, corresponde enteramente a la Fm. Lerín, reconociéndose en ella las unidades Alcanadre, Sartaguda, Sesma y Lodosa, así como la base de los Yesos de Los Arcos.

- Los yesos que afloran en el margen meridional del anticlinal de Arguedas, entre Milagro y Azagra, y en Andosilla, han sido considerados por CASTIELLA et.al. (1978) como correspondientes a los Yesos de Carcar. De nuestras observaciones se deduce que estos yesos no ofrecen diferencias especiales con los que afloran en el núcleo del citado anticlinal, por lo que no creemos necesario distinguirlos como una unidad diferente.

Tramo principal de los Yesos de Falces:

El sondeo Marcilla-1 (fig. 27), realizado en el núcleo del anticlinal de Falces, atravesó la totalidad de la Formación, hasta la profundidad de 2959 m. La gran potencia de evaporitas atravesadas es debida, en buena parte, a la acumulación diapírica de los materiales en el núcleo del anticlinal (fig. 6). En el sondeo se han reconocido los siguientes miembros (informe final del sondeo "Marcilla-1", 1953):

- Miembro superior anhidrítico (94-1198 m.)
- Miembro superior de arcillas grises y anhidrita (1198-1413 m.)
- Miembro anhidrítico intermedio (1413-1770 m.)
- Miembro halítico-anhidrítico intermedio (1770-2159 m.)
- Miembro inferior de arcillas grises y anhidritas (2159-2330 m.)
- Miembro inferior halítico-anhidrítico (2330-2663 m.)
- Miembro inferior anhidrítico (2663-2959 m.)

Por debajo de la formación, y constituyendo los últimos 456 m. del sondeo, se cortaron arcillas rojizas con intercalaciones de anhidrita, correspondientes al techo de la "formación detrítica basal oligocena" de ENRESA (1987).

De este sondeo se extrajeron varios testigos (fotos 117, 118, 119 y 120) de los que hemos efectuado una revisión y muestreo (27 de Abril de 1988). Además de arcillas, limolitas, anhidrita y halita, que ya habían sido descritas, pudimos también constatar la presencia de varios niveles de glauberita en el testigo 3. La composición litológica de estos testigos es la siguiente:

- Testigo 1 (1429.8-1434 m.): arcillas grises con anhidrita nodular y halita.

- Testigo 2 (1467.3-1471.5 m.): arcillas grises con algunos niveles de anhidrita micronodular.

- Testigo 3 (2084.5-2091 m.): arcillas grises con anhidrita nodular, halita y glauberita. La glauberita forma niveles de 15-20 cms. con textura cristalina gruesa, litofacies nodular-enterolítica y cemento halítico o matriz lutítica. La halita llega a ser dominante en algunos niveles de varios decimetros de potencia.

- Testigo 4 (2764.5-2770.6 m.): arcillas grises finamente laminadas con intercalaciones de anhidrita micronodular. Se distingue también un nivel de unos 80 cms. de potencia de halita con intercalaciones de anhidrita micronodular.

- Testigo 5 (3006.8-3013 m.): arcillas y limolitas de tonos rojizos con anhidrita en forma de micronódulos (2-3 cms. máximo) dispersos irregularmente, o bien formando niveles de tamaño centimétrico.

- Testigo 7 (3252.5-3258.6 m.): arcillas rojas con algunos micronódulos de anhidrita (tamaño menor a los 0.5 cms.) dispersos irregularmente entre la misma. Algunos niveles presentan tamaño de grano mayor (limolitas o arenitas de grano fino).

- Testigo 8 (3323.8-3329.9 m.): muy similar al testigo 7.

- Testigo 9 (3409-3412 m.): también muy similar al testigo 7 (tal vez con mayor abundancia de micronódulos de anhidrita).

Los resultados obtenidos del estudio petrológico de este material (estudio petrográfico de sulfatos y halita, y mineralógico -difracción de Rayos-X- de arcillas) se ofrece más adelante.

A partir de los sondeos y perfiles sísmicos, estudiados por ENRESA (1987), la formación puede seguirse en subsuelo desde las proximidades de Logroño, por el Oeste, hasta las de Zaragoza, por el Este (fig. 26). En este mismo estudio, se reconocen a través de los perfiles sísmicos dos horizontes que indican momentos de máxima expansión de las evaporitas sobre la cuenca: H_1, intra-formación evaporítica; y H_2 que define la base de la formación.

No está claro el significado del horizonte H_1, que puede corresponder a un nivel interno de los Yesos de Falces, o bien a la base de una unidad evaporítica por encima de los mismos (base de los Yesos de Lerín o de los Yesos de Los Arcos ?). Por de momento, la falta de más datos subsuelo no permite esclarecer cual de las dos posibilidades es la más acertada.

Por el Norte los límites de los Yesos de Falces se aproximan mucho al margen septentrional de la cuenca, tal como ponen de manifiesto la línea de afloramientos Aguilar de Codes-Desojo-Barbarín y Lorca-Mendigorría. Por el Sur el límite es impreciso y queda por resolver la correlación de estas evaporitas con alguno de los tramos detríticos de la Fm. Arnedo en el margen Sur de la cuenca.

Como zona de máximo desarrollo de los Yesos de Falces puede considerarse el sector comprendido entre las localidades de Marcilla, Falces, Azagra y Milagro, que puede constituir el depocentro de la formación en este momento del desarrollo de la cuenca.

4.2.2.- ARCILLAS DE MARCILLA.

Esta unidad separa estratigráficamente a los Yesos de Falces y Lerín en el sector central de la cuenca. Aflora ampliamente en los flancos del anticlinal de Falces (foto 11) y en varios puntos del anticlinal de Arguedas: al Sur de Funes (foto 15) (corte del río Arga); al Norte de Cadreita

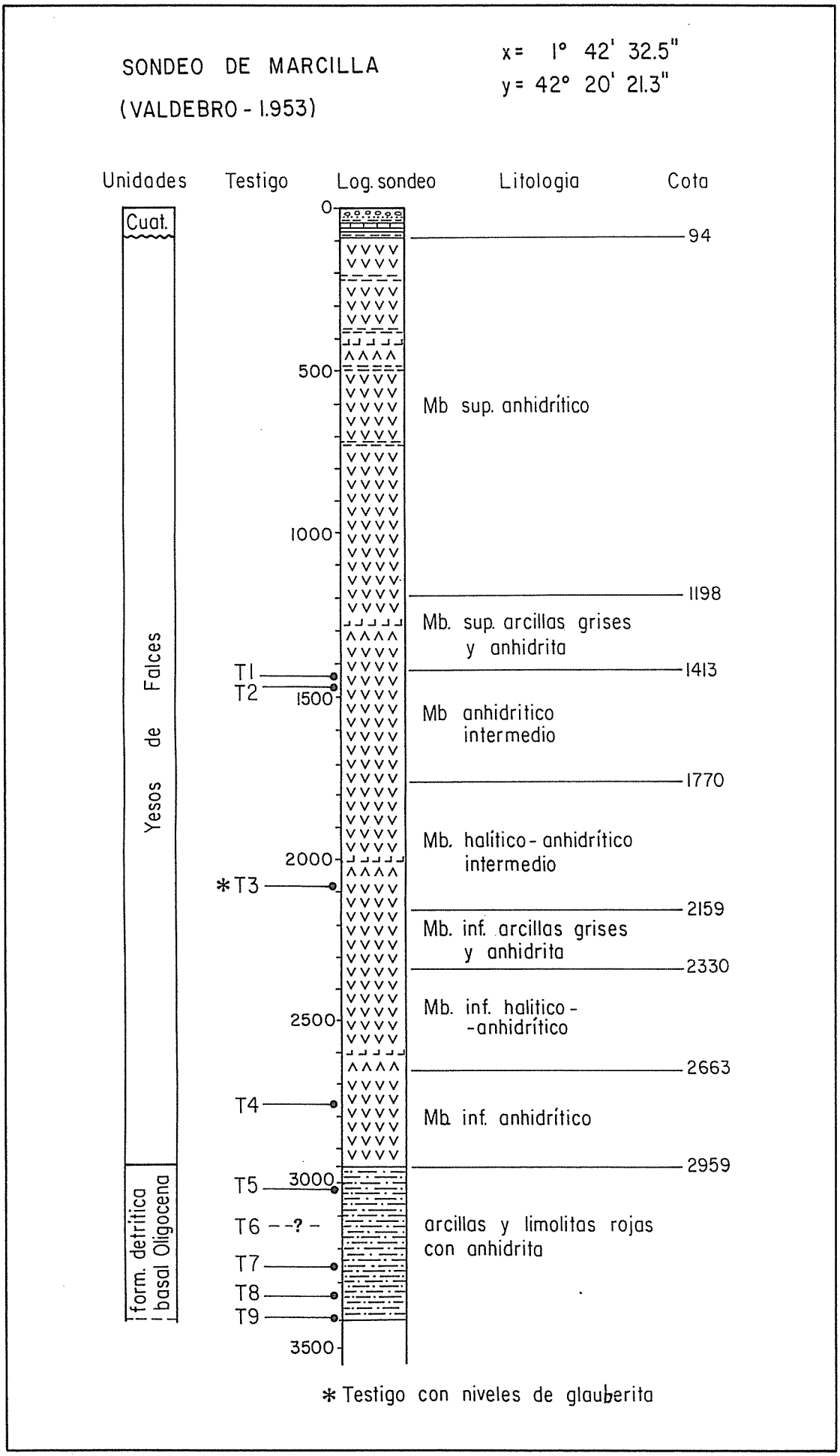


Figura 27.- Perfil litológico del sondeo de Marcilla. Se indica la posición de los testigos de sondeo y las características litológicas de las diferentes unidades distinguidas (según datos de IGME, 1987 y ENRESA, 1987).

(núcleo del anticlinal de Arguedas); y al Norte de Andosilla (flanco Norte del anticlinal de Cárcar).

Hacia el Norte las Arcillas de Marcilla pasan lateralmente a las facies lacustres de Sangüesa-Eslava, que afloran en los flancos de los anticlinales de Tafalla y Añorbe. Hacia el Noroeste (sector de Los Arcos) pasan lateralmente a los Yesos de Falces, que en este sector tienen una edad más moderna. Hacia el Sur y el Este, por falta de datos de subsuelo, se desconocen las equivalentes laterales con otras unidades.

Litológicamente la unidad Marcilla constituye una potente y monótona serie arcillosa, de unos 300-400 m. de espesor, de color beig, en la que son frecuentes los niveles de areniscas y limolitas, así como de yeso en menor importancia.

Las areniscas forman capas cuyo espesor puede variar desde unos pocos centímetros hasta 1 ó 1.5 m. Su morfología puede ser tabular, dando niveles de gran continuidad lateral, o bien canaliforme (foto 21), de extensión lateral más limitada. Estos canales constituyen las capas de mayor potencia. En los niveles tabulares (arenas o limolitas) son frecuentes las estructuras de tipo "climbing-ripples", ripples de oscilación, "load-casts" y "mud-craks" a techo de capa (foto 22). En los canales también pueden darse estas estructuras, pero son más corrientes la estratificación cruzada de escala mayor, los cantos blandos y la granoclasificación positiva de las arenas que los constituyen. La distribución de capas de arenisca en la serie no parece ofrecer ningún tipo de tendencia secuencial.

Los yesos se presentan con litofacies micronodular o nodular de pequeño tamaño, formando niveles siempre muy ricos en matriz arcillosa. Estos niveles tienen un espesor no superior a 1 m. y suelen dar a las arcillas coloración grisácea. El desarrollo de los mismos parece ser mayor en la mitad superior de la serie, mostrando un cierto tránsito gradual hacia los Yesos de Lerín.

El techo de las Arcillas de Marcilla lo marca un nivel yesífero de gran continuidad lateral en todo el sector de Peralta (nivel fotogeológico). En los 10-15 m. anteriores a este nivel las arcillas presentan ya un marcado desarrollo de los nódulos de yeso de tamaño mayor.

L A M I N A 2.

Foto 7.- Estructura diapírica de los Yesos de Falces en el corte del río Aragón (anticlinal de Arguedas) entre las localidades de Funes y Milagro.

7

corte Funes – Milagro.

0 5 10m S.-N.

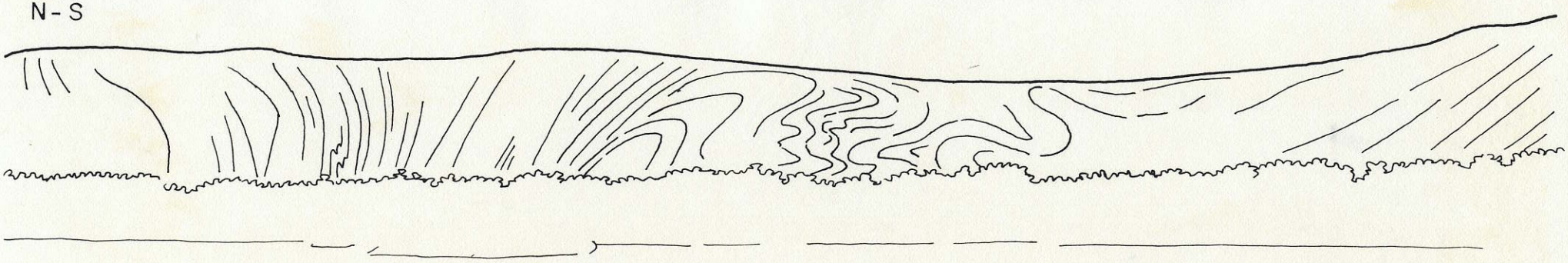
Yesos de Falces

L A M I N A 3.

Foto 8.- Estructura diapírica de los Yesos de Falces en el corte del río Aragón (anticlinal de Falces) entre las localidades de Caparroso y Marcilla.

8

N - S



Yesos de Falces
corte Caparroso - Marcilla

0 25 50m.

Corte tipo:

El mejor corte de referencia para esta unidad se halla en Caparroso (fig. A-12), donde las arcillas afloran en su totalidad desde el techo de los Yesos de Falces, cuyo contacto es por falla, hasta la base de los de Lerín. En este corte la serie presenta una potencia de 350 m. y ofrece sus típicas características litológicas.

4.2.3.- CARACTERISTICAS ESTRATIGRAFICAS DE LOS YESOS DE LERIN.

Los Yesos de Lerín, tal como los hemos considerado en este trabajo, corresponden a la Fm. Lerín de CASTIELLA et.al. (1978) más las facies de Lodosa (Fm. Falces) de estos mismos autores, y los Yesos de Autol, de DURANTEZ et.al. (1982).

Del estudio detallado de esta formación se han distinguido varias unidades lioestratigráficas:

- Yesos de Los Arcos.
- Arcillas de Villafranca
- Arcillas y Yesos de Lodosa
- Yesos de Sesma
- Arcillas y Yesos de Peralta
- Arcillas de Sartaguda
- Yesos, Arcillas y Areniscas de Alcanadre
- Arcillas y Yesos de Mendavia

Los criterios utilizados para distinguir estas unidades son básicamente el carácter litológico y el color de las arcillas:

Sobre la litología hemos distinguido tres tipos de unidades (figs. 8, 33 y A-20): 1) unidades constituidas principalmente por yesos (unidades Sesma, Los Arcos y Alcanadre); 2) unidades constituidas principalmente por arcillas (unidades Villafranca y Sartaguda); y 3) unidades compuestas por alternancia cíclica de arcillas y yesos (unidades Peralta, Lodosa y Mendavia).

El color de las arcillas permite distinguir dos tipos de unidades: aquellas en las que las arcillas tienen colores dominantemente rojizos (unidades Sartaguda, Mendavia, Lodosa y Autol) y las que tienen color beig o grisáceo (Los Arcos, Sesma, Alcanadre, Peralta y Villafranca).

La figura A-1 muestra la distribución cartográfica de estas unidades a escala 1:50.000, en la zona central de la Ribera de Navarra, El esquema litoestratigráfico de correlación de estas unidades, a partir de las series estudiadas, se presenta en la figura A-20.

Para la descripción de estas unidades haremos referencia a tres "sectores" o dominios estratigráficos diferentes, que son:

- Sector de Peralta: comprende todos los afloramientos del anticlinal de Falces y los que se sitúan más al Sur, al Este del río Ega. Se caracteriza por el color beig de sus arcillas y por estar bien representadas en él las unidades Los Arcos, Villafranca, Sesma y Peralta.

- Sector de Lodosa: comprende los afloramientos situados al Oeste del río Ega y al Sur del eje del sinclinal de Peralta. Se caracteriza por el color rojizo dominante de las arcillas y por presentarse en él las unidades Lodosa, Mendavia, Alcanadre y Sartaguda, además de las de Los Arcos y Sesma con características similares a las del sector anterior.

- Sector de Los Arcos: comprende los afloramientos situados al Norte y Noroeste del sinclinal de Miranda de Arga y en él sólo está desarrollada la unidad Los Arcos. El color de las arcillas es también rojizo, pero con frecuentes horizontes grisáceos y amarillentos.

4.2.3.1.- YESOS DE LOS ARCOS.

La característica principal de esta unidad es su amplia extensión en la cuenca, muy superior a la de las otras unidades y también el hecho de constituir la unidad yesífera de mayor potencia de la formación.

Se extiende en los tres dominios, y aflora de forma continua desde la región de las Bárdenas (Valtierra, Arguedas), hasta Aguilar de Codes en el sector de Los Arcos, con una extensión de más de 80 kms. Constituye por tanto, el mejor nivel de correlación entre las series realizadas (fig. A-20). Estos aspectos fueron ya descritos por RIBA y PEREZ MATEOS (1962) y RIBA (1964), quienes denominan también a esta unidad como "nivel R" o "Y_3", y la utilizan como nivel de referencia para separar a la serie oligocena, por debajo de los yesos, de la miocena, por encima de los mismos (CRUSAFONT et.al., 1966).

La base de la unidad constituye un nivel plano que puede ser considerado como un buen nivel isócrono a lo largo de la Ribera de Navarra. Este nivel puede seguirse bien en los flancos de los anticlinales de Falces, Carcar y Arguedas, así como en el sector de Los Arcos-Aguilar de Codes.

El techo de los Yesos constituye un nivel heterócrono, cuya edad es más moderna de Este a Oeste. El tránsito a las facies de Tudela puede observarse en detalle en los cortes de Lerín (fig. A-3), Ermita de Aradón (fig. A-7) y Caparroso (fig. A-11), donde se observa cómo gradualmente los yesos pasan a las arcillas de Tudela, a través de varios ciclos detrítico-evaporíticos. También en las proximidades de Valtierra y Pradejón, este tránsito puede ser reconocido detalladamente con las mismas características.

Al Oeste de Lerín se observa fotogeológicamente cómo las capas basales de la Fm. Tudela se disponen en contacto discordante sobre los Yesos de Los Arcos. Esta discordancia parece tener un carácter local, pues no se reconoce en otros puntos de la Ribera de Navarra, donde la serie se presenta netamente concordante entre ambas unidades. En el extremo oriental del sinclinal de Peralta se observa cómo las facies de Tudela situadas sobre el techo plegado de los yesos de Los Arcos pasan verticalmente y de forma progresiva a la estructura tabular característica de esta unidad en la región de Las Bárdenas (discordancia progresiva).

La potencia de los Yesos de Los Arcos aumenta de Este a Oeste. Para buena parte del área donde la unidad aflora, los valores más corrientes son del orden de los 200 m.. Hacia el Oeste la potencia llega a alcanzar 250 m. en Los Arcos. Hacia el Este se observa bien la disminución de potencia

siguiendo el flanco Norte del anticlinal de Falces, desde Lerín, donde los Yesos de Los Arcos tienen una potencia de 207 m., hasta Caparroso, donde los yesos presentan una potencia de 80 m.. Hacia el Sureste, en Arguedas y Valtierra, afloran los 40-50 m. superiores de la unidad.

Litológicamente los Yesos de Los Arcos constituyen una potente serie yesífera con intercalaciones arcillosas:

Las arcillas son de colores rojizos en el sector de Lodosa y Los Arcos, y grisáceos en el de Peralta. Forman niveles cuya potencia varía desde el orden decimétrico hasta los pocos metros. La distribución y desarrollo de estas intercalaciones en la serie no ofrece una tendencia clara. En el corte de la Ermita de Aradón se observa un especial desarrollo de las intercalaciones arcillosas en la parte intermedia de la unidad (foto 12). En Los Arcos, las arcillas están bien desarrolladas en la parte inferior de la serie. En otros cortes la distribución o desarrollo de las mismas es más irregular.

Los yesos llegan a formar tramos continuos de varias decenas de metros de espesor. En los cortes marginales de la formación la litofacies dominante es la nodular, formando niveles bien estratificados en los que las arcillas están bien representadas como matriz arcillosa entre los nódulos (corte de Caparroso). En los cortes internos, los tramos de yeso laminado están bien desarrollados alternando con niveles nodulares y lenticulares.

Entre los tramos yesíferos más potentes de litofacies laminada, se intercalan las facies de glauberita y polihalita que describiremos en el capítulo 5. La halita parece ser un componente abundante en subsuelo, como muestran los frecuentes manantiales salinos que fluyen de esta unidad y como muestran los testigos de sondeo que hemos podido estudiar. Los carbonatos (dolomicritas) están poco desarrollados, presentándose normalmente como matriz entre los sulfatos.

Corte tipo:

En Los Arcos aflora la práctica totalidad de la serie (los niveles superiores están cubiertos). En este corte se han distinguido los siguientes tramos de base a techo (fig. A-2):

- 150 m.: alternancia cíclica de arcillas grises-versicolores (algunos horizontes rojizos) y yesos nodulares en capas de uno o varios metros. Entre los nódulos está bien desarrollada una matriz margosa y finas capas de dolomías laminadas.
- 56 m.: yesos laminados con algunas intercalaciones arcillosas y niveles enterolíticos.
- 50-60 m.: tramo yesífero cubierto.

Los Yesos de Autol:

Como caso particular de esta unidad hemos de referirnos a los yesos que afloran en el flanco Norte del anticlinal de Arnedo, entre Autol y Bergasa, formando una continua franja de unos 15 kms. de extensión. Estos yesos muestran unas características litológicas diferentes de las que ofrecen los restantes yesos de la Fm. Lerín.

El mejor punto para su estudio es en Autol, donde la serie aflora en su totalidad, entre las arcillas de la Fm. Autol y las facies de Tudela, que limitan a la yesos respectivamente por su base y techo. En esta localidad las facies yesíferas pueden ser estudiadas con detalle en varias canteras abandonadas (fig. A-16).

La formación constituye en este punto un potente tramo yesífero de litofacies masiva-micronodular, entre la que se emplazan meganodulos de yeso alabastrino de gran pureza (foto 36), así como frecuentes nódulos de sílex de tamaño no superior a los 20-25 cms. Las características de estas facies son similares a las que más adelante describiremos para los Yesos de Monteagudo. Estos yesos constituyen las facies marginales de los Yesos de Los Arcos en su extremo meridional.

Por debajo de los Yesos de Autol, y dentro de las facies detríticas de la Fm. Autol, se reconocen frecuentes niveles de yeso, de litofacies nodular muy similares a las que caracterizan a las formaciones Falces y Lerín. Uno de estos niveles, situado a techo de los conglomerados de Arnedo, llega a tener un desarrollo de varios metros de potencia. Los demás niveles no superan por lo general los 1-1.5 m. de espesor y se hallan separados entre sí por tramos arcillosos de mayor desarrollo.

La equivalencia de estos niveles evaporíticos por debajo de los Yesos de Autol con otras unidades evaporíticas en la zona central de la Ribera de Navarra no está hasta el momento clara. Estos yesos probablemente corresponden a alguna de las unidades de la Fm. Lerín por debajo de los yesos de Los Arcos (Yesos de Sesma, Yesos de Alcanadre..?), aunque también podrían corresponder a alguno de los niveles de los Yesos de Falces (A. MUÑOZ, com. pers.).

4.2.3.2.- ARCILLAS DE VILLAFRANCA.

Se sitúan estratigráficamente por debajo de los Yesos de Los Arcos, en el sector de Peralta. Afloran ampliamente en los flancos Norte y Sur del anticlinal de Falces (fotos 9, 13 y 16) y en el flanco Norte del anticlinal de Arguedas, donde constituyen un buen nivel fotogeológico al formar un pronunciado resalte entre los Yesos de Los Arcos y los de Sesma.

Litológicamente la unidad constituye un potente tramo arcilloso, de color beig, en el que se intercalan algunos niveles nodulares de yeso. Ocasionalmente puede presentar finas capas de arenisca o caliza. Su potencia aumenta hacia el Norte y el Este de la formación, como consecuencia del acuñamiento en estas mismas direcciones de los Yesos de Sesma que constituyen su base: 62 m. en el corte de Sesma, 157 m. en Lerín, 119 m. en Caparroso.

Hacia el Oeste y Suroeste esta unidad pasa lateralmente a las Arcillas y Yesos de Lodosa. Hacia el Norte y Este lo hace a las facies de Allo (Fm. Ujué).

Corte tipo:

El mejor punto de referencia para las Arcillas de Villafranca se presenta en Peralta, donde afloran en su totalidad en el corte excavado por el río Arga sobre el flanco Sur del anticlinal de Falces. En este corte las arcillas tienen una potencia de 80 m. (fig. A-9).

Otros cortes de referencia son los de Sesma (fig. A-4) (corte del río Ega en el flanco Sur del anticlinal de

Falces), Funes (barranco por el que sube el primer quilómetro de la carretera de Funes a Rincón de Soto) y Lerín (fig. A-2) (serie arcillosa que se extiende por debajo de los Yesos de Los Arcos, sobre los que está construído el pueblo).

4.2.3.3.- ARCILLAS Y YESOS DE LODOSA.

Esta unidad está sólo desarrollada en el sector de Lodosa, entre los Yesos de Los Arcos y los de Sesma. Como se ha dicho, es equivalente lateral de las Arcillas de Villafranca.

Litológicamente está caracterizada por una alternancia cíclica de arcillas y yeso. La potencia de estos ciclos puede variar entre 4-5 m. y 30-40 m. (foto 18).

Las arcillas son de tonalidades rojizas o versicolores y son en la mayoría de los ciclos el componente litológico dominante. Normalmente se individualiza un tramo inferior, de color rojizo, con capas de arenisca de 10-30 cms. de espesor máximo, y un tramo superior de color grisaceo, que contiene niveles de carbonatos y de yeso nodular. Estas arcillas grises constituyen las facies de tránsito al tramo yesífero superior del ciclo.

En los yesos pueden distinguirse tres litofacies más o menos bien desarrolladas según los casos: 1) carbonatos (dolomicrita) entre los que se emplazan nódulos, micronódulos y lentículas (pseudomorfos) de yeso; 2) yesos nodulares, rico en matriz arcillosa y con variadas morfologías (yeso enterolítico, yeso con elongación verical...); 3) yesos laminados.

La figura 31 muestra el tipo más representativo de estos ciclos, en los que las litofacies están ordenadas en la vertical siguiendo una secuencia de implantación progresiva de un medio evaporítico sobre una llanura lutítica con areniscas. Con frecuencia falta uno o más de los términos de la secuencia, o bien presentan un orden diferente, formando ciclos inversos o simétricos. La explicación de estos otros casos se expone gráficamente en la figura 32, partiendo de un modelo de playa-lake con desplazamiento lateral de sus facies.

El número de ciclos y su desarrollo en los diferentes cortes estudiados de la unidad Lodosa es variable. Incluso a nivel de un mismo afloramiento pueden apreciarse cambios laterales en el desarrollo de los mismos en unos pocos centenares de metros. Por lo que no creemos posible la correlación de estos ciclos entre cortes muy alejados.

La potencia de la unidad Lodosa varía de forma creciente de Este a Oeste, con valores de 78 m. en Cárcar, 100 m. en Lodosa y 135 m. en el corte de la Ermita de Aradón.

Corte tipo:

De los cortes citados es el de Lodosa (fig. A-6) el que presenta mejores condiciones para su estudio, aflorando la unidad en su totalidad y mostrando buenos y diferentes ejemplos de este tipo de ciclos evaporíticos.

4.2.3.4.- YESOS DE SESMA.

Constituyen un potente tramo yesífero de características litológicas muy similares a las descritas para los Yesos de Los Arcos. Están bien desarrollados en los sectores de Peralta y Lodosa, pero hacia el Noroeste (sector de Los Arcos) pasa lateralmente a las facies de Allo. El núcleo principal de esta unidad puede centrarse entre las localidades de Sesma, Lodosa, San Adrián, Funes y Peralta, donde la serie presenta valores de 100-150 m. de potencia. De esta zona hacia el Norte, Este u Oeste, los Yesos pierden potencia y se acuñan entre las unidades arcillosas encajantes: 65 m. en Peralta; 43 m. en Lerín; 30 m. en Caparroso.

En los cortes donde la unidad está bien desarrollada constituye una monótona serie yesífera interrumpida sólo por algunas intercalaciones arcillosas de poco espesor. Los yesos presentan gran variedad de facies y texturas cristalinas que se distribuyen irregularmente en la serie o bien presentan un cierto orden cíclico. Hacia el Este (cortes de Peralta y Caparroso) la serie se hace más arcillosa, con dominio de las facies nodulares.

El yeso megacristalino está bien desarrollado, formando capas masivas de orden métrico que reemplazan niveles originalmente de anhidrita nodular. El carbonato está poco desarrollado: en algunos tramos de yeso se observa alternancias a escala milimétrica o centimétrica de yeso-carbonato. En las proximidades de San Adrián (foto 121) esta unidad presenta un pequeño yacimiento glauberítico intercalado entre los yesos laminados.

En este caso, los yesos presentan una base plana separada en dos niveles (fig. 33), como consecuencia de dos etapas diferentes de expansión sobre la cuenca: el nivel inferior ocupa el sector de Peralta y se acuña entre las arcillas de la unidad Sartaguda en el sector de Lodosa. Con una posición estratigráfica superior, el segundo nivel de base de los Yesos de Sesma se extienden más hacia el Oeste, formando el techo de las arcillas de Sartaguda.

Corte tipo:

En el corte de Sesma (fig. A-4) esta unidad aflora en su conjunto con un buen desarrollo de facies y potencia (135 m.). En este corte pueden distinguirse los siguientes tramos (de base a techo):

- 18 m. Yesos laminados con matriz carbonatada.
- 27 m. alternancia cíclica (decimétrica) de yeso laminado alabastrino y nodular megacristalino.
- 12 m. yeso laminado con intercalaciones nodulares.
- 14 m. tramo con cuatro ciclos constituídos por un término basal de arcillas yesíferas y un término superior de yeso nodular megacristalino.
- 11 m. yesos laminados con intercalaciones nodulares.
- 7 m. arcillas con nódulos de yeso.
- 22 m. yesos laminados y nodulares alternando de forma cíclica.
- 10 m. arcillas con algunas capas de carbonato.
- 14 m. tramo yesífero laminado-nodular.

Esta serie refleja, en un sentido vertical, una progresiva influencia de las facies aluviales sobre el medio evaporítico, con mayor desarrollo de las intercalaciones arcillosas en la serie hacia techo, y aumento de las facies nodulares sobre las laminadas también en este mismo sentido.

4.2.3.5.- ARCILLAS Y YESOS DE PERALTA.

Constituye la unidad basal de la Fm. Lerín en el sector de Peralta, entre las Arcillas de Marcilla y los Yesos de Sesma. Hacia el sector de Lodosa pasa lateralmente a las unidades Sartaguda, Alcanadre y Mendavia. Hacia el Norte pasa lateralmente a las facies Sos-Allo-San Martín, y hacia el Sur y Sureste se desconoce su equivalencia con otras unidades. Su potencia aumenta de Este a Oeste, con valores que varían entre los 200 m. (Caparroso) y 290 m. (Sesma).

Litológicamente está constituída por arcillas de color beig, con algunos horizontes rojizos de forma ocasional, entre las que se intercalan frecuentes niveles yesíferos, y ocasionalmente de areniscas y limolitas. Los yesos, juntamente con las arcillas, forman ciclos de características similares a los descritos en la unidad Lodosa, aunque en este caso con menor desarrollo de las facies evaporíticas lacustres (carbonatos y yesos laminados). El ejemplo más representativo de estos ciclos en Peralta se muestra en la foto 17.

De entre los niveles yesíferos destacan dos por su mayor desarrollo y gran continuidad lateral (niveles fotogeológicos): el primero de ellos constituye la base de la unidad Peralta y el segundo se halla en los niveles intermedios de la misma. Estos dos niveles se reconocen especialmente bien en el sector de Caparroso (foto 11, fig A-11), donde constituyen los dos ciclos inferiores de los cuatro que se individulalizan bien en esta zona (el tercero corresponde a los Yesos de Sesma y el cuarto a los de Los Arcos). En el corte de Caparroso, ambos niveles presentan una potencia de 18 m. el inferior y 13 m. el superior. Hacia el Oeste estos niveles se acuñan progresivamente y dejan de diferenciarse bien en el extremo occidental del anticlinal de Falces.

Corte tipo:

El corte de referencia para esta unidad es el de Peralta (fig. A-9), donde la serie aflora en su totalidad y

puede ser estudiada con gran detalle. En este corte la potencia de la unidad es de 262 m. y pueden distinguirse los siguientes tramos de base a techo:

- 7 m. yesos nodulares (nivel fotogeológico).
- 103 m. arcillas muy puras con algunas pasadas micronodulares de yeso y algunos niveles limolíticos de pocos centímetros de espesor.
- 25 m. yesos nodulares (nivel fotogeológico).
- 127 m. alternancia de arcillas y yesos nodulares con algunas capas de carbonato de poco espesor (10-30 cms.).

4.2.3.6.- ARCILLAS DE SARTAGUDA.

En el sector de Lodosa y por debajo de los Yesos de Sesma se extiende una potente tramo arcilloso, de colores rojizos, que aflora bien en los extremos occidental (Lodosa) y oriental (Cárcar) del anticlinal de Cárcar, y también en los flancos de los anticlinales de Alcanadre y Sartaguda.

Por debajo, la serie está bien delimitada por las facies grisáceas de la unidad Alcanadre, que describiremos en el próximo apartado. Hacia el Este pasan lateralmente a las unidades Peralta y Sesma (esta última en sus niveles superiores). La potencia de esta unidad aumenta de Este a Oeste, con valores de 75 m. en Cárcar y Sartaguda, y 115 m. en Lodosa.

Litológicamente constituyen una serie arcillosa de color rojizo, con algunos tramos versicolores, en la que se hallan capas de arenisca preferentemente en su parte basal. A media altura en la serie se individualiza un tramo yesífero (foto 14), de litofacies nodular, que se acuña de forma rápida de Este a Oeste, llegando a desaparecer totalmente en Lodosa. La potencia de esta intercalación yesífera es de 20 m. en Cárcar y 10 m. en Sartaguda. Como ya se ha comentado en el apartado anterior, este nivel yesífero enlaza hacia el Este con la base de los Yesos de Sesma, que en el sector de Peralta tiene una posición estratigráfica más baja (fig. A-20).

Corte tipo:

El corte tipo para las Arcillas de Sartaguda es el que se sitúa en el flanco meridional del sinclinal de San Adrián, al Noreste de Sartaguda (fig. A-8, foto 14). En este corte la unidad tiene una potencia de 75 m., y se individualizan los siguientes tramos de base a techo:

- 35 m.: arcillas versicolores con capas de arenisca.
- 10 m.: nivel yesífero nodular.
- 30 m.: arcillas versicolores con algunas capas de arenisca y frecuentes nódulos de yeso dispersos, especialmente en los niveles de tránsito a la unidad Sesma.

4.2.3.7.- ARCILLAS, YESOS y ARENISCAS DE ALCANADRE.

Constituye un característico tramo de colores grisáceos que destaca entre las unidades rojizas de Sartaguda (por encima) y Mendavia (por debajo). Hacia el Norte y el Este pasa lateralmente a las arcillas y yesos de la unidad Peralta. Por el Oeste, a la altura de Mendavia, estas facies quedan cubiertas bajo las formaciones más modernas.

La unidad Alcanadre aflora en los mismos puntos que la unidad Sartaguda con una potencia relativamente constante que oscila entre 40 y 50 m.. La base constituye un nivel marcadamente plano en que de forma relativamente brusca se extienden los yesos sobre las arcillas de la unidad Mendavia y se produce también un cambio de color. El tránsito a las Arcillas de Sartaguda es gradual.

Litológicamente está constituída por arcillas, yesos y areniscas. Ocasionalmente también presenta niveles de carbonatos. La distribución de estas litologías es muy desigual según los cortes, pues la unidad presenta importantes cambios laterales de facies (fig. A-19):

En Cárcar y Sartaguda dominan los yesos, que forman un potente tramo de varias decenas de metros de espesor en el que están bien representadas las litofacies laminadas, nodular y también los niveles lenticulares. Hacia el Oeste el carácter evaporítico disminuye gradualmente en beneficio de las arcillas y areniscas. En esta dirección la única

litofacies yesífera existente es la nodular. El cambio lateral de facies empieza por el techo de la unidad y desciende en la serie conforme nos desplazamos hacia el Oeste, de tal manera que en los cortes más occidentales (Alcanadre y Ermita de Aradón) los yesos se restringen sólo a los niveles inferiores de la unidad.

En Alcanadre, y especialmente en Lodosa, los niveles de arenisca tienen notable desarrollo (parte superior de la serie), donde constituyen capas de color amarillento y espesor centimétrico o decimétrico en las que son abundantes los "ripple-marks" ("climbing-ripples" y ripples de oscilación). El estudio petrográfico de estas areniscas permite ver un alto contenido en carbonato, en forma de granos (bioclastos, peloides...), matriz (micrita) o cemento (esparita). Se trata de areniscas típicamente fluviolacustres, que muestran a techo de capa frecuetes estructuras de interferencia en las direcciones de los ripples (foto 23), así como pisadas de aves.

Corte tipo:

La carretera que va de Alcanadre a Lodosa corta en su totalidad la serie de la unidad Alcanadre. En este punto la unidad presenta una potencia de 37 m. y pueden distinguirse los siguientes tramos de base a techo (fig. A-19).

- 20 m. arcillas grises con capas de yeso nodular y algunos niveles de arenisca.
- 17 m. de arcillas grises con areniscas bien estratificadas en capas de 10-30 cms. También se reconoce alguna capa de caliza.

4.2.3.8.- ARCILLAS Y YESOS DE MENDAVIA.

Constituye la unidad basal de la Fm. Lerín en el sector de Lodosa. Aflora de forma parcial en el núcleo de los anticlinales de Alcanadre, Sartaguda (foto 10) y Cárcar (extremo occidental). En ninguno de estos casos llega a observarse la base de la misma por lo que no se conocen las facies que la limitan inferiormente.

La unidad se caracteriza por el color rojo intenso de sus arcillas, entre las que se intercalan frecuentes capas de areniscas y yesos. En el núcleo de los anticlinales de Alcanadre y Sartaguda se reconocen dos subunidades en la serie (en Lodosa sólo aflora la subunidad superior):

La subunidad inferior constituye una alternancia cíclica de arcillas y yesos. Cada ciclo presenta una potencia de 5-10 m. y los yesos son principalmente de litofacies nodular. En el núcleo del anticlinal de Sartaguda se halla un importante manantial salino (foto 122) que pone de manifiesto la presencia de niveles de halita en subsuelo entre estas facies. La potencia de este tramo es de 55 m. aflorantes en Sartaguda.

La subunidad superior constituye una serie arcillosa con frecuentes capas de arenisca de morfología tabular de 10-50 cms. de espesor. También hay algunos horizontes nodulares de yeso, poco importantes. La potencia de este tramo es de 45 m. en el corte de Sartaguda.

Hemos considerado estas facies como equivalentes laterales de la unidad Peralta, aunque éste es un hecho difícil de comprobar dada la escasa extensión de afloramiento que tienen y su desconexión con cualquier unidad lateral. No obstante, no descartamos la posibilidad de que los yesos de la subunidad inferior puedan corresponder al techo de los Yesos de Falces, que en este sector no llegan a aflorar en ningún punto.

Corte tipo:

El corte de referencia para esta unidad es el de Sartaguda, donde presenta una potencia aflorante de 100 m. (fig. A-8, foto 10) y donde se distinguen bien las dos subunidades que hemos citado.

4.2.4.- PETROLOGIA.

En este apartado nos ocuparemos de la descripción del yeso-anhidrita, carbonatos, arcillas y areniscas. La petrología de la glauberita, polihalita y halita, será tratada con mayor detalle en el capítulo 5.

4.2.4.1.- EL YESO Y LA ANHIDRITA.

A) LITOFACIES:

Al hacer una descripción de las diferentes unidades de las formaciones Falces y Lerín hemos utilizado de forma corriente los términos "yeso laminado", "yeso nodular" o "yeso lenticular". En líneas generales, estas son las tres litofacies de sulfato cálcico que caracterizan estas formaciones, pero en detalle cada uno de estos tipos de yeso ofrecen diversas variedades:

1.- YESO LAMINADO:

El yeso laminado está bien desarrollado en ambas formaciones constituyendo capas o tramos cuyo espesor puede superar la decena de metros (fotos 24 y 25). En los tramos más potentes son frecuentes las intercalaciones nodulares (foto 29) y también de yeso lenticular (foto 28). Estos tramos están bien formados en las series donde las unidades yesíferas son más potentes.

La laminación puede ser de sulfato cálcico muy puro, formando capas de aspecto masivo, o bien presentar cantidades variables de matriz lutítica o carbonatada que le confiere a la roca un aspecto típicamente foliar u hojoso.

Interpretamos los tramos laminados como propios de zonas lacustres, en las que el yeso ha precipitado bajo lámina de agua, en forma de finos cristales (gipsilutita o gipsarenita) sedimentando en el fondo del lago. Las texturas originales de estos yesos no se reconocen en la actualidad por estar todo el sulfato cálcico transformado a yeso secundario o anhidrita. La presencia de laminación alternante a escala milimétrica o centimétrica de yeso-carbonato se debe normalmente a cambios en la salinidad del medio a pequeña escala (cambios estacionales, avenidas de aguas diluidas, etc.). La presencia de arcillas como matriz entre las láminas de yeso es debida a los aportes de material detrítico fino al medio evaporítico.

Básicamente se identifican tres variedades de yeso laminado, aunque entre éstas pueden darse facies con características intermedias:

* Laminación plano-paralela. El yeso se presenta en láminas plano paralelas (fotos 24 y 29) de espesor milimétrico o centimétrico separadas por cantidades variables de matriz lutítica o carbonatada. Con frecuencia estas láminas puede presentarse deformadas o fracturadas por compactación del sedimento o bien por fenómenos de tectónica o diapirismo.

* Laminación amalgamada. En algunos casos las láminas presentan formas lenticulares o sigmoidales paralelas a la estratificación de la roca (foto 25), que interpretamos como estructuras de tipo "ripple", debidas al retrabajamiento del sedimento sulfatado del fondo del lago por oleaje u otros tipos de corrientes.

* Laminación algal. Es frecuente observar entre los yesos laminados de los tipos anteriores, algunas láminas con morfologías muy contorsionadas que destacan marcadamente entre la laminación que las continen (fotos 26, 27 y 28c). Por su morfología, muy similar a la de algunos tapices algales observados en medios evaporíticos actuales, las hemos interpretado como niveles yesíferos cuya morfología ha sufrido control algal. El carácter secundario del yeso no permite reconocer filamentos que confirmen el origen algal de estas morfologías.

Algunos de estos niveles de morfología contorsionada ofrecen dudas sobre su origen al presentar características intermedias entre estas morfologías algales y los típicos niveles nodulares enterolíticos que describimos más adelante.

II.- YESO NODULAR:

Es el tipo de litofacies que claramente domina en la formación Lerín, y también es muy abundante en la formación Falces. Está especialmente bien desarrollado, o incluso puede ser exclusivo, en los cortes marginales de la formación, o en aquellas unidades con poco desarrollo de las facies evaporíticas.

Desde un punto de vista morfológico cabe distinguir las siguientes variedades de yeso nodular:

* Yeso micronodular. Utilizamos este término para referirnos a nódulos cuyo tamaño es inferior a los 1-2 cms. Estos nódulos pueden presentarse dispersos entre las arcillas o carbonatos (foto 33), o bien formar densos empaquetados nodulares con estructura en mosaico (fotos 89, 90, 91 y 93). Entre ambos casos pueden darse situaciones intermedias. Para este último caso se han utilizado con frecuencia los términos "chicken-wire" y "mosaico", en la literatura inglesa, o "yeso en turrón" dentro de la Cuenca del Ebro (QUIRANTES, 1969; MANDADO, 1987), aunque este último término es menos conocido.

En algunos casos el yeso micronodular llega a formar capas muy compactas con escasa matriz lutítica, en las que difícilmente se reconoce su estructura. Al microscopio (luz paralela) se observa cómo la escasa matriz que contiene se distribuye en polígonos de forma y tamaño variable, que permiten identificar la estructura micronodular de la roca. Para estos casos utilizamos normalmente los términos "masivo" o "masivo-micronodular". Este tipo de yeso presenta una coloración grisacea o verdosa, más o menos translúcida, reflejo del tipo de impurezas que contiene, pero nunca llega a dar el color blanco intenso típico del alabastro tal como se observa en los nódulos y meganódulos de yeso.

* Yeso meganodular: Con este nombre nos referimos a los grandes nódulos cuyo tamaño puede variar entre 30-50 cms. y 1-1.5 m. (fotos 36, 37 y 38). Para el caso de la formación Lerín esta litofacies sólo está presente en los Yesos de Autol. No obstante, es muy característica de las formaciones Monteagudo, Borja y Ribaflecha, entre otras de la Cuenca del Ebro.

* Yeso nodular (en sentido amplio): Este término agrupa todas aquellas morfologías nodulares cuyo tamaño varía entre 3-5 cms. y 20-30 cms. Esta litofacies es la dominante en las formaciones Falces y Lerín, y presenta las siguientes variedades:

* Yeso nodular de elongación vertical: debido al crecimiento competitivo en un mismo nivel, los nódulos crecen en ocasiones en sentido vertical (foto 30), formando una característica litofacies que se reconoce con frecuencia en los tramos yesíferos. Estos niveles de elongación vertical pueden llegar a tener una extensión lateral de varios centenares de metros sin apenas variaciones. En otras ocasiones se ha observado como lateralmente pasan a otro tipo de litofacies (enterolítica, nodulos aislados...)

* Yeso enterolítico: El yeso presenta un aspecto contorsionado o replegado debido también al crecimiento competitivo de los nódulos en un mismo nivel. Esta litofacies es corriente observarla entre los tramos de yeso laminado más potentes (foto 29), así como en los tramos nodulares junto a otras morfologías.

* Yeso nodular de tipo "coliflor": Con frecuencia se observan dispersos entre las arcillas nódulos de tamaño decimétrico con formas subesféricas más o menos aplastadas (foto 35). Estos nódulos son normalmente individuales, pero con frecuencia también se presentan en forma de dos o más nódulos interpenetrados. Están constituídos por yeso alabastrino de gran pureza en el que es corriente observar una corteza o envoltura superficial de porfiroblastos (foto 41).

Estas diferentes variedades nodulares tienen siempre un origen intersticial, que puede tener lugar entre un sedimento lutítico, sulfatado o carbonatado. Originalmente se generaron como nódulos de anhidrita (ahora transformados a yeso secundario), aunque no siempre está claro si la anhidrita tuvo un origen primario o bien se desarrolló a partir de un antecesor yesífero. Los nódulos tienen un origen temprano en el medio sedimentario, y ocupan, en relación con la zona lacustre evaporítica, una posición marginal en la que las salmueras se han concentrado dentro del sedimento por bombeo evaporítico, precipitando el sulfato cálcico en forma de anhidrita nodular.

Los nódulos tienden a desarrollarse siguiendo las discontinuidades del sedimento, que en la mayoría de los

casos son planos de estratificación. También puede tratarse de diaclasas (fracturas sinsedimentarias) (foto 31) u otro tipo de estructuras de debilidad del mismo.

Cuando los nódulos crecen entre yeso laminado constituyen niveles continuos y bien estratificados, que deforman la laminación del yeso encajante. Entre el carbonato se desarrollan principalmente nódulos de pequeño tamaño (micronódulos) de forma más o menos dispersa. En algunos casos el mayor desarrollo nodular sobre el carbonato restringe este último al carácter de matriz internodular. Entre las arcillas son propios los nódulos de morfología en "coliflor", dispersos de forma irregular o bien formando horizontes. También lo son los niveles nodulares de elongación vertical.

III.- YESO LENTICULAR:

Los cristales lenticulares que presentan las formaciones Falces y Lerín se observan en la actualidad como pseudomorfos en yeso alabastrino. Su tamaño no llega a superar los 1-2 cms, constituyendo normalmente pequeños cristales de tipo euhedral o subhedral que podemos observar con las siguientes características:

* Cristales individuales. Se hallan dispersos en los carbonatos, donde han crecido de forma intersticial y en los que llegan a constituir densos horizondes de varios centímetros de espesor (fotos 39 y 86). También se reconocen entre el yeso laminado, creciendo de forma irregular o bien en empalizada más o menos perpendicularmente a la laminación.

* Agregados en roseta. Es frecuente observar entre los yesos laminados o nodulares, costras más o menos continuas de morfología ondulada, de varios centímetros de espesor, constituidas por pseudomorfos de yeso lenticular creciendo hacia la base de capa (fotos 32 y 40). Las lentículas no superan los 5-20 mm., y presentan formas agudas, que se clavan contra el sedimento lutítico encajante. En algunas ocasiones, estas costras tapizan la base de niveles nodulares o enterolíticos, adaptándose a la morfología de los mismos.

B) PETROGRAFIA:

Todo el sulfato cálcico que constituye las formaciones Falces y Lerín está presente en forma de anhidrita o yeso secundario.

I.- LA ANHIDRITA.

Las muestras de anhidrita que hemos estudiado proceden de los sondeos y afloramiento de la Ermira de Aradón (unidad Los Arcos); y del sondeo de Marcilla (formación Falces):

* De visu, la anhidrita presenta una textura muy fina y homogénea, de color blanco ligeramente azulado, y se distingue bien del yeso por su mayor densidad. Es un mineral que muy raramente aflora (en las formaciones Falces y Lerín sólo se ha observado en superficie en algunos puntos del corte de la Ermita de Aradón, fig. A-7).

* Al microscopio la anhidrita se presenta como mineral individual, asociada a yeso secundario o bien asociada a la glauberita y polihalita (este último caso será tratado en el capítulo 5).

* En el primer caso la anhidrita se observa como un denso mosaico granular (secciones cuadrado-rectangulares) con microestructura desorientada (figs. 45, 46 y 48). Los cristales prismáticos también están presentes, siempre con menor grado de desarrollo. El tamaño cristalino varía normalmente entre 30 y 150 µm, aunque pueden individualizarse cristales de tamaño mayor (hasta 500 µm.).

En varias muestras corriespondientes a los sondeos de la Ermita de Aradón, se han observado típicas microestructuras bimodales (foto 45), en las que sobre una matriz fina de anhidrita granular (<50 µm.), se han desarrollado cristales mayores de anhidrita (100-200 µm.), euhedrales, a modo de porfiroblastos (texturas de estas características han sido descritas también en Remolinos, por ORTI y PUEYO, 1977). La abundancia de estos porfiroblastos es muy variable y su distribución es irregular. Se hallan de

forma aislada como monocristales, aunque pueden darse zonas con tránsito gradual de tamaños entre la matriz anhidrítica y los porfiroblastos.

* La anhidrita se observa con frecuencia asociada al yeso a modo de inclusiones (foto 47) en los cristales de tamaño mayor (megacristales, porfiroblastos o algunos componentes alabastrinos). Estas inclusiones son las trazas residuales de la antigua composición mineral de la roca y presentan bordes de grano irregulares y corroídos por la transformación mineral. Las inclusiones son de tamaño muy fino, normalmente del orden de las 5-10 µm.

En otras ocasiones el yeso secundario se presenta en las muestras de anhidrita como pequeños cristales aislados o bien como vetas, indicando el principio de la hidratación de la roca. Entre un caso y otro pueden darse todas las situaciones intermedias de transformación de la anhidrita a yeso secundario.

II.- EL YESO SECUNDARIO.

En las formaciones Falces y Lerín el yeso secundario está ampliamente representado en sus tres variedades petrográficas: alabastrina, porfiroblástica y megacristalina. Este yeso proviene del reemplazamiento de anhidrita, pero también puede proceder del reemplazamiento de glauberita y polihalita.

El yeso alabastrino es el dominante, y presenta gran pureza especialmente en las litofacies nodulares. Al microscopio (foto 49) ofrece una variada gama de componentes y texturas cristalinas: componentes de extinción no uniforme, texturas fibrosas, cristales sub-euhedrales, matriz microcristalina... .

Los porfiroblastos presentan tamaños normalmente entre 1-2 mm. y 1-2 cms., con tonos más oscuros que el yeso alabastrino que los contiene. Se observan formando venas, niveles paralelos a la laminación de la roca, envolturas alrededor de los nódulos, etc.

Al microscopio (foto 50), presentan frecuentes inclusiones de anhidrita y hábitos desde muy anhedrales hasta idiomórficos. No obstante, las formas más corrientes son las subhedrales. Como ejemplos de esta variedad de yeso secundario pueden citarse los porfiroblastos (cristales idiomórficos) desarrollados en los niveles nodulares del corte de Larraga, pertenecientes a los Yesos de Falces (foto 42); y también las envolturas porfiroblásticas en nódulos en la parte inferior del corte de Los Arcos, de la Fm. Lerín (foto 41).

El yeso megacristalino (fotos 43 y 44) también es muy corriente, especialmente en relación con los tramos yesíferos más potentes (unidades Sesma, Los Arcos...). Los cristales son de tamaño centimétrico, y llegan a tener hasta 30 cms. de longitud. Se caracterizan por su aspecto translúcido, marcada foliación, hábitos elongados subhedrales, y por formar estructuras desorientadas, que enmascaran la litofacies original del sulfato. De nuestras observaciones se deduce que en su mayor parte el yeso megacristalino reemplaza corrientemente a la litofacies nodular y en menor frecuencia a la laminada.

Al microscopio, el yeso megacristalino es rico en inclusiones de anhidrita, calcita y también inclusiones fluídas. La foliación está siempre bien desarrollada, y con frecuencia distorsionada por efectos de la tectónica o plasticidad de la roca. Estas deformaciones dan lugar también a extinciones ondulantes en el mineral.

En las diferentes variedades de yeso secundario se observan con cierta frecuencia pequeños esferulitos de calcedonia, de forma aislada o formando agregados de unos pocos individuos. El diámetro de estos esferulitos no supera normalmente las 500-700 µm. y su origen no está claro a partir de las pocas muestras de que disponemos. El hecho de no haberse observado esferulitos en las muestras de anhidrita puede hacernos pensar en un origen tardío de los mismos.

4.2.4.2.- LOS CARBONATOS.

Se ha comentado ya que esta litología está poco desarrollada en las formaciones Falces y Lerín, hallándose

corrientemente como matriz entre los sulfatos o bien, con menor frecuencia, formando capas individuales de pocos centímetros o decímetros de espesor. En los diferentes casos las características texturales y mineralógicas son idénticas: se trata siempre de micrita, en facies masiva o laminada, en la que difícilmente llegan a identificarse componentes carbonatados.

TABLA núm 6 — muestras de sulfatos y carbonatos pertenecientes a la Fm. Lerín.

muestra	ys	an	ce	hx	cc	do	mg	cz	fd	ar
AL-6	■									
AR-3	■	*						*		
AR-10	■									
AR-14	■									
CA-2	■					■		♦		*
CA-8	■				■	■		♦		*
CA-16	■									
CA-19	■							*		
CA-24	■					■				
CA-26	■							*		
CP-5	■									
CP-9	■									
CP-13	♦					■		♦		*
CP-14	■									
CP-18	■							*		
CP-24	■									
CP-29	■									
CP-39					■			*		
FA-1	♦			■						
LA-2	■									
LA-5					■	♦		■		
LA-8	■									
LE-4					♦	■		♦		
LE-7	■	*				♦		*		
LE-9						■		*		

TABLA núm 7 muestras de sulfatos y carbonatos pertenecientes a la Fm. Lerín.

muestra	ys	an	ce	hx	cc	do	mg	cz	fd	ar
LE-11	■	*						*		
LE-20	■						?			
LE-22	■									
LE-23	■									
LE-24	■	*						*		
LE-27	◆			■						
LE-30	■	*						*		
LO-5					■	◆		■	◆	
LO-6					■	◆		■	◆	*
LO-8					■	◆		■	◆	*
LO-14	■									
LO-18	■									
LO-19	■					■		◆		*
LO-24	■					■		◆		
LO-27	■							*		
LO-30	■									
LO-37	◆			■						
PE-6	■			■				■		
PE-8	■	*								
PE-15	■									
PE-16	?				■	■		*		
PE-23	◆			■						
SA-1					■			■	◆	■
SE-10	■									
SE-16	■						?	*		
SE-19	■	*						*		

Las tablas número 6 y 7 presentan los resultados de difracción de Rayos-X en roca total, correspondientes a muestras de sulfatos y carbonatos de la formación Lerín. Las mineralogías identificadas son:

ys = yeso cc = calcita fd = deldespatos
an = anhidrita do = dolomita ar = arcillas
ce = celestina mg = magnesita ■ = mine.dominante
hx = hexahidrita cz = cuarzo ◆ = mine.secundario
* = mine.traza

Los estudios de difracción de Rayos-X han permitido ver que la mineralogía dominante para estos carbonatos es la dolomita, aunque ocasionalmente puede tratarse también de magnesita (en relación con los niveles de glauberita y polihalita) o bien calcita. Para este último caso, que en los difractogramas figura como mineral secundario al lado de la dolomita, puede interpretarse como un producto de dedolomitización o bien como cementos más o menos recientes rellenando porosidades de la roca.

Al microscopio petrográfico el carbonato se observa con una homogénea textura micrítica en la que pueden reconocense relictos de bioclastos u otros componentes no identificables del sedimento. Pueden también observarse finos niveles siliciclásticos (tamaño limo o arena fina) intercalados entre el carbonato, así como óxidos de hierro (hematites) y arcillas.

Al microscopio electrónico la micrita se presenta como un denso agregado de cristales anhedrales de dolomita, de tamaño inferior a las 5-10 µm. (fotos 70-71), aunque también pueden darse dolomías idiomórficas (fotos 73 y 75). Ocasionalmente, la micrita puede preservar algunos componentes originales del sedimento (foto 74).

4.2.4.3.- LAS ARCILLAS.

Con el fin de conocer las características mineralógicas de las arcillas, se han analizado por difracción de Rayos-X un total de 54 muestras correspondientes a los cortes de Peralta, Lodosa, Ermita de Aradón y Autol (ver tablas 8, 9, 10 y 11). Los resultados de estos análisis ponen de manifiesto los siguientes aspectos:

1) Las muestras de arcillas correspondientes a los cortes de Peralta, Lodosa y Ermita de Aradón ofrecen una marcada homogeneidad mineralógica, tratándose de arcillas de los tipos illita, clorita, con presencia variable de caolinita, así como carbonatos (dolomita, calcita y ocasionalmente magnesita), cuarzo y feldespatos como minerales acompañantes. En algunas muestras también se han detectado esmectitas.

En las arcillas de Lodosa, a diferencia de las de Peralta, la caolinita está presente en mayor proporción, llegando a estar en algunas muestras con similar grado de desarrollo que la clorita. También se observa un contenido en carbonatos mayor (básicamente dolomita), y el cuarzo y feldespatos están siempre presentes en mayor o menor grado. En algunas muestras se han detectado altos contenidos en magnesita (en la muestra LO-38 la magnesita es el mineral dominante).

En la serie de Peralta las arcillas son más pobres en carbonatos y la caolinita sólo se ha detectado, de forma dudosa, en unos pocos casos. Dos de las muestras presentan cantidades apreciables de esmectitas.

2) Las muestras de arcillas correspondientes al corte de Autol presentan también illita y clorita, pero en ellas destaca la presencia de esmectitas con relativa abundancia en todas ellas. Esta arcillas son muy similares a las de las formaciones Monteagudo y Ribaflecha que describiremos más adelante.

3) De estos datos se desprende los siguientes aspectos:

- El color de las arcillas no es significativo de sus características mineralógicas.

- El tipo de facies entre las que se hallan las arcillas (areniscas, yeso-anhidrita, glauberita) no parece influir tampoco en su composición mineral.

- El diferente color y relativa variación mineralógica de las arcillas en los sectores de Peralta y Lodosa-Los Arcos-Autol, puede ser indicativo de áreas fuentes diferentes para las mismas.

- La presencia de esmectitas parece estar en relación con las facies evaporíticas de baja concentración del margen de cuenca, en las que también destaca el desarrollo de sílex y la presencia de grandes nódulos de alabastro.

* * * *

La tabla número 12 muestra los resultados de difracción de Rayos-X correspondientes a la fracción arcillosa de varias de las muestras del sondeo de Marcilla, correspondientes en su mayor parte a la "formación detrítica basal oligocena" (fig. 27).

En ellas se observan que las arcillas son del tipo illita-clorita, con presencia de carbonatos, cuarzo y feldespatos como minerales acompañantes. Los feldespatos son principalmente plagioclasas. Los carbonatos son dolomita y calcita, aunque las muestras MA-2 y MA-5 presentan cantidades significativas de magnesita.

TABLA núm 8 — Arcillas serie de Peralta. formaciones Lerín y Falces (*)

muestra	il	cl	ca	es	cc	do	mg	cz	fd
PE-2 *	■	■							
PE-3 *	■	■		?	■	■		■	
PE-4 *	■	■							
PE-7 *	■	■			■	■		■	■
PE-9 *	■	■					■	■	?
PE-11	■	■	?		■	■			
PE-12	■	■			■	■		■	
PE-13	■	■						?	
PE-18	■	■	?		■				
PE-20	■	■				■	■	■	■
PE-24 *	■	■				■		■	
PE-26 *	■	■				■		■	
PE-27 *	■	■				■		■	
PE-28 *	■	■				■		■	
PE-29 *	■	■			■	■			
PE-30	■	■			■	■		■	
PE-31	■	■				■		■	
PE-32	■	■		■	■	■		■	
PE-33	■	■	?		■	■		?	
PE-34	■	■				■	?	?	
PE-35	■	■	?			■		■	■
PE-36	■	■	?		■	■		■	

Las tablas números 8, 9, 10, 11 y 12 que siguen a continuación presentan los resultados de las difracciones de Rayos-X realizados sobre las arcillas de las formaciones Falces (Peralta y sondeo de Marcilla), Lerín (Peralta, Lodosa y Autol) y formación detrítica basal oligocena (sondeo de Marcilla). Los minerales que se indican en la cabecera de la tabla son los siguientes:

il = illita cc = calcita fd = feldespatos
cl = clorita do = dolomita ■ = mine.identificado
ca = caolinita mg = magnesita ? = presencia dudosa
es = esmectita cz = cuarzo

TABLA núm 9 — Arcillas serie de Lodosa. Formación Lerín.

muestra	il	cl	ca	es	cc	do	mg	cz	fd
LO-16	■	■	?			■		■	
LO-20	■	■	■		?	■	?	■	?
LO-21	■	■	■			■		■	■
LO-23	■	■			■	■		■	
LO-26	■	■	■			■		■	■
LO-31	■	■	?		■	■		■	
LO-35	■	■	■		■	■		■	
LO-36	■	■	■			■	■		
LO-38	■	■		■	?	■	■	■	
LO-39	■	■	■			■		■	?
LO-40	■	■	■			■		■	
LO-41	■	?			■	?		■	
LO-42	■	■	■			■		■	
LO-43	■	■				■		■	
LO-44	■	■	■			■		■	
LO-45	■	■	■		■	■	■	■	
LO-46	■	■	■		■	■		■	■

TABLA núm 10 — Arcillas serie de Autol formación Lerín.

muestra	il	cl	ca	es	cc	do	mg	cz	fd
AU-1	■	■	?	■	■	■			
AU-2	■	■		■					
AU-3	■	■	?	■	■			■	

TABLA núm 11 | Arcillas serie de E.Aradón formación Lerín.

muestra	il	cl	ca	es	cc	do	mg	cz	fd
S1-51.80	■	■					■		
S1-95.10	■	■	?				?		
S1-95.20	■	■				■			
S1-98.80	■	■	■		?	?			
S2-24.40	■	■							
S2-78	■	■					■		
EA-15	■	■	?				■		

TABLA núm 12 | Arcillas sondeo de Marcilla. fm. detrítica oligocena basal y formación Falces (*).

muestra	il	cl	ca	es	cc	do	mg	cz	fd
MA-2 *	■	■	?				■		■
MA-5	■	■					■		■
MA-7	■	■				■			
MA-8	■	■				■			?
MA-9	■	■			?	■	?	■	?
MA-10	■	■							?
MA-11	■	■			?	?		■	?
MA-12	■	■			■	■		■	■
MA-13	■	■	?		■	■			
MA-14	■	■	?		■	?	?	■	?

4.2.4.4.- LAS ARENISCAS.

Las capas de arenisca están bien representadas en la formación Lerín, especialmente entre sus unidades más occidentales (unidades Mendavia, Alcanadre, Sartaguda, Lodosa y también, en parte, en la unidad Peralta). En la unidad Falces sólo hemos observado niveles de arenisca entre los tramos arcillosos del Mb. Superior.

Para ambas formaciones, y también para el caso de las Arcillas de Marcilla, las litofacies de las areniscas son muy similares (con el fin de no hacer repeticiones innecesarias remitimos al lector a los apartados en que se describen estas unidades).

Algunas de estas areniscas han sido estudiadas al microscopio petrográfico, observándose los siguientes aspectos:

* Los granos, son de tamaño arena fina, muy fina o limo. Su composición es principalmente siliciclástica (cuarzo, feldespatos...) de tamaño homogéneo y formas desde angulosas hasta subredondeadas. Los granos de cuarzo son mayoritariamente monocristalinos y en muchos casos presentan extinción ondulante. Los feldespatos (ortosas y plagioclasas) son menos representativos y están poco alterados. Las micas (esencialmente moscovita) son también corrientes en estas areniscas.

En segundo grado de importancia, están los granos de composición carbonatada, que pueden ser de muy diverso género: peloides, fragmentos de gasterópodos, fragmentos algales, fragmentos de organismos indeterminados, foraminíferos reciclados del Terciario marino surpirenaico (Nummulites, Globigerínidos...), etc. En algunas muestras los componentes carbonatados pueden ser mayoritarios (unidad Alcanadre). Algunas difracciones de Rayos-X realizadas sobre estas facies más calcarenítticas permiten ver que los granos carbonatados tienen una composición de calcita o dolomita indiferentemente.

Otros tipos de granos que se han observado con menor frecuencia son: minerales opacos, óxidos de hierro (hematites), fragmentos de roca (ígneos o metamóficos), cloritas y minerales pesados (turmalinas, circones, apatitos...). Como caso excepcional se ha observado una muestra de arenisca en la que la práctica totalidad de la misma está constituída por minerales pesados y opacos.

* Se reconocen también frecuentes intraclastos, de arcillas o carbonatos, cuyo tamaño puede llegar a ser de orden centimétrico.

* Por lo general estas areniscas son pobres en matriz, que puede ser lutítica o bien carbonatada (micrita).

* El cemento es de calcita o bien de yeso. El yeso, de tipo secundario, se dispone formando grandes cristales poiquilíticos, que engloba a los granos. En algunos casos se han observado los granos dispersos entre el cemento, "flotando" aisladamente entre sí, lo que hace pensar que originalmente la arenisca tuvo un contenido importante en granos de yeso (gipsarenita), que ahora han recristalizado y se confunden con el cemento que engloba la roca.

* Algunas estructuras que pueden reconocerse en lámina delgada son: 1) orientación de los minerales paralelamente a la laminación, con niveles de minerales opacos o pesados alternando con otras de minerales más ligeros; 2) trazas de bioturbación; 3) pseudomorfos de cristales de yeso o anhidrita.

* * * *

En este apartado queremos incluir también las características de las arenisca y limolitas cortadas por los testigos 5, 7, 8 y 9, del sondeo de Marcilla, que forman parte de los niveles superiores de la "formación detrítica basal oligocena". En líneas generales estas areniscas presentan características petrográficas similares a las descritas para las formaciones Falces y Lerín. Como particularidades de las mismas pueden exponerse los siguientes puntos:

* La composición siliciclástica es dominante, con poca representación de los carbonatos. Se observa una mayor presencia de granos de plagioclasa y moscovita, en comparación con las areniscas antes descritas. Algunos granos de cuarzo presentan inclusiones de anhidrita. Abundan los granos de clorita. El tamaño de los granos varía desde arena fina (50-100 µm) hasta limos muy finos.

* El contenido en matriz arcillosa es mayor en comparación con las muestras de la Fm. Lerín.

* El cemento, cuando está presente, es de anhidrita.

* Entre las areniscas o limolitas se presentan frecuentes micronódulos de anhidrita (fotos 117 y 119), que en algunos casos pueden corresponder a pseudomorfos de cristales de yeso de hábito mal definido. El tamaño de estos posibles pseudomorfos varia entre 1 y 10 mm.

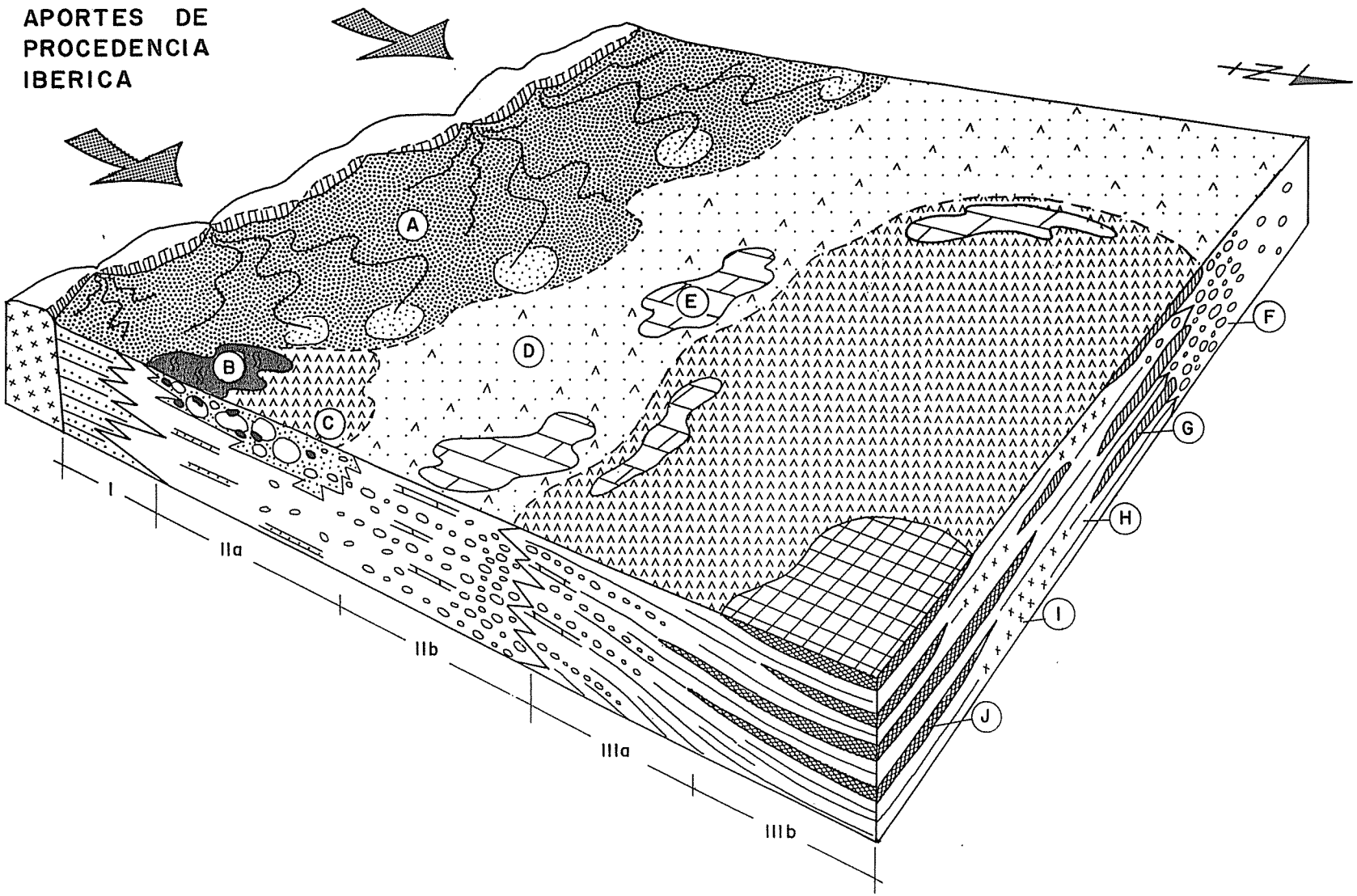
4.2.5.- SEDIMENTOLOGIA.

4.2.5.1.- EL MODELO DE PLAYA-LAKE PARA LAS FORMACIONES FALCES Y LERIN.

De la composición litológica y distribución de facies en las formaciones Falces y Lerín, proponemos como tipo de medio sedimentario para el origen de sus evaporitas, un sistema de "playa-lake" con las siguientes características (figs. 28 y 29):

Figura 28.- Bloque diagrama mostrando la distribución de ambientes deposicionales en un medio evaporítico de tipo playa-lake, válido para las formaciones Falces y Lerín. Desde margen hacia centro de cuenca se distinguen los siguientes subambientes: I) Abanicos aluviales, II) Llanura lutítica, con capas de arenisca (IIa) y anhidrita nodular (IIb). III) Lago salino efímero, con una zona lacustre central (IIIb) con precipitación de halita y yeso, y una zona marginal con facies lacustres de yeso y carbonatos, e intersticiales de anhidrita, glauberita y polihalita (IIIa).

Litofacies: A) conglomerados y areniscas; B) yesos bioturbados con sílex; C) anhidrita masivo-micronodular y meganodular, con nódulos de sílex; D) lutitas y areniscas; E) carbonatos; F) anhidrita nodular; G) glauberita; H) yeso laminado; I) polihalita; J) halita.


APORTES DE
PROCEDENCIA
IBERICA
A
B
C
D
E
F
G
H
I
J
I
IIa
IIb
IIIa
IIIb

1) Distinguiremos tres zonas diferentes en el playa-lake (fig. 29): zona interna, zona intermedia y zona marginal. El límite entre estas tres zonas es difícil de precisar pues el tránsito de una a otra es gradual. Corresponden respectivamente al núcleo del playa-lake, con un medio lacustre efímero; a la zona periférica al lago, inundada sólo en las etapas de expansión lacustre, y a la zona externa del playa-lake donde la lámina de agua ocupa una posición freática y sólo excepcionalmente llega a inundarse.

2) En la zona interna (zona IIIb de la figura 28, y zona F de la figura 29) precipita yeso y halita, que sedimentan en la interfase agua-sedimento formando un sedimento laminado. La halita es el producto que precipita en los estadios de mayor concentración de las salmueras. En este momento la extensión del medio lacustre en el playa-lake es mínima. El yeso precipita en fases de menor concentración de las salmueras y su extensión sobre el playa-lake es algo mayor que la de la halita.

3) En la zona intermedia (zona IIIa y zonas D y E) se presentan facies evaporíticas lacustres, precipitadas en los periodos de inundación del playa-lake, y facies evaporíticas intersticiales, desarrolladas entre las primeras durante los períodos de desecación del mismo. En el primer caso se trata de carbonatos y yeso, con litofacies laminadas. En el segundo se trata de anhidrita nodular y yeso lenticular-microlenticular.

El desarrollo de las facies intersticiales aumenta hacia la parte externa de esta zona intermedia, pasando gradualmente a la zona marginal del playa-lake, donde las facies intersticiales son dominantes. Hacia la zona interna, tienden a dominar las facies lacustres de yeso y carbonato, con paso gradual a las facies de halita y yeso.

4) En la zona marginal (zona II, y zonas B y C) sólo se presentan litofacies nodulares de anhidrita, entre las arcillas como material encajante. La presencia de capas de carbonato puede deberse al desarrollo de pequeñas y efímeras lagunas carbonatadas en los períodos de mayor expansión del medio lacustre. En esta zona se presentan también niveles de areniscas que constituyen canales o lóbulos de "crevase" correspondientes a las facies fluviales o aluviales más distales. También las arcillas encajantes tienen un origen detrítico, como facies aluviales distales.

Entre la zona externa del playa-lake y los abanicos aluviales del margen de cuenca se presenta una llanura lutítica más o menos extensa según las zonas. Entre las lutitas se hallan finas capas de arenisca y ocasionalmente también facies nodulares o micronodulares de anhidrita.

5) Dentro de este esquema pueden darse etapas con desarrollo de facies de glauberita y polihalita, cuyo origen y características discutiremos en el capítulo 5.

6) Diversos tramos o unidades de las formaciones Falces y Lerín muestran escaso o nulo desarrollo de las facies de las zonas interna e intermedia del modelo propuesto, mostrando la serie una sucesión monótona de niveles de arcillas y yesos nodulares. Estos tramos pueden indicar que nos hallamos en una zona marginal de la formación y que las facies lacustres las encontraremos siguiendo el mismo tramo hacia el centro de la formación, o bien puede tratarse de una etapa con pobre desarrollo del medio evaporítico, en el que no llegó a desarrollarse un zona lacustre, constituyendo el medio evaporítico una extensa llanura lutítica con permanente porsición de la lámina de agua en subsuelo.

7) La progresiva implantación de un medio evaporítico con las características que hemos expuesto, da como resultado un ciclo evaporítico de las características que se muestran en las figura 31 (fotos 17 y 18). Como consecuencia del desplazamiento lateral de facies en el playa-lake, pueden obtenerse ciclos con diferente desarrollo y ordenación de sus facies, tal como se muestra en la figura 32.

4.2.5.2.- CARACTERISTICAS SECUENCIALES.

Al describir las características estratigráficas de la Fm. Lerín hemos visto que sus diferentes unidades constituyen tres tipos de tramos litológicos: unidades yesíferas, unidades arcillosas y unidades de arcillas y yesos.

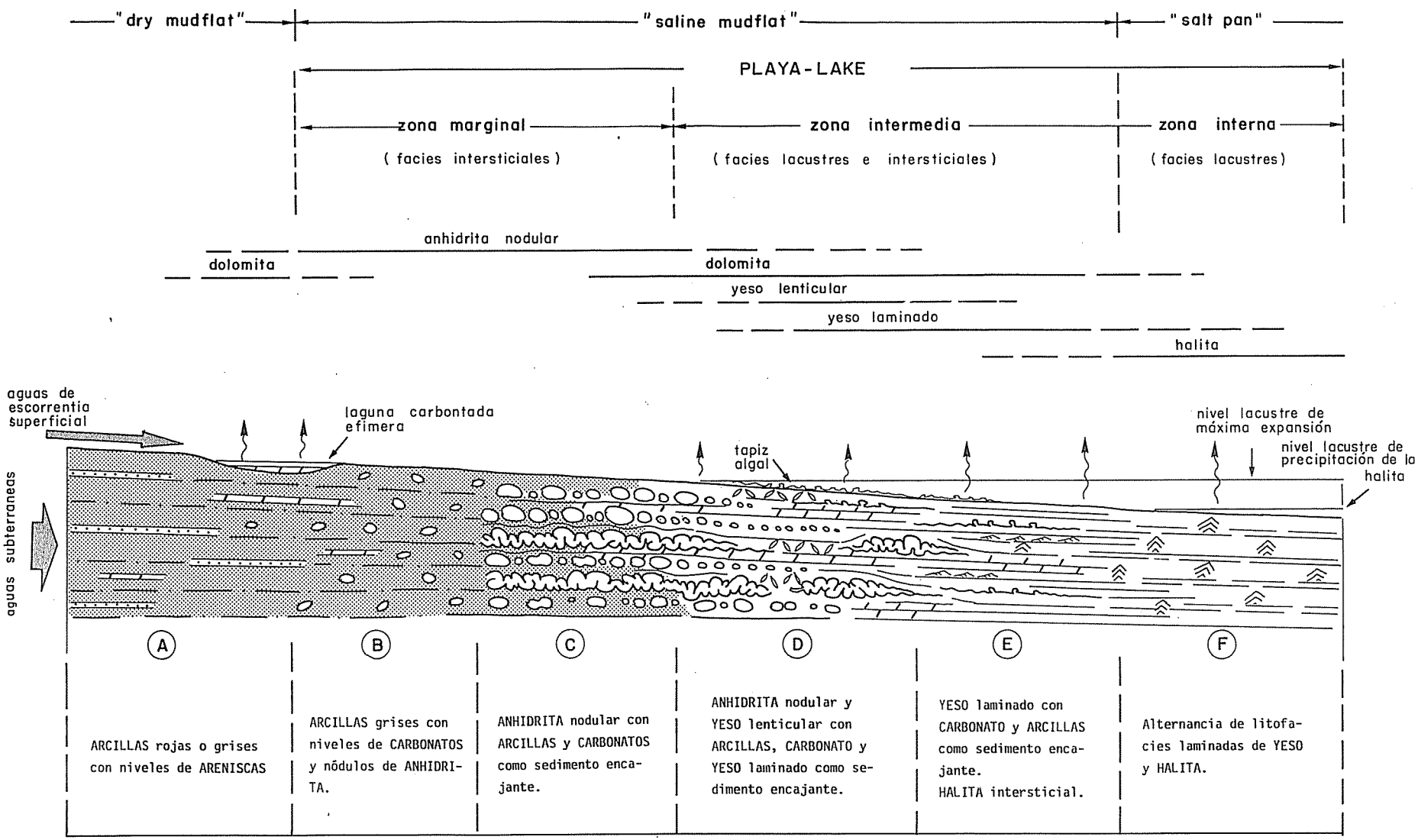


Figura 29.- Esquema de distribución de facies en un medio evaporítico de tipo playa-lake, con precipitación de carbonatos, yeso, anhidrita y halita.

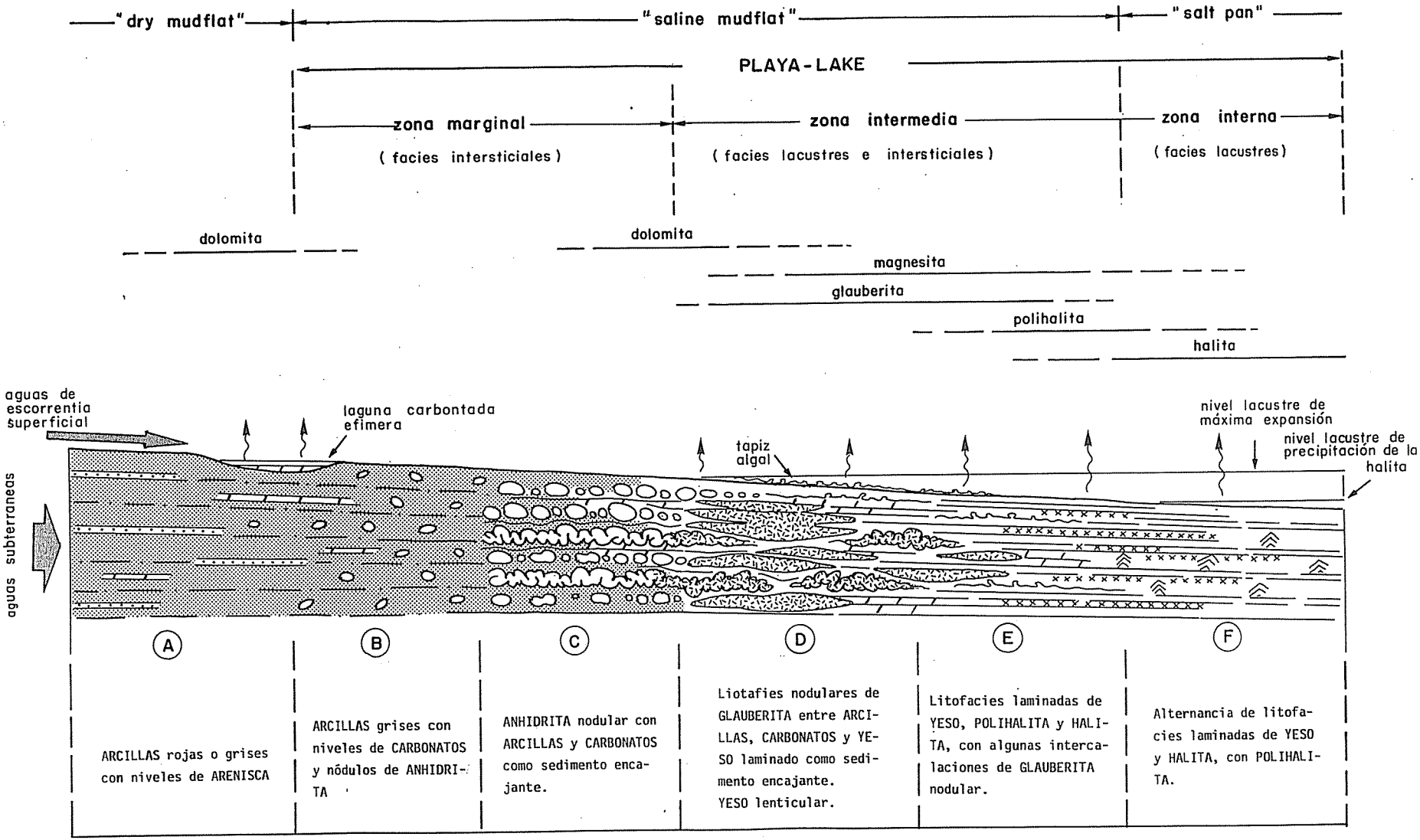


Figura 30.- Esquema de distribución de facies en un medio evaporítico de tipo playa-lake, con precipitación de carbonatos, yeso, anhidrita, glauberita, halita y polihalita.

De la distribución y características de estos tramos en la Fm. Lerín se reconocen al menos cinco grandes ciclos sedimentarios (o megaciclos) (fig. 33) que muestran, de base a techo, una evolución de máximo desarrollo y expansión de las facies evaporíticas, a máximo desarrollo de las facies aluviales. En detalle, estos megaciclos están compuestos por ciclos de rango menor (ciclos elementales), especialmente bien representados en las unidades constituídas por arcillas y yesos. La potencia de estos megaciclos es del orden de 100 a 250 m. (fig. 36), mientras que la de los ciclos elementales es de 10 a 40 m. (fig. 35).

En un corte interno a la formación, la megasecuencia está formada por un tramo inferior yesífero y un tramo superior de arcillas y yesos formando ciclos elementales. En un corte marginal, las arcillas dominan claramente la mayor parte del megaciclo, quedando restringidos los yesos a la parte inferior del mismo.

Los cinco megaciclos que se reconocen el la Fm. Lerín están constituídos por las siguientes unidades:

	facies de Tudela
5	Yesos de Los Arcos
4	U. Lodosa + U. Villafranca Yesos de Sesma
3	U. Sartaguda + U. Peralta (tramo sup.) Yesos de Alcanadre
2	U. Mendavia + U. Peralta (tramo int.) Nivel yesífero intermedio U. Peralta
1	U. Peralta (tramo arc. inf.) Nivel yesífero basal U. Peralta
	Arcillas de Marcilla

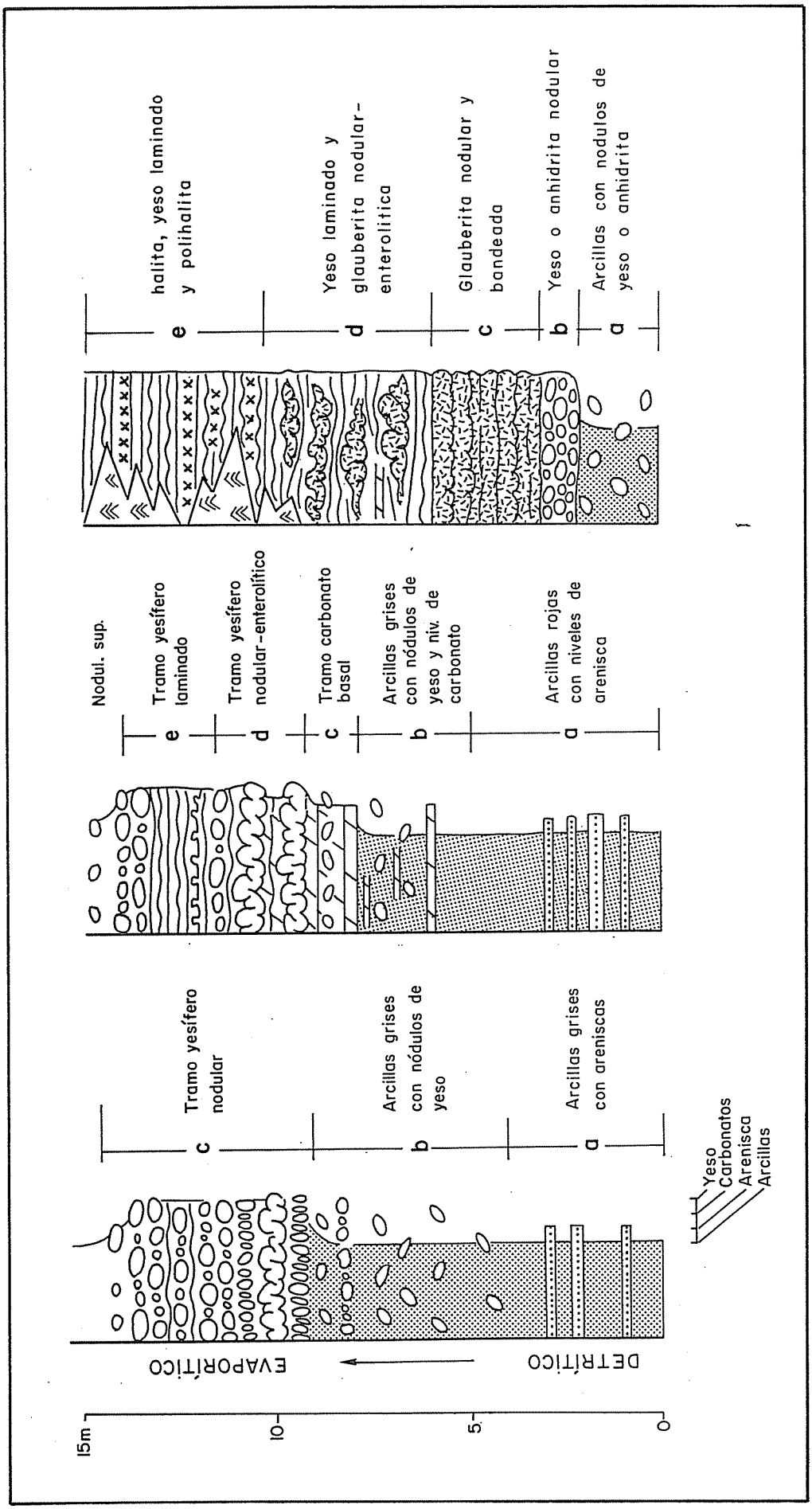


Figura 31.- Ciclos elementales detrítico-evaporíticos característicos de las formaciones Falces y Lerín. Muestran una evolución progresiva desde facies de llanura lutítica hacia hacies de playa-lake.

Los megaciclos 3 y 5 tienen un carácter complejo:

Los Yesos de Sesma, como se ha expuesto, presentan dos niveles de expansión hacia el Oeste. El nivel inferior constituye la base de la unidad en el sector de Peralta, y se acuña entre las arcillas de Sartaguda. El segundo nivel, con una posición estratigráfica más alta, constituye la base de los Yesos de Sesma en el sector de Lodosa.

Los Yesos de Los Arcos forman también una unidad compleja, que por la distribución de sus facies parece indicar también más de un impulso en su expansión hacia el Oeste.

* * * *

Estos megaciclos puede tener dos diferentes interpretaciones:

1.- Causas tectónicas, que han motivado que la subsidencia de la cuenca se haya producido mediante pulsaciones: en los periodos de menor tasa de subsidencia las evaporitas llegan a tener un mayor desarrollo sobre la cuenca y las facies aluviales quedan restringidas a los márgenes de la misma. Con un aumento de la tasa de subsidencia se activan los sistemas aluviales, que se expanden hacia centro de cuenca produciendo dilución del medio evaporítico y aumento de la sedimentación detrítica en esta zona de la cuenca.

El desplazamiento progresivo de los megaciclos hacia el Oeste, indica que el surco sedimentario ha sufrido a la vez un desplazamientos hacia occidente.

2.- Causas climáticas. En un contexto de subsidencia constante, los momentos de mayor desarrollo y expansión de las facies evaporíticas pueden corresponder a periodos de mayor aridez sobre la cuenca con escasas precipitaciones que mantienen relativamente inactivos los sistemas aluviales en beneficio de las evaporitas. En los periodos más húmedos las frecuentes inundaciones permiten que las facies detríticas se extienden sobre todo el dominio de la cuenca, compitiendo con los sistemas evaporíticos en la parte central de la misma, que a su vez son frecuentemente diluidos. Estos ciclos climáticos evolucionarían paralelamente a una

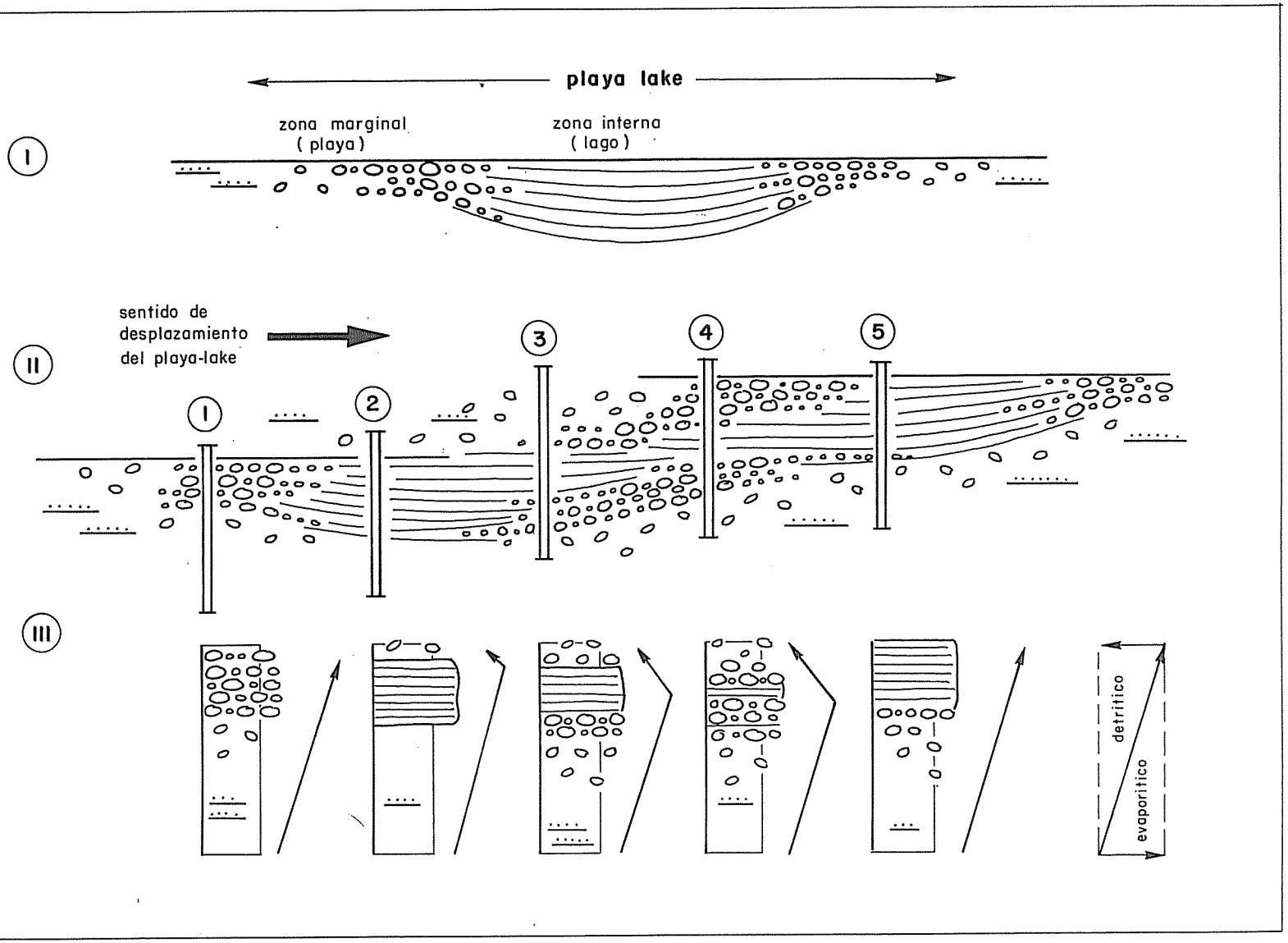


Figura 32.- Diferentes ejemplos de ciclos elementales detrítico-evaporíticos como resultado del desplazamiento del medio evaporítico y superposición de sus facies: 1) ciclo sólo con facies nodulares de yeso; 2) ciclo sólo con facies laminadas de yeso; 3 y 4) ciclo con facies nodulares a base y techo y laminadas en posición intermedia; 5) ciclo con facies nodulares a base y laminadas a techo.

subsidencia de la cuenca con desplazamiento del surco sedimentario hacia el Oeste.

Aunque ambas interpretaciones permiten explicar el desarrollo de los megaciclos, creemos más aceptable la primera de ellas, pues un contexto geodinámico como representa la cuenca navarro-riojana durante el Terciario, permite explicar perfectamente una subsidencia de la cuenca mediante pulsaciones, responsables de las expansiones y retracciones de los sistemas aluviales. Las diferentes formaciones y unidades son sólo un reflejo de cambios en la cantidad y tipo del sedimento detrítico encajante, pero las evaporitas ofrecen las mismas características en toda la serie oligocena y miocena desde la base de los Yesos de Falces hasta el techo de los de Lerín.

La localización de yacimientos de glauberita (y/o polihalita) en determinados niveles de la serie reflejan momentos en la sedimentación evaporítica en que ha sido posible, por su menor influencia aluvial, el desarrollo y preservación de estas facies. Cuando el medio evaporítico es sometido a frecuentes diluciones, resulta más difícil la preservación de estas sales, que son periódicamente disueltas e incorporadas a las salmueras. Por ello, las glauberitas no indican necesariamente momentos de mayor aridez sobre la cuenca.

Los ciclos elementales indican, dentro de la tendencia general que marca el megaciclo, una dinámica de desplazamientos laterales y desarrollo de las facies evaporíticas del playa-lake (fig. 32).

Si superponemos varios ciclos elementales eliminando el término arcilloso, obtendremos potentes tramos yesíferos con alternancia de litofacies nodulares, laminadas y lenticulares ordenadas de forma más o menos cíclica, como los que constituyen las unidades yesíferas de Los Arcos, Sesma y Alcanadre. Si eliminamos o reducimos los términos yesíferos, obtendremos potentes series arcillosas como las que constituyen las unidades Villafranca, Sartaguda y Mendavia.

Así, cada megaciclo de la Fm. Lerín no es más que una superposición de ciclos elementales de playa-lake, con

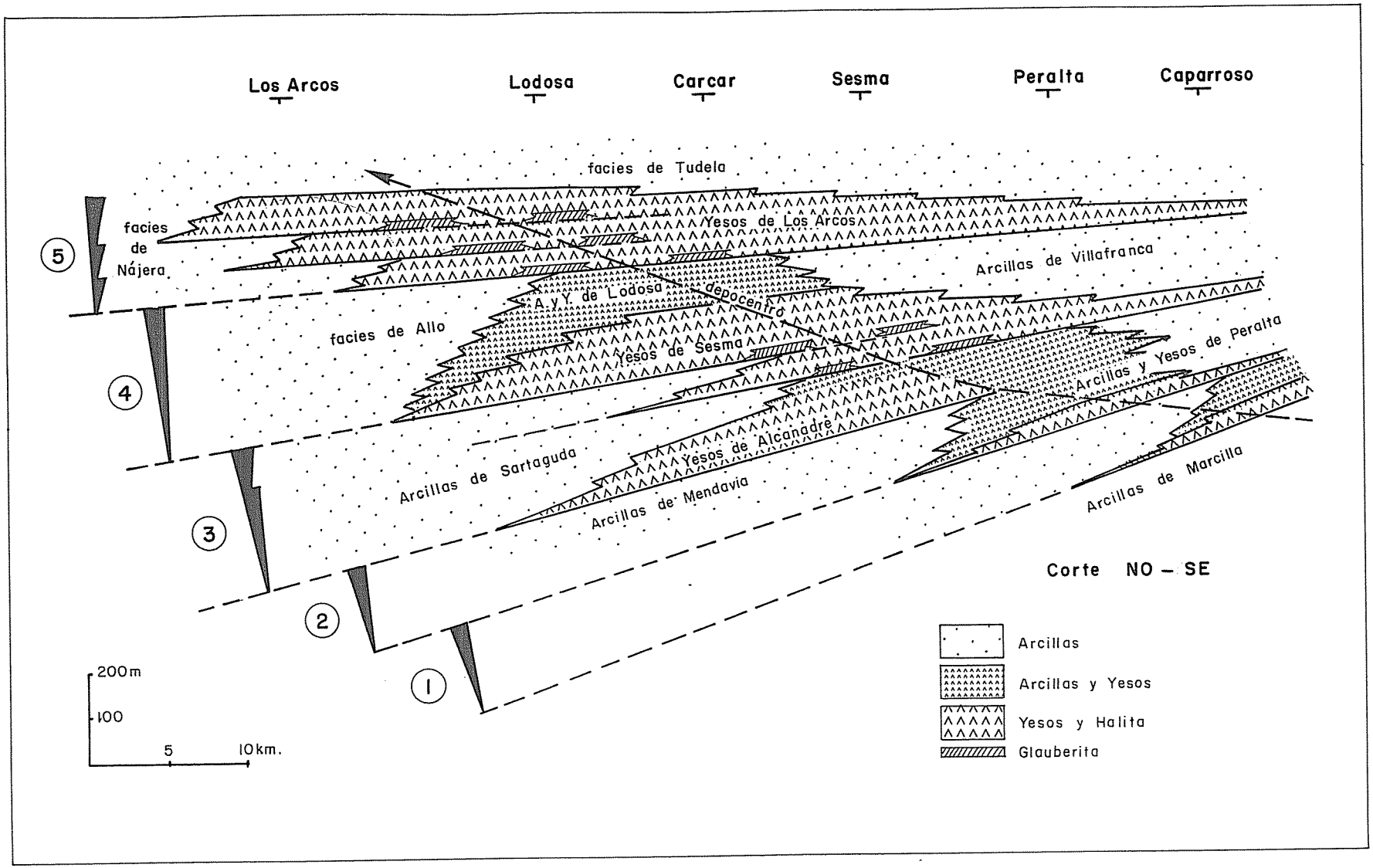


Figura 33.- Esquema litoestratigráfico de la Fm. Lerín, con distribución de las facies evaporíticas y detríticas, en un corte NO-SE a la cuenca. Se señalan los cinco megaciclos que constituyen esta unidad, dos de los cuales (3 y 5) tienen carácter complejo.

tendencia, en la vertical, al aumento de las facies detríticas (arcillas y/o areniscas) sobre las evaporíticas, diferenciándose tramos con poca influencia de las lutítas (tramos yesíferos), tramos con igual desarrollo de las arcillas y yesos (tramos de ciclos detrítico-evaporítico), y tramos con dominio de las arcillas (tramos arcillosos). La tendencia en la vertical al aumento de arcillas también ocurre en sentido lateral, hacia los márgenes de la formación (fig. 35).

La falta de un estudio estratigráfico detallado de los Yesos de Falces no ha permitido ver si esta formación evaporítica presenta también megaciclos con las características observadas para los Yesos de Lerín. Los ciclos elementales si se reconocen bien en el Miembro Superior, con idénticas características que en los Yesos de Lerín.

La presencia en los Yesos de Falces de las mismas litofacies, ciclos elementales y yacimientos de glauberita que en la Fm. Lerín, demuestra que los mecanismos sedimentarios han sido iguales para ambas unidades. Por ello, puede pensarse que también se han debido desarrollar megaciclos sedimentarios, de los que de momento sus caracteristicas son mal conocidas.

Las Arcillas de Marcilla indican un evento geodinámico de rango mayor que el que originó los megaciclos.

A diferencia de las intercalaciones arcillosas de la Fm. Lerín, las Arcillas de Marcilla separan dos unidades desplazadas una con respecto a la otra en un sentido Norte-Sur (las otras intercalaciones lo hacen en un sentido Este-Oeste). El origen de esta intercalación detrítica debe estar relacionado con una pulsación tectónica importante en el levantamiento de los Pirineos (el desplazamiento es hacia el Sur).

Esta pulsación tectónica, de edad Oligoceno superior (sin mayor precisión), puede estar relacionada con la que dio lugar a la discordancia de Barbarín en el margen Noroeste de la cuenca, cuya posición estratigráfica y edad es hasta cierto punto similar.

* * * *

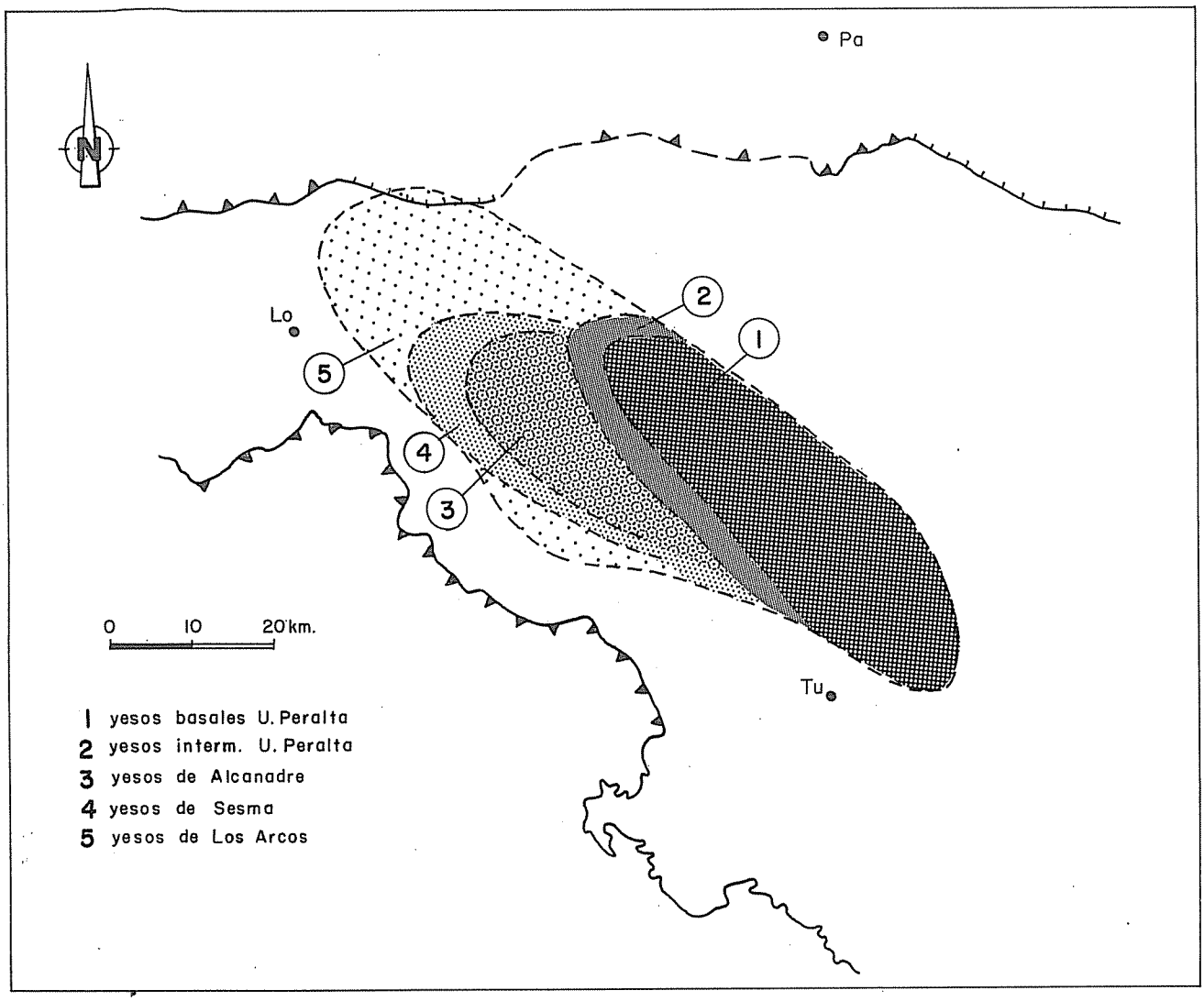


Figura 34.- Areas ocupadas sobre la cuenca navarro-riojana, por los tramos yesíferos basales de cada uno de los cinco megaciclos que se exponen en la figura 33. Los límites de estas áreas son aproximados, pues se han determinado a partir de las observaciones de campo. Su extensión puede ser mayor en subsuelo.

En resumen podemos concluir que el conjunto Falces-Marcilla-Lerín constituye una única y continua gran formación evaporítica, que está subdividida en ciclos evaporítico-detríticos de diferente rango de importancia debidos a diferentes fenómenos de la dinámica de la cuenca:

1) Formaciones evaporíticas de Falces y Lerín separadas por las Arcillas de Marcilla, como consecuencia de una pulsación importante en el levantamiento de los Pirineos.

2) Megaciclos como consecuencia de pulsaciones en la subsidencia de la cuenca acompañadas del desplazamiento lateral de su depocentro hacia el Oeste.

3) Ciclos elementales, debidos al desarrollo y desplazamientos laterales del medio evaporítico.

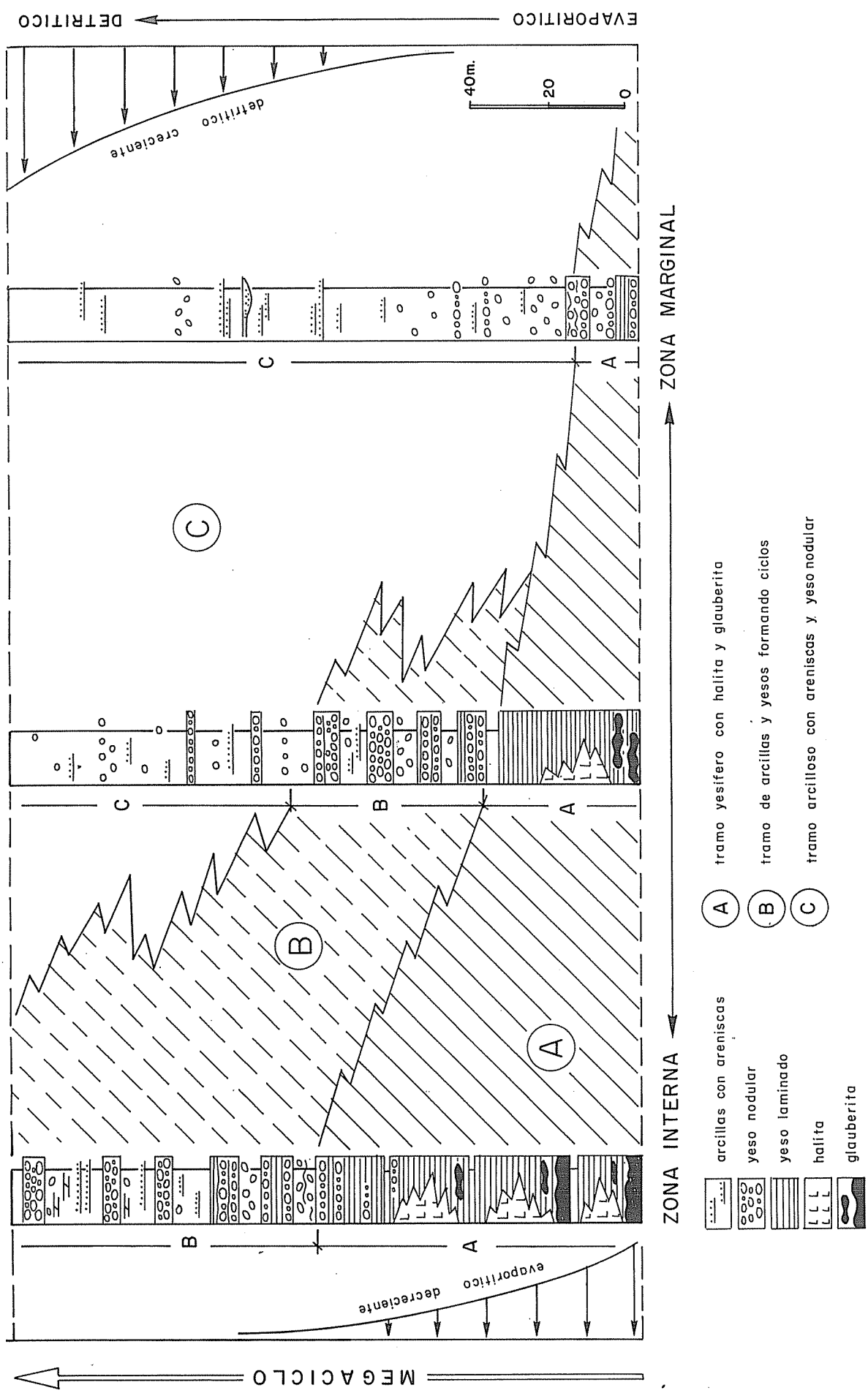


Figura 35.- Distribución de litologías y facies en un megaciclo ideal, desde una zona interna de la formación hacia una zona marginal.

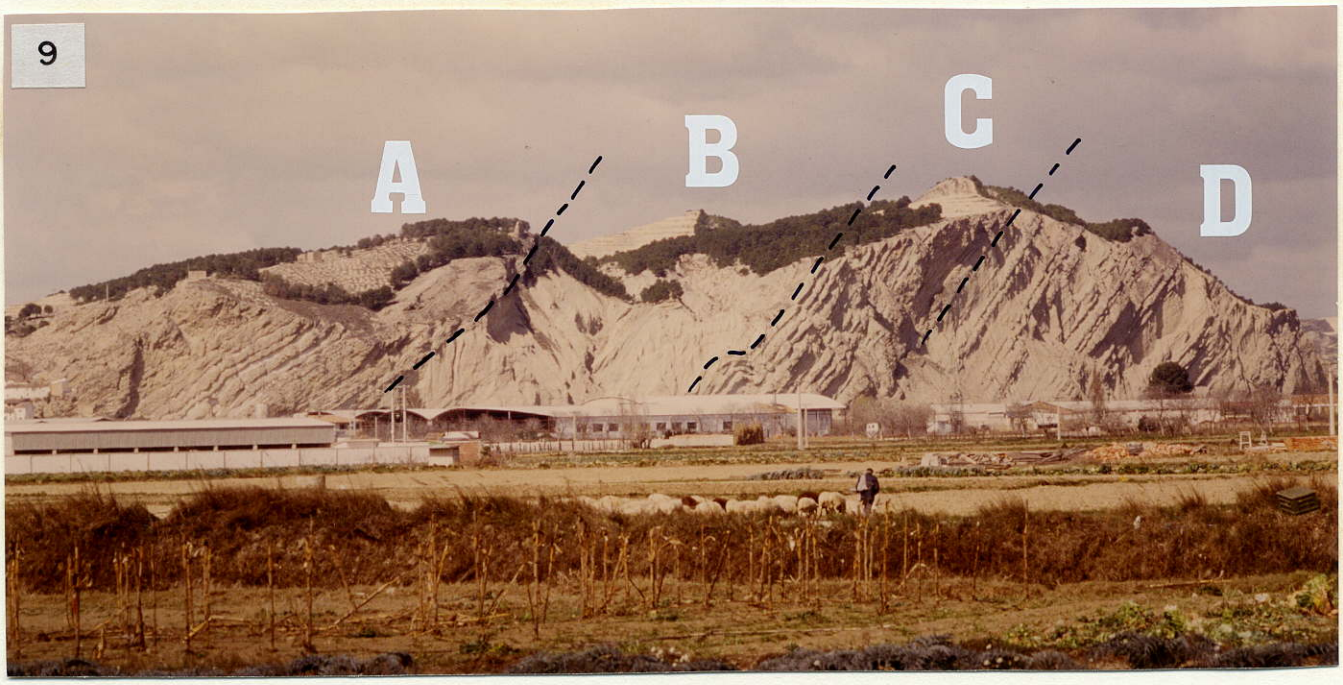
L A M I N A 4.

Foto 9.- Vista panorámica de los Yesos de Lerín en las proximidades de Peralta (flanco Sur del anticlinal de Falces). Se distinguen las siguientes unidades: A) Yesos de Los Arcos; B) Arcillas de Villafranca; C) Yesos de Sesma; D) Arcillas y Yesos de Peralta.

Foto 10.- Vista panorámica de las arcillas y yesos de la unidad Mendavia (tramo inferior) en las proximidades de Sartaguda (núcleo del anticlinal de Sartaguda). Las arcillas y yesos alternan formando ciclos sedimentarios elementales.

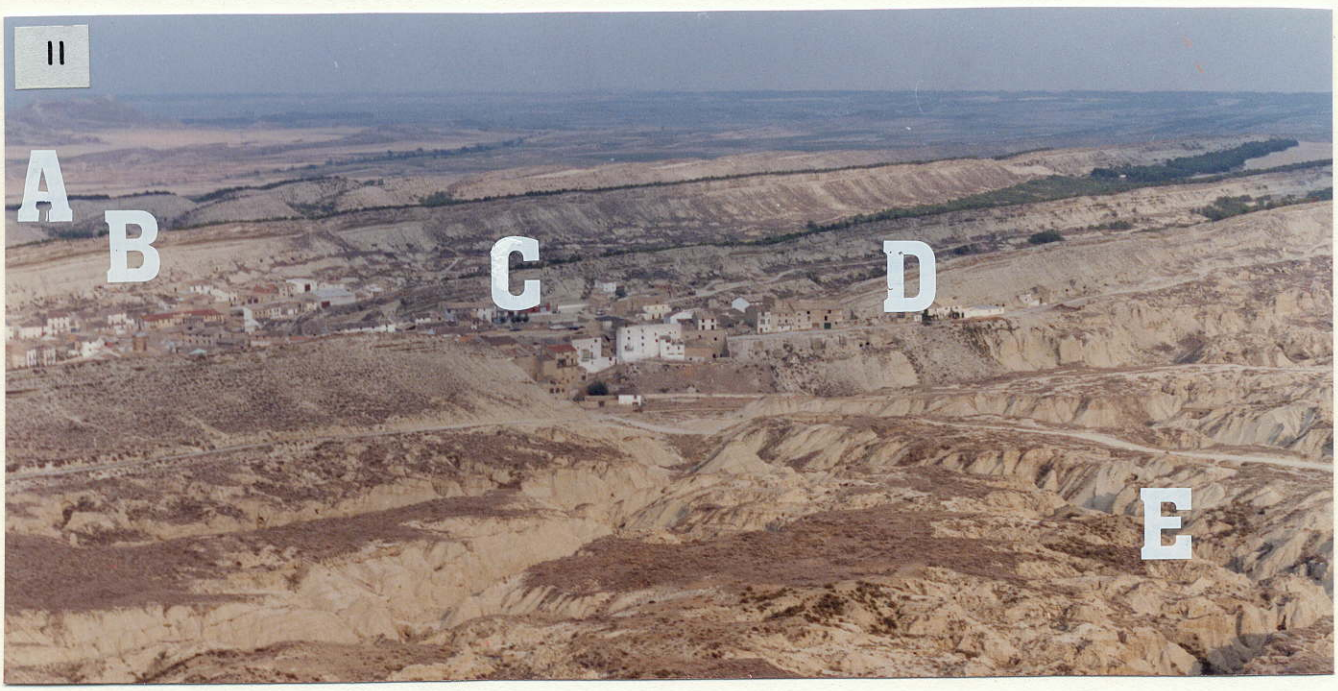
Foto 11.- Vista panorámica de las Arcillas de Marcilla (E) y Yesos de Lerín en las proximidades de Caparroso (flanco Norte del anticlinal de Falces). Se distinguen los cuatro megaciclos que constituyen la Fm. Lerín en su extremo oriental: A) Yesos de Los Arcos; B) Yesos de Sesma; C) Nivel yesífero intermedio de la Unidad Peralta; D) Nivel yesífero basal de la Unidad Peralta.

9



10

11



L A M I N A 5.

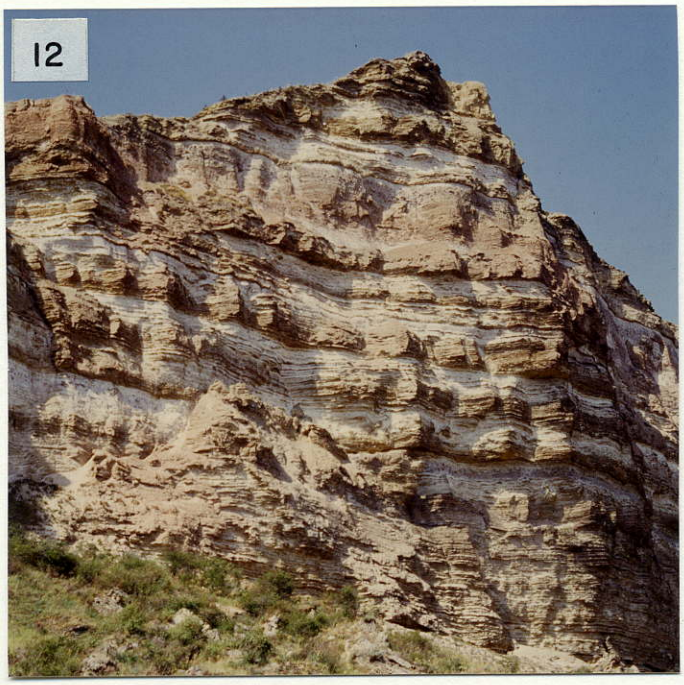
Foto 12.- Aspecto de los Yesos de Los Arcos en el corte de la ermita de Aradón (tramo intermedio de yesos y arcillas). El color blanco intenso que muestran las capas de arcilla es debido al recubrimiento de las mismas por eflorescencias de sulfato magnésico (hexahidrita).

Foto 13.- Vista panorámica de las Arcillas de Villafranca en el corte de Peralta. En la parte superior del afloramiento destacan los niveles basales de los Yesos de Los Arcos.

Foto 14.- Vista panorámica de las arcillas de Sartaguda (A) y Yesos de Sesma (B) en el flanco Sur del sinclinal de Peralta (corte de Sartaguda). Destaca el nivel yesífero que se sitúa entre las arcillas en la parte oriental de la Unidad.

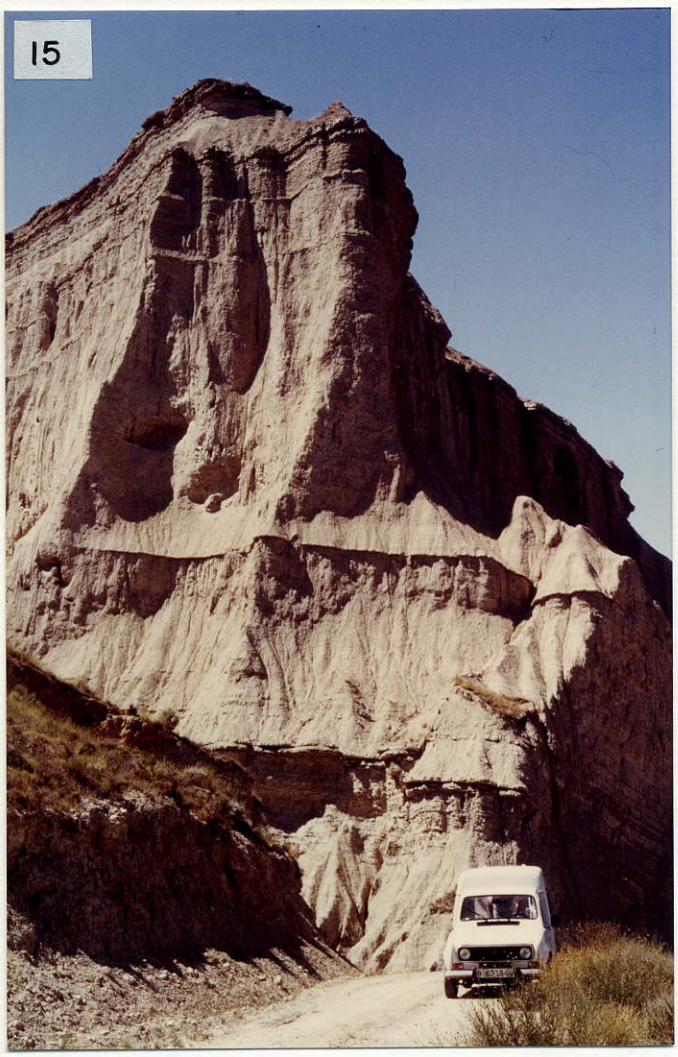
Foto 15.- Aspecto de las Arcillas de Marcilla en el corte excavado por el río Aragón en las proximidades de Funes (flanco Norte del anticlinal de Arguedas). Las capas que resaltan entre las arcillas están constituídas por yeso nodular.

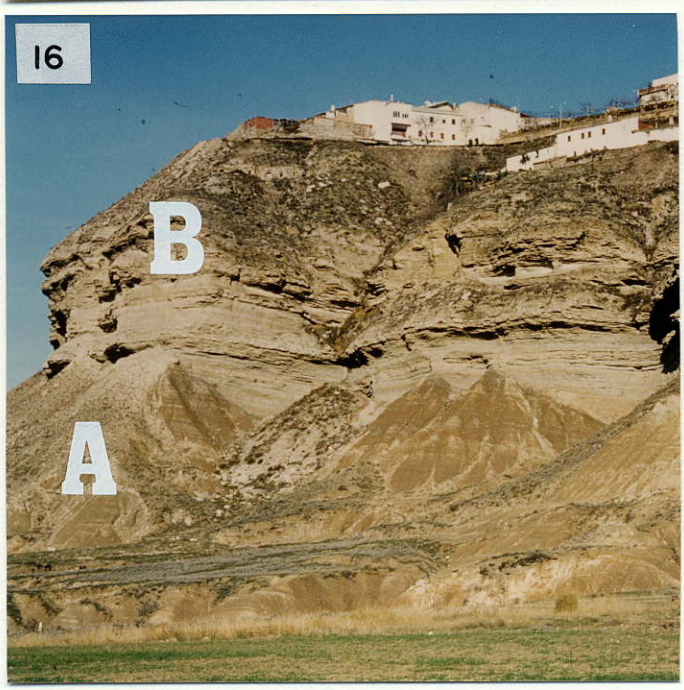
Foto 16.- Vista panorámica de las Arcillas de Villafranca (A) y Yesos de Los Arcos (B) en Lerín.


12

13

14
B
A

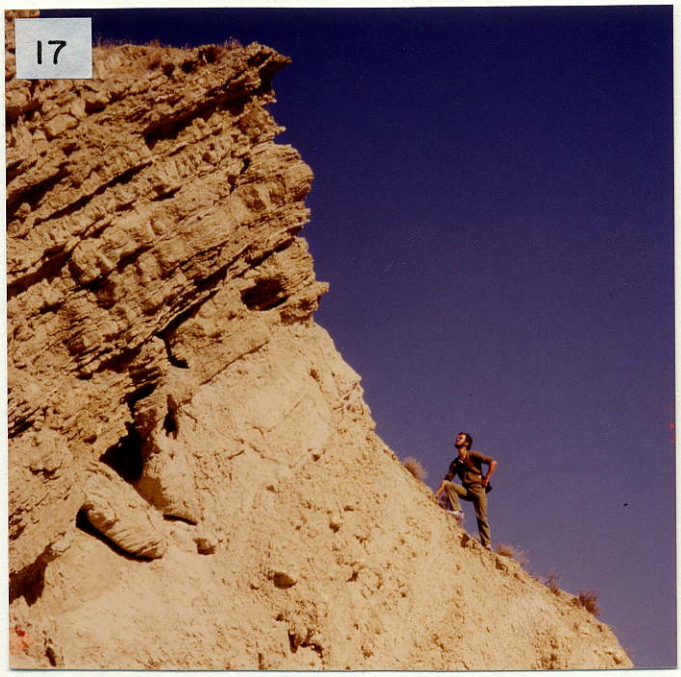

15


16
B
A

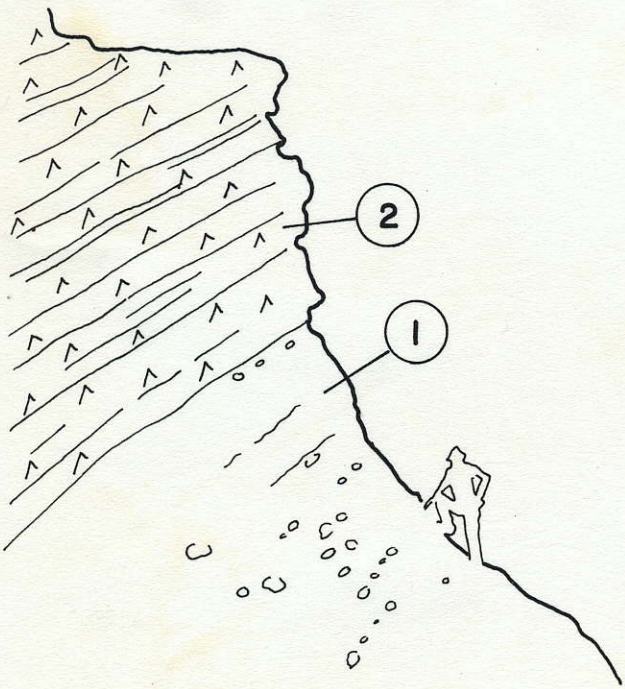
L A M I N A 6.

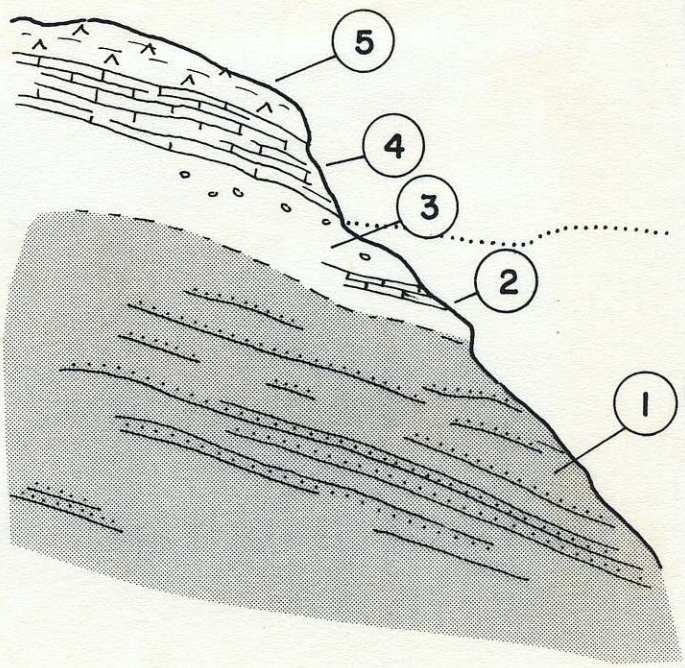
Foto 17.- Aspecto en campo de un ciclo detrítico-evaporítico elemental de la Fm. Lerín (corte de Peralta). Presenta los siguientes términos: 1) arcillas con nódulos de yeso dispersos o bien formando niveles de poco desarrollo. 2) tramo yesífero con litofacies nodular.

Foto 18.- Aspecto en campo de un ciclo detrítico-carbonatado-evaporítico elemental de la Fm. Lerín (corte de Lodosa). Presenta los siguientes términos: 1) arcillas con niveles de arenisca, 2) arcillas con niveles de carbonatos, 3) arcillas con nódulos de yeso dispersos, 4) carbonatos con yeso microlenticular y micronodular, 5) yesos nodulares y laminados.


17

18


2
1


5
4
3
2
1

L A M I N A 7.

Foto 19.- Aspecto de las Arcillas de Tudela en las proximidades de Fustiñana (región de las Bārdenas). En la parte superior del afloramiento destacan los Yesos de Fustiñana.

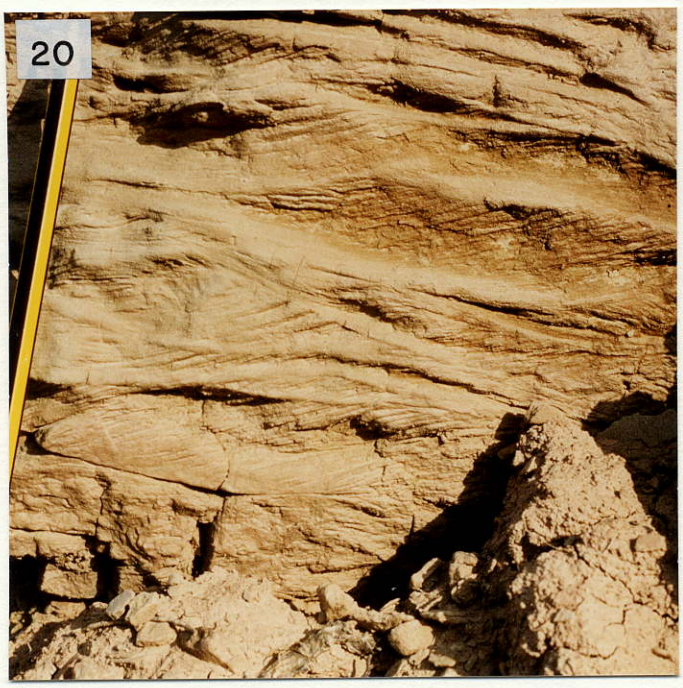
Foto 20.- Estructuras de tipo "climbing ripples" en una capa de arenisca situada en la base de las Arcillas de Sartaguda (corte de Lodosa).

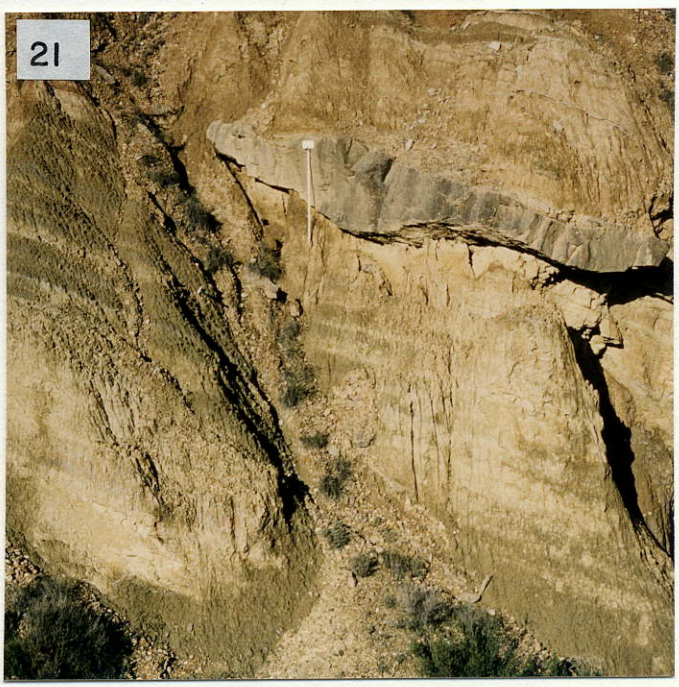
Foto 21.- Capa de arenisca, con morfología de canal, situada entre las Arcillas de Marcilla (corte de Caparroso).

Foto 22.- Techo de una capa de arenisca mostrando una estructura de grietas de desecación ("mud-cracks"), entre las Arcillas de Marcilla (corte de Caparroso).

Foto 23.- Techo de una capa de arenisca mostrando una estructura con ripples de oscilación en dos direcciones perpendiculares, típica de facies fluvio-lacustres en la Unidad Alcanadre (corte de Lodosa).

19


20


21

22

23

L A M I N A 8.

Foto 24.- Yesos con litofacies laminada muy deformados por efectos de diapirismo (Yesos de Falces, corte de Azagra).

Foto 25.- Yeso laminado con estructura amalgamada, interpretada como ripples producidos sobre sedimento yesífero inconsolidado en el fondo de una laguna. Unidad Los Arcos, corte de Lerín.

Foto 26.- Morfologías algales en la base de un nivel de yeso laminado (Yesos de Los Arcos).

Foto 27.- Aspecto de detalle de un nivel de yeso laminado con morfología algal (Yesos de Los Arcos). Entre el yeso se observan eflorescencias de sulfato magnésico, que recubren superficialmente este mineral.

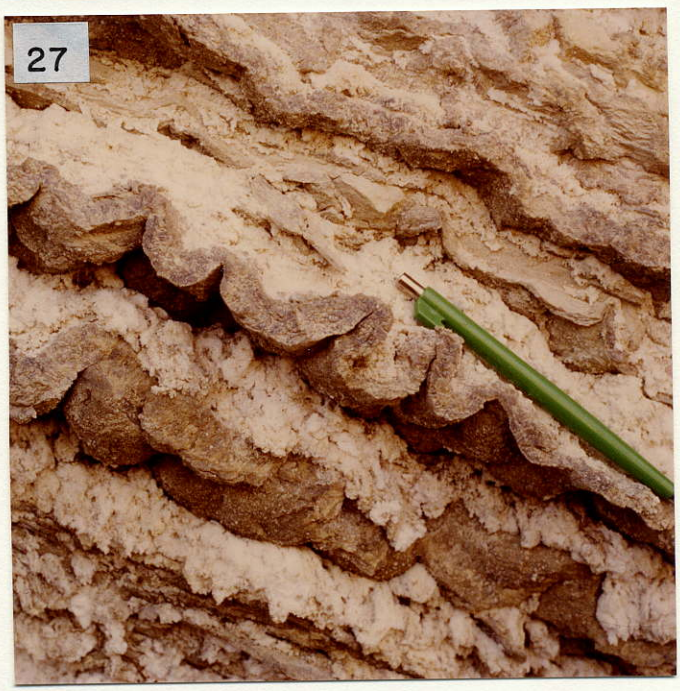
Foto 28.- Tramo yesífero laminado en el que se intercala: A) yeso nodular, B) yeso lenticular, C) yeso laminado con morfología algal (Yesos de Los Arcos).

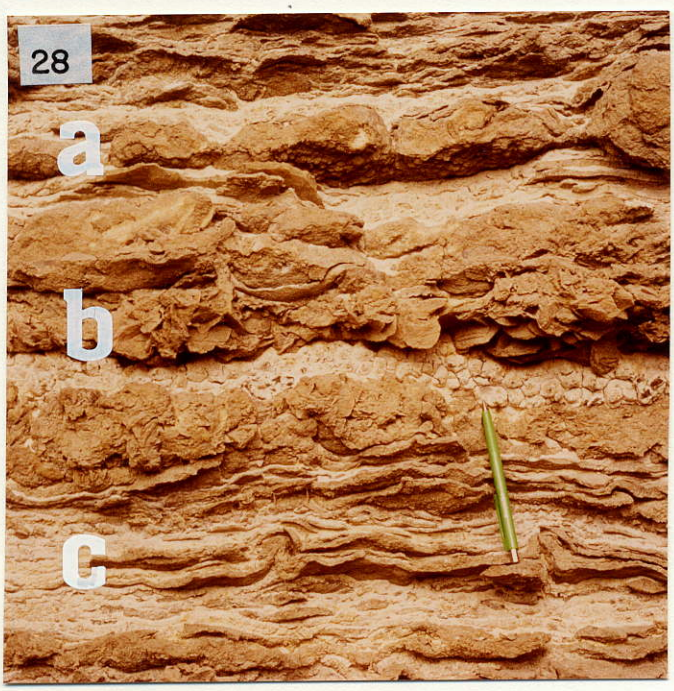
Foto 29.- Nivel enterolítico de yeso intercalado en un tramo de litofacies laminada (Yesos de Los Arcos).

24

25

26


27


28
a
b
c

29

L A M I N A 9.

Foto 30.- Nivel yesífero nodular de elongación vertical en los Yesos de Fustiñana (corte de Buñuel).

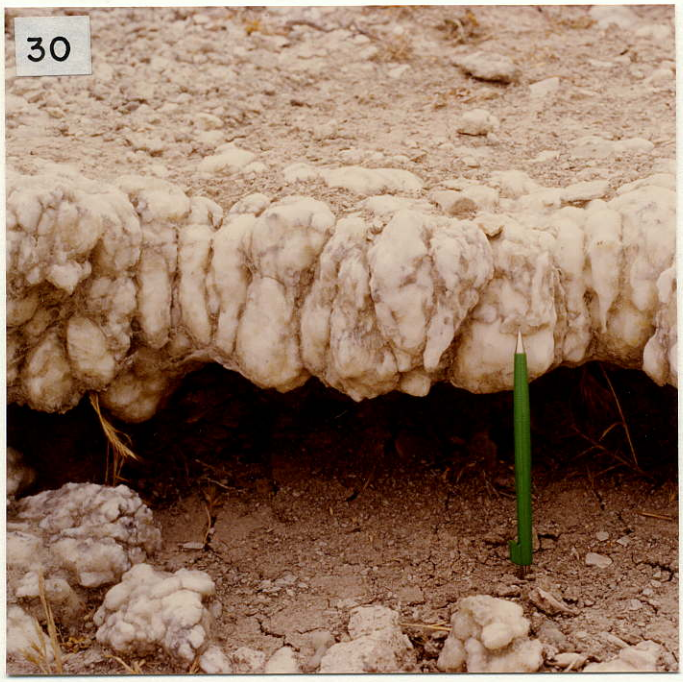
Foto 31.- Niveles nodulares de yeso desarrollados sobre las arcillas de la Fm. Tudela (corte de Buñuel). Los nódulos han crecido a través de fisuras en las arcillas, perpendicularmente a la estratificación de las mismas.

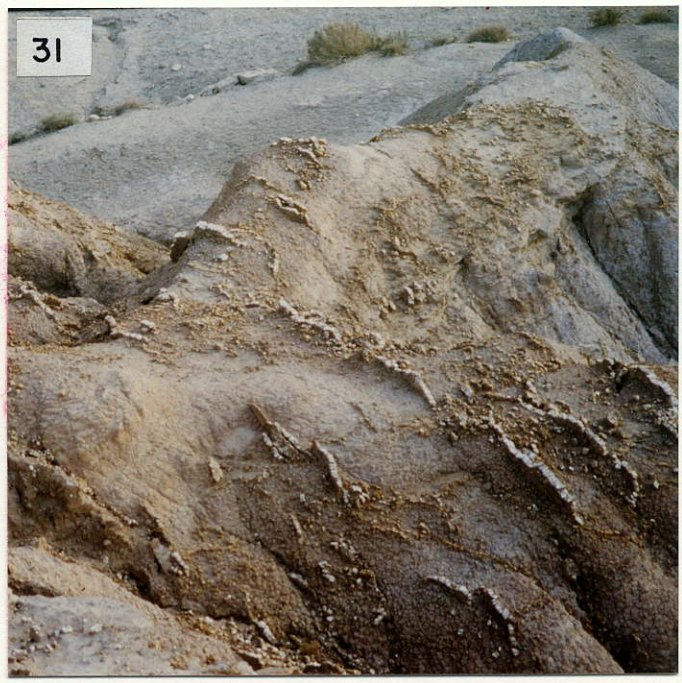
Foto 32.- Base de un nivel nodular de yeso con desarrollo de pequeños cristales lenticulares de yeso (Yesos de Alcanadre, corte de Sartaguda).

Foto 33.- Niveles micronodulares de yeso de elongación vertical, desarrollados en una capa dolomicrítica (Unidad Peralta, corte de Caparroso).

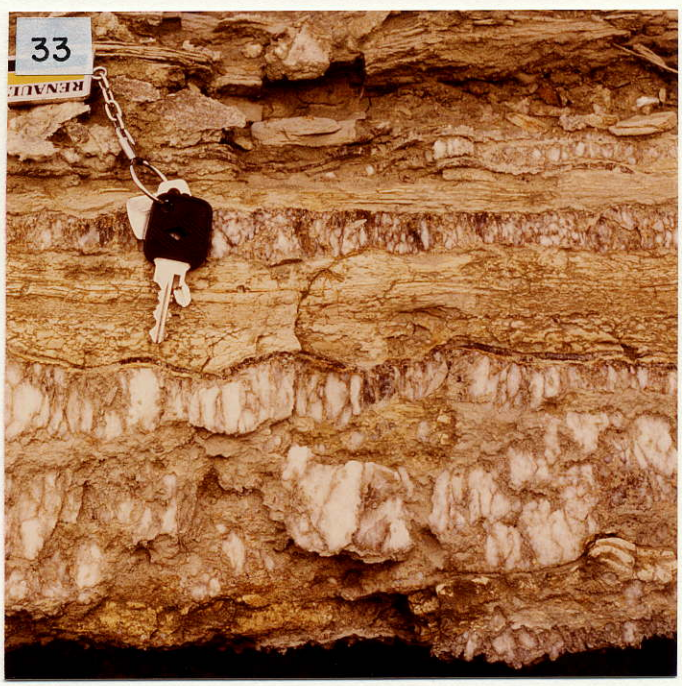
Foto 34.- Nivel glauberítico con litofacies enterolítica, procedente del yacimiento de Alcanadre. Se observa cómo el tamaño cristalino de la glauberita aumente desde el centro hacia los bordes del enterolito.

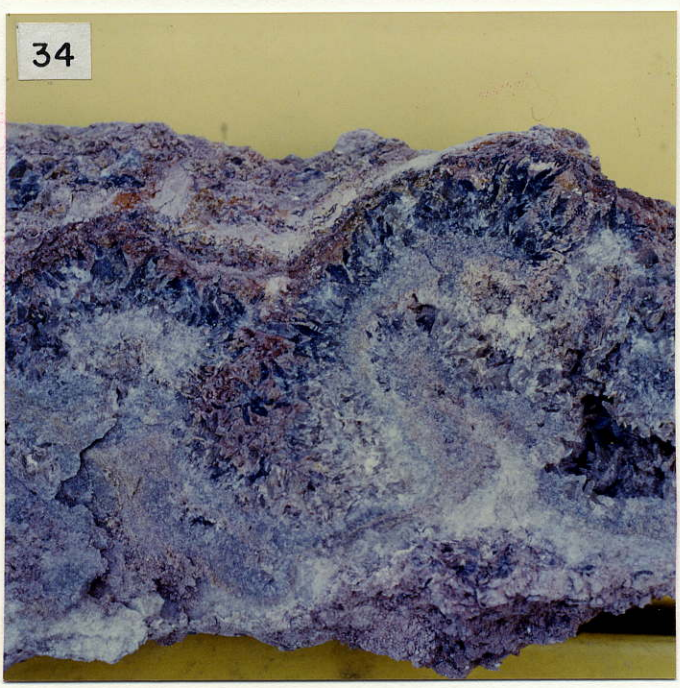
Foto 35.- Nódulos de yeso alabastrino con morfología en "coliflor" que se hallan dispersos en los tramos arcillosos de las formaciones Falces y Lerín. Pueden presentar formas simples o bien compuestas (dos o más nódulos interpenetrados).


30


31

32


33


34

35

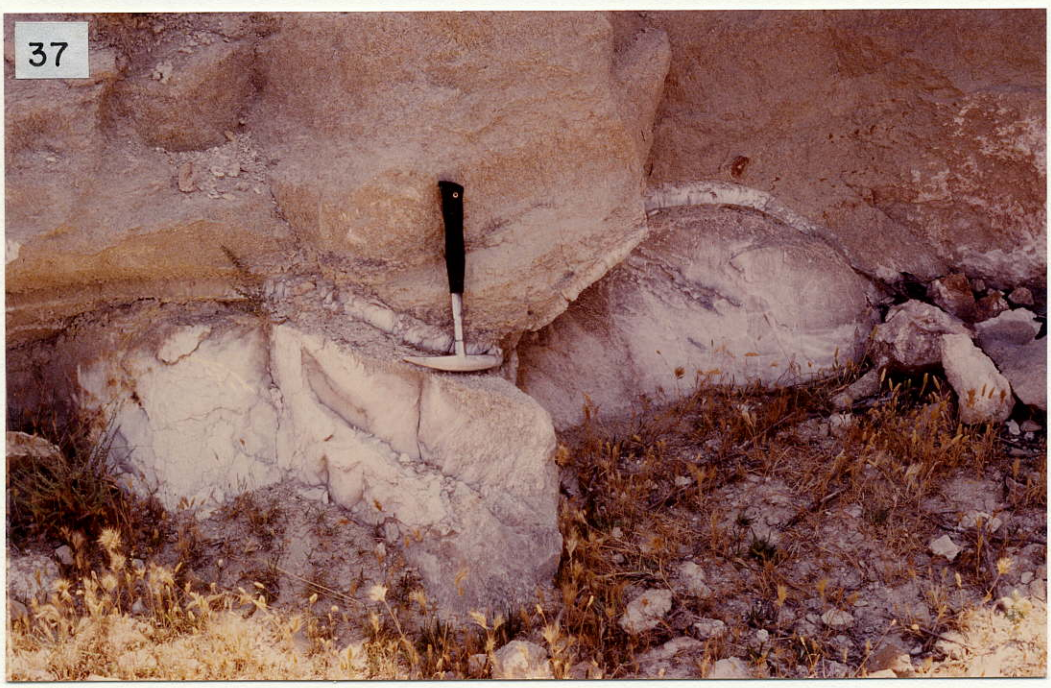
L A M I N A 10.

Foto 36.- Meganódulos de yeso alabastrino en las canteras de Autol (Yesos de Los Arcos). Los meganódulos se emplazan entre yeso masivo-micronodular que contiene frecuentes nódulos de sílex.

Foto 37.- Meganódulos de yeso alabastrino emplazados entre yeso primario microlenticular, en la cantera de Ablitas (Yesos de Monteagudo).

Foto 38.- Meganódulos de yeso alabastrino entre yeso bandeado-micronodular, en la cantera de Ventas Blancas (Yesos de Ribaflecha).

36


37

38

4.3.- LOS YESOS DE MONTEAGUDO.

4.3.1.- CARACTERISTICAS ESTRATIGRAFICAS.

Esta unidad fue denominada por CASTIELLA et.al. (1977) como "Yesos de Monteagudo", probablemente por el hecho de presentarse en esta localidad el conocido yacimiento de vertebrados (RUIZ DE GAONA et.al., 1964) que ha permitido datarla como del Mioceno inferior (Aragoniense medio). Sin embargo, en Monteagudo sólo aflora una reducida parte de la formación, y es en Ablitas donde ésta se presenta en toda su amplitud. Entre Ablitas y Monteagudo los yesos se hallan separados por el valle del río Queiles, que corta totalmente la continuidad entre ambos afloramientos.

Estratigráficamente los Yesos de Monteagudo se sitúan entre los materiales detríticos miocénicos del margen Sur de la cuenca (fig. 36):

Hacia el Norte y Noreste de Ablitas, y ocupando una posición estratigráfica inferior, afloran las arcillas rojas, con yesos y areniscas de la Fm. Alfaro, que pueden observarse en la parte inferior del relieve tabular que constituyen los yesos (foto 51). Por encima de los yesos y extendiéndose hacia el Sur y Sureste, se presentan las arcillas, margas, calizas y areniscas de la Serie de Transición.

En el sector de Monteagudo, por debajo y lateralmente a los yesos, se extienden las arcillas rojizas con areniscas y canales de conglomerados de la Fm. Cascante, que afloran ampliamente al Norte de Monteagudo. Hacia el Sur y Suroeste las facies de Cascante pasan lateralmente a los conglomerados de Fitero, que constituyen la formación detrítica marginal en este sector de la cuenca.

Todo este conjunto de formaciones pasa lateralmente hacia el Norte y Este a las Arcillas de Tudela, que son las facies equivalentes laterales de estas formaciones en la zona central de la Cuenca.

En Ablitas, los yesos constituyen una unidad tabular, que buza ligeramente hacia el E.-S.E. y presentan una potencia que no llega a superar los 20-30 m. Por el Norte y Oeste la formación se presenta erosionada, formando un escarpe que puede seguirse varios quilómetros y ofrece los mejores cortes de la formación. Hacia el Sur los yesos pierden su continuidad bajo los materiales de la Serie de Transición, y no tenemos datos sobre la extensión y características de los mismos en subsuelo.

En Monteagudo los yesos se reducen a unas pocas capas, no superiores a los 2-3 m. de potencia cada una de ellas, que afloran en varias pequeñas lomas alineadas al Oeste del pueblo (fig. A-21). Estas capas se intercalan entre los materiales de la Fm. Cascante. La desconexión de estos niveles de los de Ablitas dificulta su correcta correlación, aunque CASTIELLA et.al. (1977) consideran que los yesos aflorantes en Monteagudo constituyen los niveles más bajos estratigraficamente de la formación.

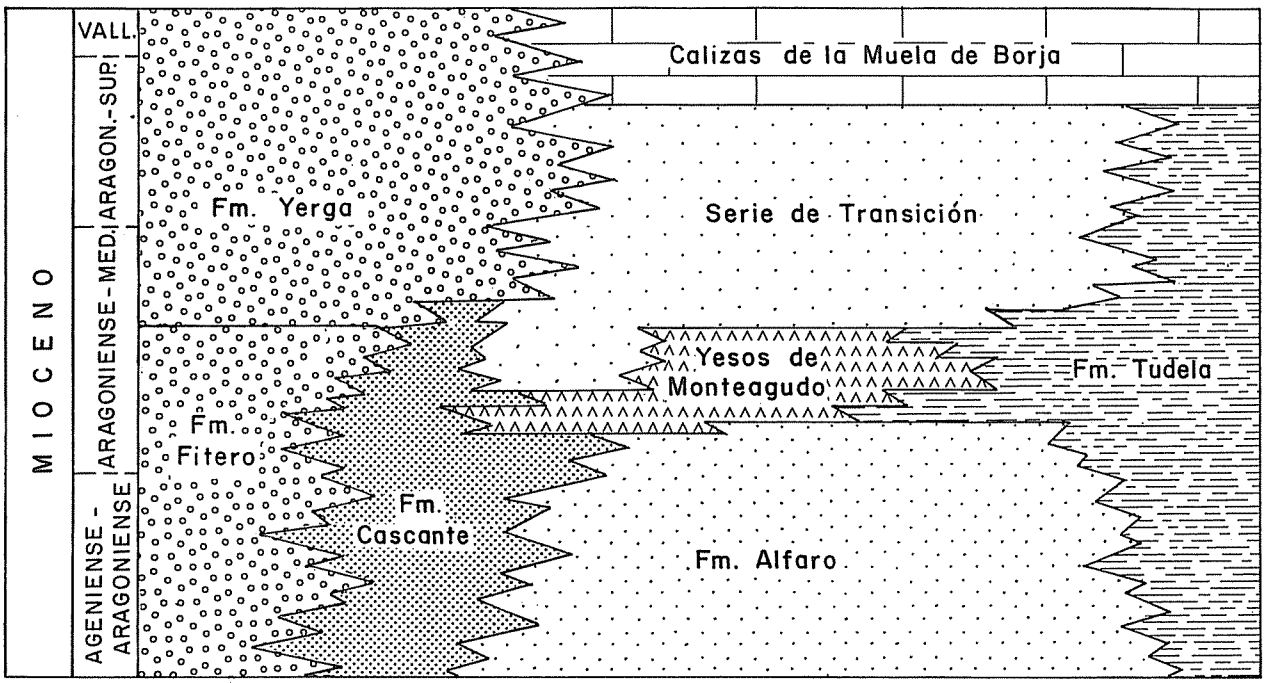
Por el Sureste, no está hasta el momento clara la conexión de los Yesos de Ablitas-Monteagudo con los que afloran en Borja. Ambas unidades, que presentan muy similares características petrológicas, se hallan separadas por los materiales del Mioceno superior de la Muela de Borja. PEREZ et.al. (1988) consideran que se trata del mismo nivel estratigráfico que se extiende entre Borja y Ablitas. Sin embargo, CASTIELLA et.al. (1977) creen que los yesos de Borja ocupan una posición estratigráfica algo superior a los de Ablitas, y que por tanto se trata de dos niveles yesíferos diferentes.

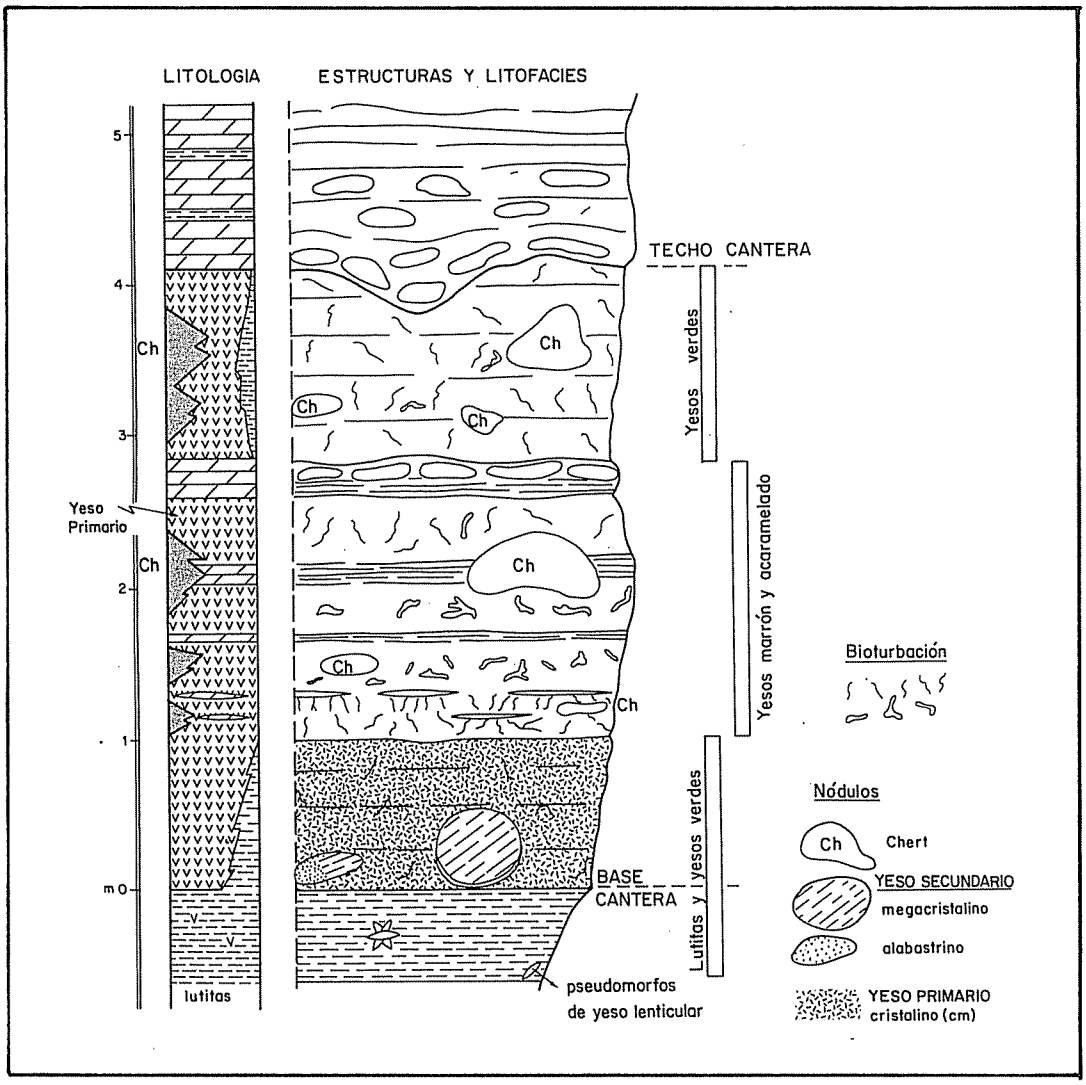
Las características mineralógicas de las evaporitas, arcillas y carbonatos de la región de Borja, Tarazona y Ablitas, han sido estudiadas por GONZALEZ y GALAN (1984) a los que más adelante nos referiremos. También MANDADO (1987, 1988) ha estudiado petrológicamente los yesos de Borja y Monteagudo.

Figura 36.- Esquema litoestratigráfico de los Yesos de Monteagudo y sus formaciones encajantes, en la transversal Tarazona-Ablitas-Tudela.

Figura 37.- Corte esquemático de los Yesos de Monteagudo en la cantera de Ablitas, mostrando las diferentes litologías y variedades yesíferas (ORTI et.al. 1986).

Corte O-E


MIOCENO
VALL.
ARAGON.-SUP.
ARAGONIENSE-MED.
AGENIENSE - ARAGONIENSE
Calizas de la Muela de Borja
Fm. Yerga
Serie de Transición
Yesos de Monteagudo
Fm. Tudela
Fm. Fitero
Fm. Cascante
Fm. Alfaro


LITOLOGIA
ESTRUCTURAS Y LITOFACIES
5
4
3
2
1
m 0
Ch
Yeso Primario
lutitas
TECHO CANTERA
Yesos verdes
Yesos marrón y acaramelado
Lutitas y yesos verdes
BASE CANTERA
pseudomorfos de yeso lenticular
Bioturbación
Nódulos
Chert
YESO SECUNDARIO
megacristalino
alabastrino
YESO PRIMARIO
cristalino (cm)

4.3.2.- PETROLOGIA.

La formación está constituída por yeso primario, yeso secundario, carbonatos, arcillas, sílex y probablemente anhidrita en profundidad, aunque no tenemos datos sobre esta última litología.

4.3.2.1.- EL YESO PRIMARIO.

En Monteagudo y en el extremo occidental del área de Ablitas (fig. 37), el yeso es de tipo primario microlenticular, presentándose con dos litofacies diferentes:

A) Yeso microlenticular de tamaño gipsilutita: de "visu" se reconoce fácilmente por su textura de grano muy fino, aspecto masivo y característico color marrón oscuro. Forma capas de uno o varios metros, intensamente bioturbadas (foto 60) y con abundantes inclusiones de carbonato. Este tipo de yeso ha sido denominado anteriormente por nosotros como "yeso caramelo" (ORTI y SALVANY, 1986; SALVANY, 1988) debido a su textura fina y característico color marrón acaramelado.

Al microscopio el yeso se observa como un denso agregado microlenticular cuyo tamaño cristalino puede variar entre 100 y 500 µm. (fotos 56, 57 y 58). Las lentículas forman una microestructura desorientada, aunque con motivo de la bioturbación pueden estar también organizadas formando tubos de varios milímetros de diámetro, en los que las lentículas adoptan una disposición tangencial a sus bordes, mostrando una característica estructura en arcos concéntricos (foto 61). En ocasiones, se identifican zonas en las que el yeso presenta una textura en mosaico anhedral que recuerda a la del yeso alabastrino. Se trata, en este caso, también de yeso primario, precipitado como cemento en la porosidad producida por la bioturbación.

El carbonato forma niveles entre el yeso muy distorsionados por la bioturbación, de tonos beig o marrón más claro, con textura micrítica entre la que se reconocen fragmentos algales (carofíceas) de tamaño milimétrico. En

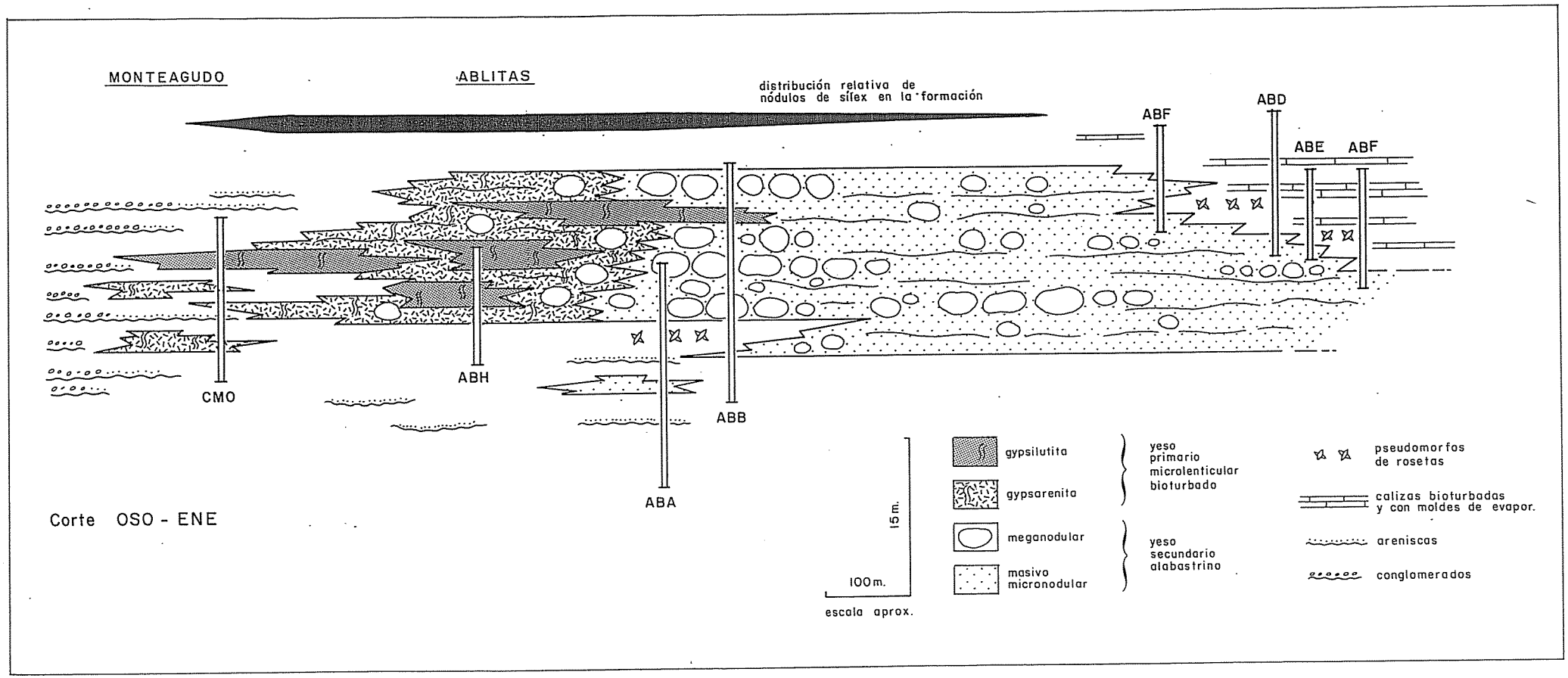


Figura 38.- Esquema de distribución de litofacies evaporíticas en los Yesos de Monteagudo. Se ha señalado la posición de los perfiles estratigráficos que se presentan en detalle en la figura A-21.

los niveles en los que hay mezcla de carbonato y yeso se reconoce mejor la bioturbación.

Interpretamos este yeso como el resultado de la precipitación del sulfato cálcico de una laguna evaporítica en forma de finos cristales sedimentados en la interfase agua-sedimento. La presencia de carbonato entre los yesos está relacionada con periodos de mayor dilución del medio evaporítico, con mayor desarrollo de organismos fijadores de carbonato, que sedimentan en el fondo y bordes de la laguna junto al yeso (carbonatos algales).

Este tipo de evaporitas son propias de un sistema lacustre de baja concentración, tal como demuestra la ausencia de sales más solubles (halita...) y el buen desarrollo de la bioturbación.

B) Yeso microlenticular de tamaño gipsarenita. Forma capas de potencia normalmente inferior a 1 m., color verdoso y textura cristalina más gruesa que el yeso antes descrito, en la que los cristales lenticulares de yeso llegan a distinguirse bien a simple vista (0.5 a 2 cms.). Entre las lentículas hay siempre una cantidad variable de matriz lutítica intercristalina que le da a la roca un característico color verdoso. Este tipo de yeso también está intensamente bioturbado.

Las lentículas presentan formas muy aplanadas, y forman una microestructura desorientada con tamaño cristalino muy variable (foto 61). Las lentículas están con frecuencia interpenetradas en sus crecimientos y atraviesan en algunos casos la bioturbación. En los cristales de tamaño mayor son habituales las maclas.

Esta litofacies la interpretamos como propia de los márgenes lacustres del medio evaporítico, creciendo los cristales de forma intersticial entre el sedimento lutítico que rodea o soporta la laguna evaporítica, donde la bioturbación es también intensa.

El crecimiento intersticial de esta gipsarenita es indudable a partir de su estudio petrográfico, pues se observa bien cómo los cristales se han desarrollado de forma desorientada entre abundante matriz lutítica, presentan

frecuentes maclas y cristales interpenetrados, formas dominantemente idiomórficas y, en varias ocasiones, se observa cómo los cristales atraviesan la bioturbación.

La íntima relación que hay entre esta litofacies y la descrita anteriormente, pone de manifiesto una dinámica en el ambiente evaporítico con periódicas expansiones y retracciones del medio lacustre, superponiéndose en la vertical ambos tipos de facies, o indentándose ambas facies entre sí en un sentido lateral.

4.3.2.2.- EL YESO SECUNDARIO.

Constituye la mayor parte de la formación, tratándose siempre de yeso alabastrino y ocasionalmente megacristalino. Se presenta con las siguientes litofacies:

A) Yeso masivo-micronodular. Forma capas de orden decimétrico de morfología irregular, separadas por niveles arcillosos de color verdoso. En detalle, el yeso forma un denso empaquetado micronodular en el que los nódulos tienen un tamaño que varía entre <1 cm. y 2-3 cms. El carácter micronodular no se diferencia siempre bien de "visu", dada la gran pureza de algunas de estas capas (la ausencia de matriz dificulta el reconocimiento de la estructura nodular).

Este yeso se formó en el medio evaporítico como anhidrita micronodular ocupando una posición marginal con respecto a la zona lacustre antes descrita para el yeso primario. Las características de esta litofacies y la presencia de pseudomorfos de yeso microlenticular en los nódulos de sílex emplazados entre la misma, hacen pensar que la anhidrita se originó a partir del yeso microlenticular de tipo gipsarenita, como proceso diagenético temprano.

B) Yeso meganodular. Es característico de esta formación la presencia de grandes nódulos de alabastro muy puros (también en ocasiones de yeso megacristalino), que han crecido de forma aislada o formando niveles entre los yesos antes descritos (microlenticular o micronodular). El tamaño de

estos nódulos varía normalmente entre 20-30 cms. y 1-2 m (foto 37).

Los meganódulos cortan totalmente la estructura del yeso en el que se emplazan, sin notarse normalmente ningún tipo de deformación en el material encajante. Este aspecto es especialmente relevante en el yeso primario, donde el tránsito entre ambas litofacies es muy nítido.

El origen de estos meganódulos tiene que estar relacionado con etapas avanzadas en el desarrollo de la formación evaporítica, con posterioridad a los procesos de anhidritización del yeso primario y silicificación, ya que los meganódulos engloban estas facies más tempranas. Probablemente se formaron en las primeras etapas de enterramiento de la formación, debido a la circulación de aguas subterráneas saturadas en sulfato cálcico.

C) Pseudomorfos de rosetas del desierto. En diversos puntos de la formación se han observado pseudomorfos de yeso lenticular formando rosetas del desierto. Las rosetas, originalmente formadas como yeso primario, se preservan en la actualidad como yeso alabastrino, y se hallan entre las arcillas constituyendo horizontes de 40-50 cms. de espesor, en relación con las zonas distales de la formación.

* * * *

En buena parte de las muestras de yeso estudiadas al microscopio se han observado pequeños cristales (10-100 µm) subhedrales o euhedrales, con hábitos prismáticos, que por sus características ópticas interpretamos como celestina (foto 55). Su presencia no llega a detectarse en los difractogramas, pues a pesar de que llegan a ser frecuentes en algunas muestras, siempre representan una proporción muy baja en comparación con el yeso que los engloba. Estos cristalen se identifican en los diferentes tipos de yeso y creemos que tienen un origen temprano en el desarrollo de la formación, aunque su significado diagenético no está de momento muy claro.

TABLA núm 13 Sulfatos y carbonatos correspondientes a la formación Monteagudo.

muestra	ys	an	ce	hx	cc	do	mg	cz	fd	ar
ABA-2	■	◆						*		
ABA-3	■					■		*		
ABA-5	■		◆		■					
ABA-7	■									
ABB-1	■					◆		*		
ABB-2	■							*		
ABB-6	■				■					
ABB-7	■				■					
ABH-2	■				■					
ABH-3	■				■					
ABH-3	■				■					
ABH-9	■				■					
ABH-10	■				■					
ABH-11	■				■					
ABC-1	■									
ABC-2	■									
ABC-4					■	■		*		
ABD-3					■	■				
ABD-4	◆				■	■		*		
ABE-1	■							*		
ABF-1	■									
ABI-2	■							*		
ABI-3	■					■		*		
ABI-4	■					■		*		
CMO-1	■		◆		◆			*		

La tabla número 13 ofrece los resultados de difracción de Rayos-X obtenidos de las muestras de la formación Monteagudo. La tabla indica las siguientes mineralogías:

ys = yeso hx = hexahidrita mg = magnesita ar = arcillas
an = anhidrita cc = calcita cz = cuarzo ■ = dominante
ce = celestina do = dolomita fd = feldespatos ◆ = secundario
* = trazas

4.3.2.3.- EL CARBONATO.

El carbonato está presente en la formación como matriz entre los yesos, o bien como capas individuales. En ambos casos las características petrográficas son muy similares:

En capas individuales, presenta litofacies masiva, con frecuentes trazas de bioturbación y moldes de evaporitas. Los análisis de difracción de rayos-X (tabla 13) permiten ver que se trata de calcita y/o dolomita.

Al microscopio se reconocen frecuentes bioclastos en su mayor parte micritizados o recristalizados (biomicrita). Estos bioclastos son principalmente fragmentos algales (Caroficeas...), pero también se reconocen ostrácodos (foto 59), gasterópodos y fragmentos de organismos no identificables.

Se observan con frecuencia cristales de calcita, de 50-100 µm., que reemplazan al yeso y crecen también sobre el carbonato encajante. Estas calcitas presentan hábitos prismáticos o fusiformes. Sobre el yeso primario crecen perpendicularmente a los bordes del cristal (foto 58). En el yeso secundario (alabastrino) estas calcitas se observan dispersas irregularmente en el interior de los nódulos.

4.3.2.4.- EL SILEX.

El sílex se presenta entre el yeso en cualquiera de sus facies (foto 53) y también, en menor grado de importancia, entre los carbonatos, reemplazando a ambas litologías. El tamaño de estos nódulos puede variar desde unos pocos centímetros hasta más de un metro, y su forma es tanto más irregular cuando mayor es su tamaño. Son de color marrón oscuro o bien blancos y en sección presentan zonaciones de crecimiento más o menos bien definidas.

Aunque están dispersos en toda la formación se advierte que su mayor desarrollo está en relación con el yeso primario y la zona yesífera nodular más próxima al mismo (fig. 38). Conforme nos alejamos hacia zonas más distales los nódulos de sílex disminuyen en cantidad y tamaño.

Al microscopio el sílex presenta una homogénea textura microesferulítica (foto 54) (agregados fibroso-radiales de calcedonia, de las variedades cuarcina y lutecina) en la que se reconocen frecuentes pseudomorfos de yeso microlenticular (foto 52), al que reemplazan.

Un estudio petrológico detallado del sílex de los yesos de Monteagudo y Borja ha sido realizado por MANDADO (1987, 1988). Las conclusiones sobre la génesis del mismo a que llega este autor son similares a las que exponemos nosotros en este capítulo.

La silicificación de sulfatos y carbonatos se considera como un proceso diagenético muy temprano (fig. 40), precipitando la sílice como consecuencia de cambios físico-químicos en las salmueras del medio evaporítico (salinidad, pH...). Estos cambios pueden estar en relación con la actividad biológica del medio.

4.3.2.5.- LAS ARCILLAS.

Se han analizado por difracción de Rayos-X varias muestras de arcillas correspondientes a los niveles inferiores (techo de la Fm. Alfaro), intermedios y superiores a la formación yesífera, cuyos resultados ofrecemos en la tabla 14.

Las arcillas muestran una relativa homogeneidad mineralógica en los diferentes niveles estudiados, y están constituídas por esmectitas, illita y clorita, así como caolinita en menor grado de importancia. Como minerales acompañantes en la fracción arcillosa se detectan: dolomita, calcita, cuarzo y trazas de feldespatos.

Esta asociación mineral se diferencia de la observada en las arcillas de la zona central de la cuenca (Lodosa, Peralta) por la presencia importante de esmectitas en todas las muestras, y son similares a las analizadas en los Yesos de Autol (Unidad Los Arcos) y Yesos de Ribaflecha.

Un estudio mineralógico más amplio sobre las arcillas (y otros minerales) en las formaciones Alfaro, Monteagudo,

TABLA núm 14	Arcillas correspondientes a las formes. Monteagudo y Alfaro (*)								
muestra	il	cl	ca	es	cc	do	mg	cz	fd
ABA-1 *	■	■		?	■	■			
ABA-8 *	■	■		?		■		■	
ABA-9 *	■	■		■		■			
ABA-10 *	■	■		■		■		■	
ABA-11 *	■	■		?	?	■		■	
ABA-12	■	■		■	?	?		■	
ABC-5	■	■		■	?			■	?
ABC-6	■	■		■		■		■	?
ABC-7	■	■		■	■	■			
ABD-5	■	■		■	■	?		■	?
ABH-14	■	■		■					?
ABH-15	■	■		■	■			■	
ABH-16	■	■		■				■	

La tabla número 14 muestra los resultados de las muestras de arcillas de la formación Monteagudo analizadas por difracción de Rayos-X. En la cabecera de la tabla se indican las siguientes mineralogías:

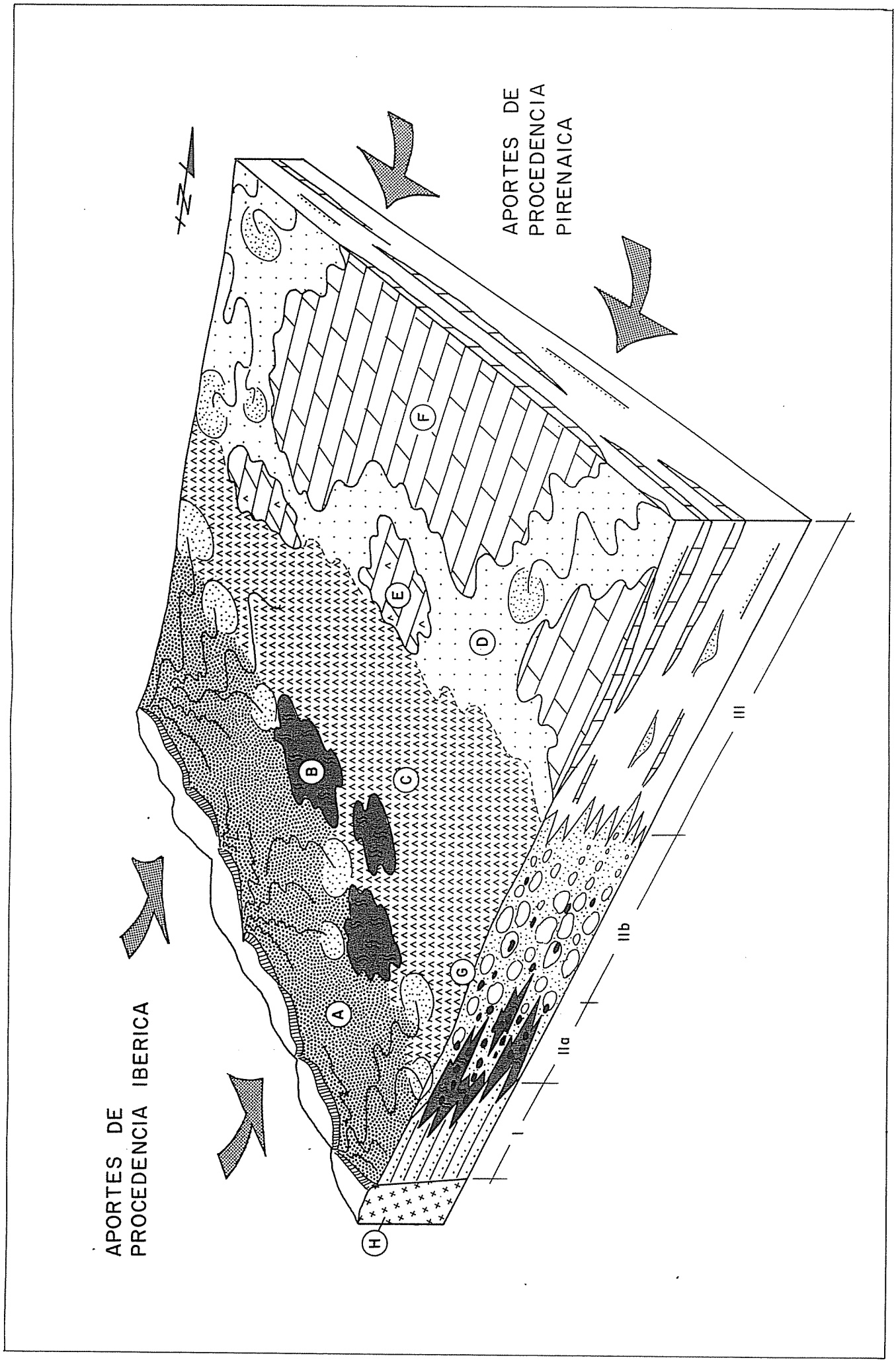
il = illita es = esmectita mg = magnesita ■ = mineral
cl = clorita cc = calcita cz = cuarzo identificado
ca = caolinita do = dolomita fd = feldespatos ? = pres. dudosa

Tudela y Serie de Transición, en el sector de Borja-Tarazona-Ablitas, ha sido realizado, como ya se ha comentado, por GONZALEZ y GALAN (1984), quienes exponen los siguientes aspectos:

Figura 39.- Bloque diagrama mostrando la distribución de facies y medios deposicionales en el margen meridional de la cuenca sedimentaria, para los Yesos de Monteagudo.

De margen a centro de cuenca se distinguen los siguientes subambientes: I) abanicos aluviales; II) evaporitas; III) llanura lutítico-carbonatada distal.

Litofacies: A) conglomerados y areniscas; B) yesos y carbonatos bioturbados, con nódulos de sílex; C) anhidrita masiva-nodular y meganodular, con nódulos de sílex; D) lutitas, arcillas y areniscas; E) carbonatos con moldes de evaporitas; F) carbonatos y margas, con trazas de bioturbación.


APORTES DE PROCEDENCIA PIRENAICA
APORTES DE PROCEDENCIA IBERICA
A
B
C
D
E
F
G
H
I
IIa
IIb
III

* Las arcillas presentan en el área estudiada una mineralogía principalmente constituída por illita y esmectita (esta última principalmente del tipo beidellita-montmorillonita). En segundo grado de importancia están las arcillas del tipo clorita y caolinita. En tercer lugar están las arcillas del tipo sepiolita e interestratificados illita-clorita, illita-montmorillonita.

* En la formación Monteagudo dominan la illita y esmectita, y ocasionalmente la sepiolita (este último mineral no han sido detectado en nuestros análisis).

* En las formaciones Alfaro y Tudela dominan también la illita y esmectita, siendo dominante la primera sobre la segunda.

* En la Serie de Transición la illita y esmectita están en proporciones comparables, dominando en algunos casos la esmectita sobre la illita. También tiene importante desarrollo la sepiolita, que en algunos casos puede ser el mineral arcillosos dominante. Hacia el Norte, el tránsito de la Serie de Transición hacia la Fm. Tudela, se pone de manifiesto en las arcillas por una pérdida progresiva en el contenido de esmectitas, en beneficio de la illita, y también por un descenso en importancia de la sepiolita.

* La illita es pobre en Na, tiene alta cristalinidad y es interpretada como un mineral heredado, procedente de la alteración de muscovitas cuya área fuente puede considerarse la Sierra del Moncayo, constituída por las areniscas triásicas del Buntsandstein.

* La caolinita, clorita y la mayor parte de las esmectitas, pueden considerarse también como heredadas, procedentes de la alteración de micas con la misma área fuente que las illitas.

* Las sepiolitas y esmectitas ricas en Mg están presentes sólo en los Yesos de Monteagudo y Serie de Transición, y se interpretan como minerales autigénicos generado en los medios lacustres, evaporíticos o carbonatados, de carácter alcalino, con alto contenido en Mg y Si.

4.3.3.- SEDIMENTOLOGIA.

La figura 38 presenta un corte esquemático de los Yesos de Monteagudo mostrando la distribución lateral de litofacies a partir de los perfiles estratigráficos que se detallan en la figura A-21. El corte tiene una orientación OSO-ENE, que equivale a una orientación proximal-distal con respecto a las facies aluviales entre las que se encajan las evaporitas. En el corte se ponen de manifiesto los siguientes aspectos:

* Las facies de yeso primario se localizan en el sector Suroccidental del corte, donde se indentan con las facies detríticas de la Fm. Cascante (arcillas, areniscas y conglomerados). Hacia el Este y Noreste los yesos primarios pasan lateralmente a los yesos secundarios.

* Las facies de yeso secundario constituyen la mayor parte de la formación, y hacia el Norte y Noreste pasan lateralmente a las arcillas y calizas de la Fm. Tudela.

* Los nódulos de sílex están bien desarrollados entre los yesos primarios y hacia el Norte y el Este su cantidad y tamaño disminuyen progresivamente. En el extremo nororiental de la formación, donde los yesos pasan lateralmente a las facies de Tudela, prácticamente no se observa sílex.

* Los meganódulos de yeso secundario están bien desarrollados a lo largo de toda la formación, pero su mayor presencia parece estar en relación con la zona de tránsito entre los yesos primarios y secundarios. Se disponen siguiendo horizontes paralelos a la estratificación.

* En los carbonatos próximos a los yesos son abundantes los moldes de evaporitas, en forma de micronódulos o cristales lenticulares de yeso. Hacia centro de cuenca, los carbonatos de la Fm. Tudela no muestran indicios de evaporitas.

* Los pseudomorfos de "rosetas del desierto" forman niveles dispersos entre las arcillas en las zonas donde los yesos pasan lateralmente a las facies aluviales.

De esta distribución de facies evaporíticas y del origen propuesto para cada una de ellas, así como de la relación con las formaciones detríticas encajantes, proponemos el modelo sedimentológico que se expone en la figura 39, que muestra los siguientes aspectos:

Se individualizan tres áreas sedimentarias paralelas al margen meridional de la cuenca, que de más proximal a más distal son: 1) área de abanicos aluviales (Fms. Fitero y Cascante), con facies detríticas gruesas (conglomerados, areniscas y arcillas); 2) área de sedimentación evaporítica (Yesos de Monteagudo), con facies yesíferas, carbonatos, sílex y arcillas; 3) área de llanura lutítica distal (Fm. Tudela), con facies lacustres carbonatadas y fluviales (areniscas). Esta última área tiene una gran extensión en la cuenca, ocupando su zona central y pasa lateralmente hacia el Norte a las facies aluviales y fluviales del margen septentrional de la cuenca (Fm. Ujué-Uncastillo) (fig. 44).

Los Yesos de Monteagudo se sitúan al pie de los abanicos aluviales, ocupando una posición intermedia entre los materiales detríticos del margen de cuenca y los lutítico-carbonatados del centro de la misma.

Por el tipo de litofacies que presenta, los Yesos de Monteagudo constituyen un sistema de playa-lake de baja salinidad, en el que sólo han precipitado carbonatos, sílice y sulfato cálcico. Estas condiciones de baja salinidad han favorecido el desarrollo de fauna y flora, que son los responsables de la intensa bioturbación del sedimento.

En el playa-lake se individualiza bien una zona lacustre, en la que se han preservado las facies de yeso primario (lago sulfatado), con precipitación de carbonatos en las etapas de dilución y yeso microlenticular en las de concentración; y una zona más amplia (llanura lutítica salina o playa) con precipitación de yeso primario intersticial en la etapas de dilución, y anhidritización de éste en las etapas de concentración.

Al pie de los abanicos aluviales se dieron condiciones favorables para el estancamiento y evaporación de aguas procedentes de los relieves próximos (Sierra de Cameros, Moncayo). Las aguas que alimentaron este ambiente restringido fueron de dos tipos: superficiales y subterráneas.

La alimentación superficial tiene un carácter eventual, correspondiente a las etapas de tormentas en la cordillera, con descarga de aguas hacia la cuenca a través de los sistemas aluviales. Estas aguas, al llegar al medio evaporítico de forma rápida son las responsables de la dilución de las salmueras y expansión del medio lacustre sobre la llanura lutítica marginal, y a la vez aportan el material detrítico fino (arcillas y limos) que constituye el sedimento encajante de las evaporitas.

De forma más regular el playa-lake estuvo alimentado subterráneamente por aguas de drenaje de la Cordillera Ibérica, ricas en sulfatos, sílice y otros elementos procedentes de la disolución y erosión de las formaciones mesozoicas.

Estos aspectos hidrológicos han sido tratados por MARTINEZ et.al. (1988), quienes exponen la importancia de los acuíferos en la alimentación hídrica de la cuenca en la actualidad y también en el pasado. Estos autores ofrecen datos sobre la composición química de estas aguas subterráneas, que presentan altos contenidos en sulfatos, procedentes de la disolución de evaporitas triásicas y liásicas en el subsuelo de la Sierra de Cameros. Los datos corresponden a las aguas actuales, pero MARTINEZ et.al. (1988) consideran que el modelo es perfectamente válido para la cuenca durante el Mioceno en incluso para buena parte del Terciario.

El tránsito de los Yesos de Monteagudo a las facies de Tudela representa un cambio ambiental importante. Los carbonatos próximos a los yesos presentan aún frecuentes moldes de evaporitas, reflejo de variaciones de salinidad en el medio lacustre carbonatado. Sin embargo, las capas de carbonato más alejadas apenas muestran ninguna manifestación de influencia evaporítica (calizas micríticas, con bioturbación y fauna de gasterópodos).

La presencia de evaporitas en el margen de cuenca y carbonatos en la zona central de la misma implica una dilución de las aguas en este mismo sentido. Este fenómeno sólo es explicable si consideramos que las aguas que alimentaron ambos medios son de procedencias diferentes.

Hemos expuesto ya que las aguas que generaron las evaporitas de Monteagudo son de procedencia ibérica. Ello nos lleva a pensar que los lagos carbonatados de la Fm. Tudela debieron ser alimentados con aguas procedentes del margen Norte de la cuenca, que han llegado a extenderse sobre la misma a través de los sistemas aluviales y fluviales que cosntituyen las formaciones del Perdón (proximal), Ujué (medio) y Tudela (distal).

4.3.2.6.- PROCESOS DIAGENETICOS.

La figura 40 muestra de forma esquemática la posible secuencia de procesos diagenéticos que han tenido lugar en el medio evaporítico desde su sedimentación hasta la actualidad.

1) Como productos primarios han precipitado en el medio evaporítico yeso microlenticular y carbonatos. Estos últimos en forma de calcita o aragonito, que posteriormente han sido recristalizados (micritización, dolomitización...).

2) La formación de los nódulos de sílex debe interpretarse como un proceso diagnético muy temprano, ya que éstos son ricos en pseudomorfos de yeso lenticular tanto en las zonas de yeso primario como en las zonas donde el yeso primario ha sido anhidritizado.

No tenemos hasta el momento un estudio detallado de estos nódulos de sílex que nos permita explicar con exactitud su origen. Sin embargo, como se ha indicado, la precipitación de la sílice puede estar en relación con cambios en las características físicas de las aguas del medio evaporítico (pH, salinidad...).

3) La anhidritización del yeso primario es también un proceso diagenético temprano, debido, como ya se ha comentado, a la reacción de salmueras sobresaturadas en sulfato cálcico con el yeso crecido intersticialmente en los margenes de la laguna evaporítica. Esta reacción produce el crecimiento de anhidrita en forma de densa estructura

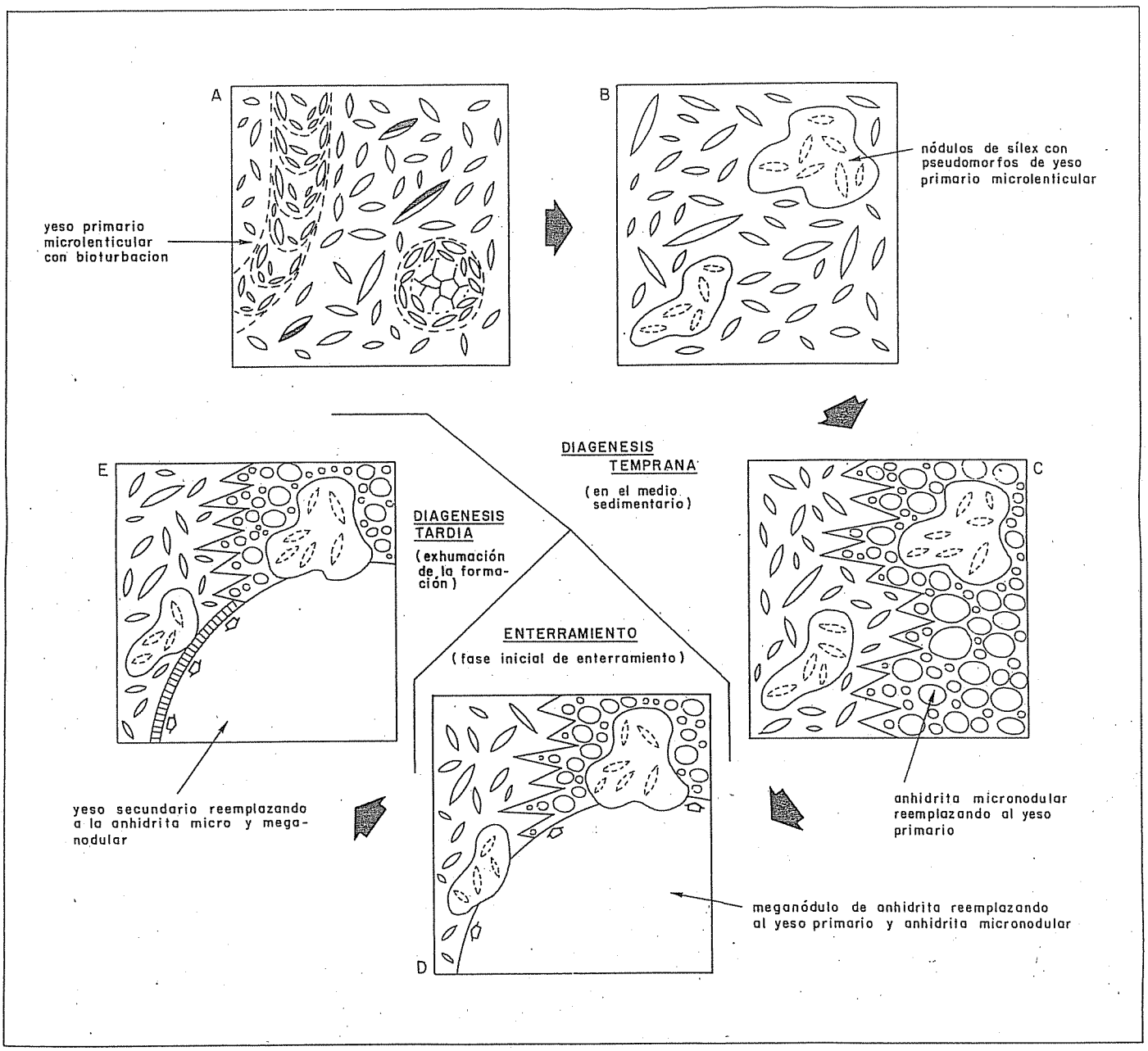


Figura 40.- Esquema diagenético de los Yesos de Monteagudo. Se distinguen las siguientes etapas: diagénesis temprana (en el medio evaporítico); A) precipitación de yeso primario microlenticular, y bioturbación; B) formación de nódulos de sílex por reemplazamiento del yeso primario, el sílex preserva la estructura del yeso microlenticular de forma pseudomórfica; C) en las zonas marginales del medio evaporítico se produce anhidritización del yeso primario, se genera la litofacies masiva-micronodular; enterramiento; durante o posteriormente a la litificación del sedimento evaporítico, crecen los meganódulos de anhidrita, reemplazando el yeso primario y la anhidrita meganodular. exhumación; la anhidrita se transforma en yeso secundario. Se generan las envolturas de yeso fibroso alrededor de los meganódulos emplazados entre el yeso primario, como consecuencia de cambios de volumen relativos del meganódulo y el yeso primario encajante

micronodular, englobando los nódulos de sílex y la matriz lutítica contenida en el yeso primario.

4) Los meganódulos, originalmente de anhidrita, están relacionados con una fase diagenética más avanzada, en relación probablemente con las primeras fases de enterramiento de la formación. El gran tamaño de los meganódulos y su gran pureza hacen pensar que deben haberse originado mediante un proceso lento y continuado (no se observan zonaciones de crecimiento o discontinuidades).

5) El enterramiento de la formación no llegó a ser suficiente como para anhidritizar en profundidad al yeso primario no anhidritizado tempranamente, que una vez exhumada la formación presenta las características originales del medio sedimentario. Sin embargo, esta exhumación sí ha motivado la transformación de la anhidrita (tanto meganodular como micronodular) a yeso secundario, como proceso diagenético tardío. En este caso la transformación ha sido sólo mineralógica, sin que se haya producido variación alguna en la litofacies de la anhidrita.

En ocasiones se observa una envoltura superficial de yeso fibroso, de varios centímetros de espesor, entre los meganódulos y el yeso primario encajante, reflejando que en algún momento de la historia diagenética de la formación ha habido una disminución del volumen del meganódulo con respecto al material encajante, creándose un espacio libre en el que ha precipitado el yeso fibroso (esta envoltura de yeso fibroso no se ha observado en los meganódulos encajados entre yeso masivo-micronodular). Este fenómeno debe tener un origen relativamente reciente, pues de tratarse de un proceso diagenético temprano o durante el enterramiento de la formación el espacio libre dejado por el cambio de volumen del meganódulo hubiera sido compensado por la compactación del sedimento. El desarrollo de la envoltura de yeso fibroso requiere pues un avanzado estado de litificación del yeso encajante, y creemos que este fenómeno puede estar relacionado con la transformación de anhidrita a yeso secundario del meganódulo.

4.4.- LOS YESOS DE RIBAFLECHA.

4.4.1.- CARACTERISTICAS ESTRATIGRAFICAS.

Al Sureste de Logroño, entre las localidades riojanas de Ribaflecha y Ventas Blancas, afloran potentes capas de yeso intercaladas entre las arcillas y areniscas de la formación Alfaro, con similar posición estratigráfica que los Yesos de Monteagudo. Estos materiales se sitúan justo en el margen Sur de la Cuenca, y se presentan en contacto mecánico con los yesos del Keuper, que en este sector forman un continuo frente de cabalgamiento sobre el Terciario. En dicho frente, los materiales terciarios están muy deformados, presentándose sus capas verticalizadas e incluso invertidas. Al alejarnos de este accidente el Terciario adquiere, a los pocos centenares de metros, su estructura tabular característica, con un ligero buzamiento hacia el Sureste.

Los yesos pueden observarse bien en los barrancos excavados por los ríos Leza y Jubera, donde constituyen varios niveles de 0.5 a 2 m. de potencia, formados principalmente por litofacies nodular o masiva. No obstante, el mejor punto para su estudio se sitúa unos 2 Kms. al Oeste de Ventas Blancas, donde los yesos presentan su máximo desarrollo y forman un pronunciado relieve sobre el que recientemente se ha abierto una cantera (foto 64) para la producción de escayola.

La cantera ofrece un corte de unos 40 m. (figura A-17) en el que el yeso es la litología dominante, formando varias capas, la mayor de las cuales alcanza 7 m. de potencia (nivel principal de explotación de la cantera). Las capas de yeso están separadas por niveles arcillosos de menor desarrollo.

En este punto el yeso es principalmente nodular alabastrino, formando capas de espesor métrico. El tramo yesífero principal presenta litofacies bandeada-micronodular, con tonalidades oscuras: ocres, grisáceas o marrones, entre las que destacan frecuentes meganódulos de yeso alabastrino de gran pureza, formando horizontes paralelos a la estratificación (foto 38). El tamaño de los

meganódulos no llega a superar en la mayoría de los casos los 50 cms., aunque algunos llegan a tener tamaño métrico.

La facies de yeso bandeado-micronodular está constituida por micronódulos y nódulos de pequeño tamaño, de yeso alabastrino muy puro, que se disponen formando una estructura bandeada paralela a la estratificación. La matriz internodular es de yeso y carbonato, y presenta tonalidades ocres o marrón claro.

Otra litofacies que también se ha reconocido es la masiva con tonalidades grisáceas o marrones, de aspecto muy similar al yeso microlenticular de tamaño gipsilutita ("yeso caramelo") descrito para los Yesos de Monteagudo, aunque en este caso tiene muy poco desarrollo el carbonato y apenas se distinguen trazas de bioturbación.

Se reconocen capas aisladas de carbonato en los diferentes afloramientos estudiados, siempre con poco desarrollo, llegando a formar como máximo pequeños niveles de algunos centímetros de espesor, asociados a los yesos. Estas capas de carbonato presentan frecuentes trazas de bioturbación.

4.4.2.- PETROLOGIA.

El estudio petrográfico de las muestras de yeso recogidas en los diferentes afloramientos citados, permiten ver las siguientes características:

* Todo el yeso que constituye actualmente la formación es yeso secundario alabastrino. En las facies de yeso masivo se reconocen pseudomorfos de la estructura microlenticular primaria del yeso (foto 66). En las facies de yeso bandeado-micronodular y meganodular no se reconoce ningún tipo de estructura heredada.

* La anhidrita se observa como inclusiones entre los cristales mayores de yeso alabastrino (foto 63). En algunas muestras estas inclusiones llegan a ser abundantes.

* Las capas de carbonato presentan una textura micrítica dominante, en la que se reconocen fragmentos algales (tallos

de 100-200 µm de diámetro) (foto 65) y ostrácodos (1mm. de tamaño). Los ostrácodos se observan normalmente con las valvas separadas, pero también son comunes los ejemplares enteros. Otros componentes carbonatados que se distinguen son: peloides, fragmentos de gasterópodos, así como fragmentos de otros organismos no identificables. Estas características son muy similares a las ofrecidas por los carbonatos de la formación Monteagudo.

* En la mayor parte de muestras de yeso (especialmente en la litofacies bandeada-micronodular) estudiadas al microscopio se reconocen cantidades importantes de cristales de calcita, individuales o formando agregados, cuyo tamaño oscila normalmente entre 100 y 500 µm. (fotos 62 y 63). La cantidad de estos cristales es muy variable según los casos, llegando en algunos casos a igualar o superar en desarrollo al yeso alabastrino encajante.

El hábito de estos cristales es muy característico: se presentan con formas prismáticas o fusiformes, de sección triangular o hexagonal, y con bordes cristalinos aserrados (forma de "cresta de gallo"). También son frecuentes las zonaciones de crecimiento y la extinción ondulante en sentido radial.

Con frecuencia estos cristales se agrupan formando estructuras esferoidales, o bien se disponen paralelamente entre sí (en empalizada), creciendo sobre los bordes de los micronódulos o bien siguiendo las discontinuidades de la roca (porosidades, laminación...). También se presentan aislados y de forma desorientada entre el yeso alabastrino encajante. Se trata de cristales diagenéticos, formados con posterioridad al crecimiento de los micronódulos de anhidrita, pues se adaptan a la estructura micronodular a la que reemplazan parcialmente.

* Las arcillas que se intercalan entre las capas de yeso, analizadas por difracción de Rayos-X, presentan una mineralogía del tipo illita, clorita y esmectitas (tabla 15). Estos minerales están bien representados en todas las muestras analizadas y están acompañados por calcita y cuarzo como minerales acompañantes de la fracción arcillosa.

* En los cortes de los ríos Leza y Jubera, y en la cantera de Ventas Blancas no hemos observado nódulos de sílex, como sería de esperar vistas las parecidas características de

estas facies evaporíticas con las de los Yesos de Monteagudo y Autol. No obstante, algunas observaciones recientes por parte de A. MUÑOZ (com. pers.) ponen de manifiesto la presencia de sílex en algunos puntos de la formación,

TABLA núm 15 — Arcillas serie Ventas Blancas formación Yesos de Ribaflecha

muestra	il	cl	ca	es	cc	do	mg	cz	fd
VB-3	■	■	?	■	■				
VB-6	■	■	?	■	■			■	
VB-7	■	■		■	■			■	
VB-9	■	■		■	■			■	
VB-10	■	■		■	■			■	
VB-12	■	■		■	■			■	
VB-13	■	■	?		■			■	■
VB-15	■			■	■				
VB-22	■	■	?	■	■				■
VB-27	■	■		■	■			■	■

TABLA núm 16 — Carbonatos serie Ventas Blancas formación Yesos de Ribaflecha

muestra	ys	an	ce	cc	do	mg	cz	fd	ar
VB-20	■			■			♦		
VB-25	■			■					

Las tablas números 15 y 16 muestran respectivamente los resultados de difracción de Rayos-X de arcillas y carbonatos, correspondientes a los Yesos de Ribaflecha. Las mineralogías indicadas en la cabecera de cada tabla son las siguientes:

il : illita — ys : yeso — cc : calcita — cz : cuarzo
cl : clorita — an : anhidrita — do : dolomita — fd : feldespatos
ca : caolinita — ce : celestina — mg : magnesita — ar : arcillas
es : esmectita — ■ : mine.ident. — ♦ : mine.secd. — ? : pres.dudosa

4.4.3.- SEDIMENTOLOGIA.

Por las características litológicas que hemos expuesto, su emplazamiento marginal en la cuenca, y su edad (Mioceno inferior), estos yesos podemos considerarlos genéticamente muy similares a los de Monteagudo, cuyo modelo propuesto consideramos válido también para este caso.

La escasa bioturbación y poco desarrollo de los niveles de carbonatos, parece reflejar un menor desarrollo biológico en estas evaporitas del que muestran los Yesos de Ablitas y Monteagudo.

La poca presencia de nódulos de sílex puede estar también en relación con el menor desarrollo biológico, si consideramos que la precipitación de la sílice es un fenómeno en el que ha jugado un papel importante el control de microorganismos, o bien puede deberse a la escasez de sílice en el área fuente, llegando las aguas al medio evaporítico desprovistas de este elemento.

En resumen, puede decirse que los Yesos de Ribaflecha son, al margen de sus particularidades, un ejemplo más de formación evaporítica de baja salinidad asociada al margen de la cuenca, cuyas características se adapta al modelo propuesto para los Yesos de Monteagudo.

Un estudio más detallado de esta unidad evaporítica está en curso de realización por parte de A. MUÑOZ y J.M. SALVANY.

L A M I N A 11.

Foto 39.- Dolomicrita con abundantes pseudomorfos, en yeso secundario, de yeso microlenticular primario (muestra LO-24).

Foto 40.- Pseudomorfos, en yeso secundario, de yeso lenticular con morfología en roseta (muestra SA-s/n).

Foto 41.- Sección de nódulo de yeso secundario de la Fm. Lerín (muestra CP-18) mostrando un núcleo de yeso alabastrino y una envoltura externa de yeso porfiroblástico.

Foto 42.- Sección de un nódulo de yeso secundario procedente de la Fm. Falces (muestra LA-13). Se observan varios porfiroblastos idiomórficos de yeso creciendo entre el yeso alabastrino.

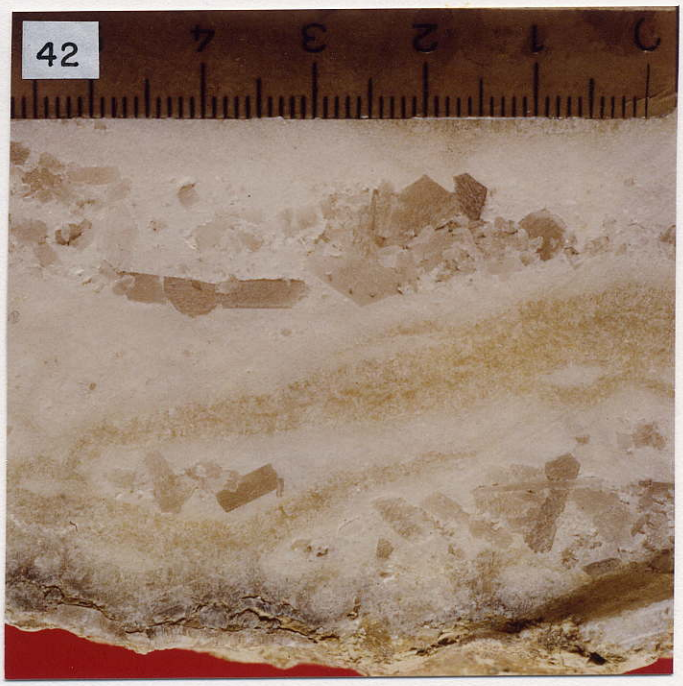
Foto 43.- Aspecto en afloramiento del yeso secundario megacristalino (Unidad Lodosa, corte de Lodosa).

Foto 44.- Sección pulida de un yeso secundario con textura megacristalina (parte superior) y alabastrina (parte inferior), procedente de la Fm. Lerín (muestra CLO-1).

39

40

41


42

43

44

L A M I N A 12.

Foto 45.- Apecto de una anhidrita con microestructura bimodal: sobre una matriz de grano fino de anhidrita se han desarrollado cristales de anhidrita, cuadrado-rectangulares, de tamaño mayor (porfiroblastos) (microfotografía de la muestra EA-4b, Yesos de Los Arcos).

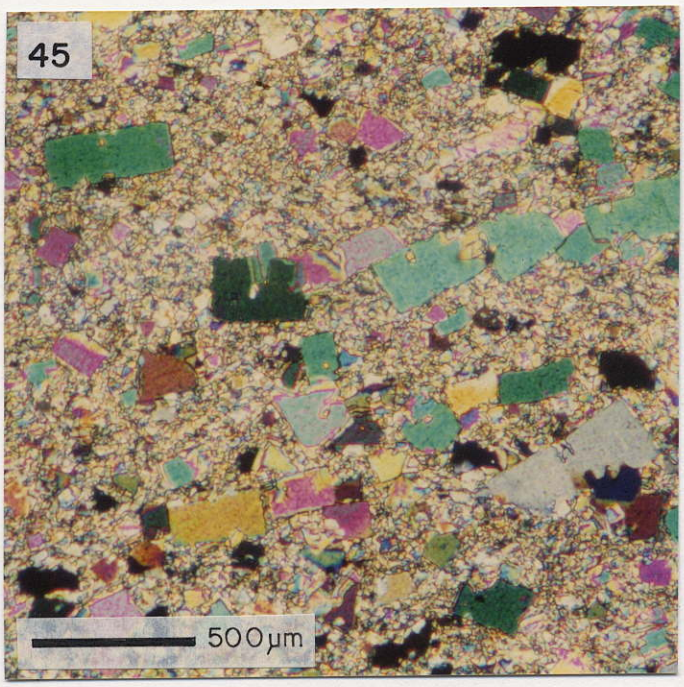
Foto 46.- Microestructura granular de anhidrita, formando un denso mosaico equigranular (microfotografía de la muestra S2-79, Yesos de Los Arcos).

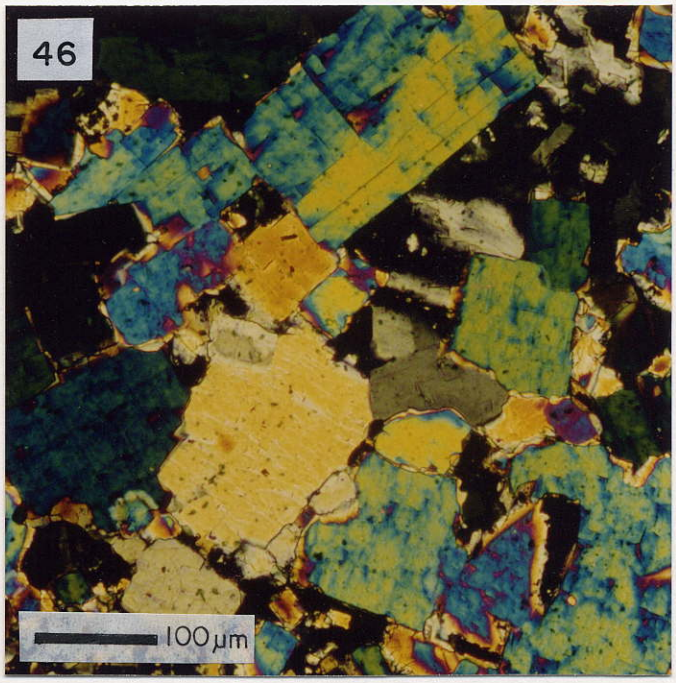
Foto 47.- Cristales residuales de anhidrita (a) después de la transformación de ésta a yeso secundario (y). Se observa el aspecto corroído de los bordes de los cristales de anhidrita como consecuencia del reemplazamiento (microfotografía de la muestra S1-61.2, Yesos de Los Arcos)

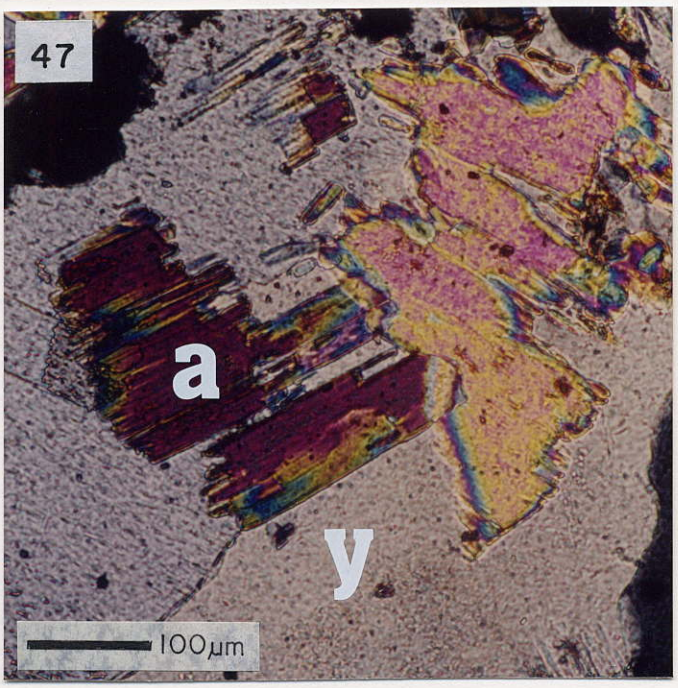
Foto 48.- Microestructura granular de anhidrita parcialmente reemplazada a yeso secundario: A) zona de anhidrita no afectada por la transformación; B) zona de anhidrita sobre una matriz de yeso secundario reemplazante (microfotografía de la muestra EA-4a, Yesos de Los Arcos).

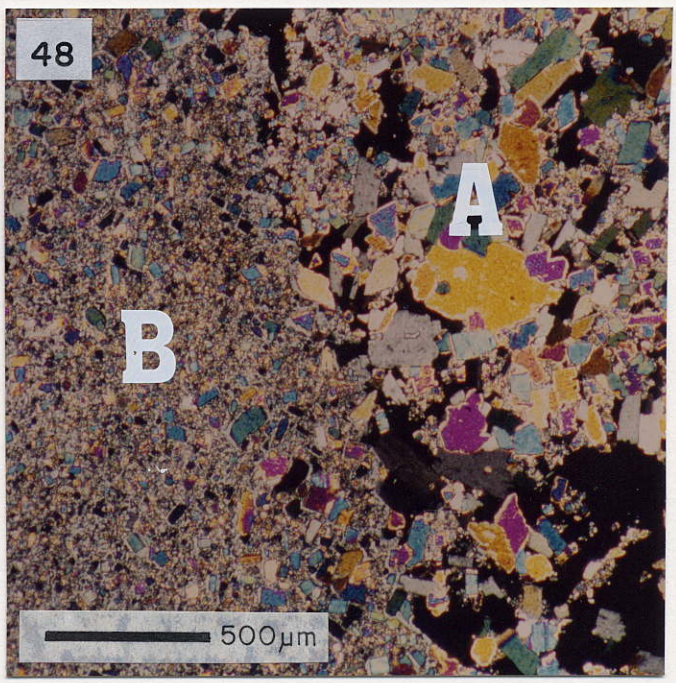
Foto 49.- Aspecto textural característico del yeso secundario alabastrino, formando un denso y fino mosaico anhedral de cristales de yeso (microfotografía de la muestra ABC-2, Yesos de Monteagudo).

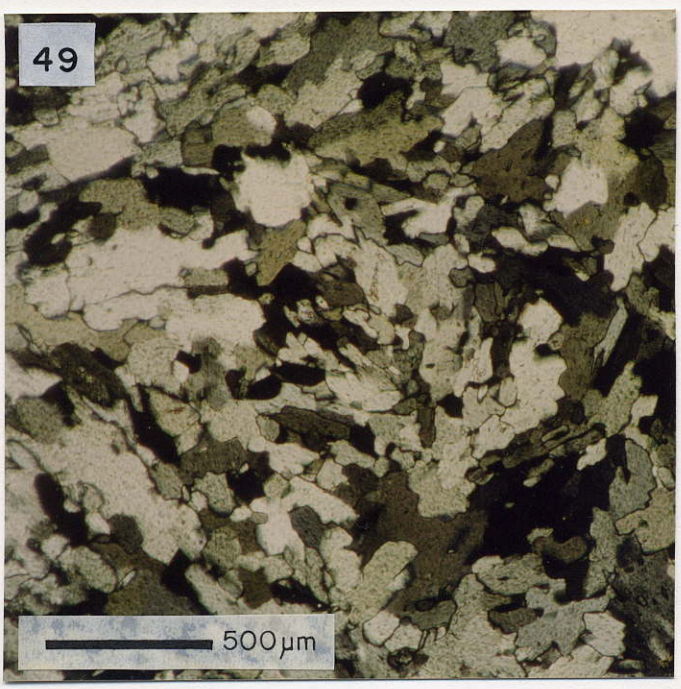
Foto 50.- Porfiroblastos de yeso secundario desarrollados sobre una matriz microcristalina de yeso alabastrino (microfotografía de la muestra LA-7b, Yesos de Falces).

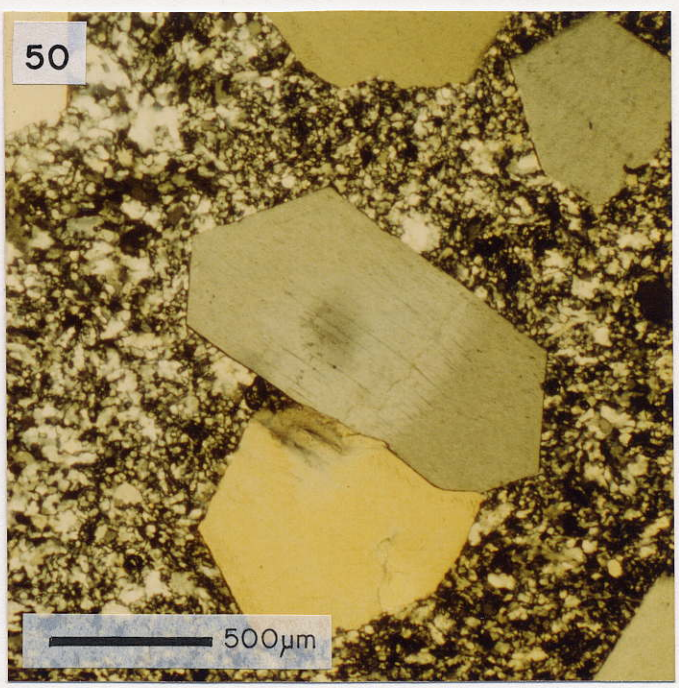

45
500µm


46
100µm


47
a
y
100µm


48
A
B
500µm


49
500µm


50
500µm

L A M I N A 13

Foto 51.- Vista panorámica de los Yesos de Monteagudo en las proximidades de Ablitas: m) Yesos de Monteagudo, a) Arcillas de la Fm. Alfaro.

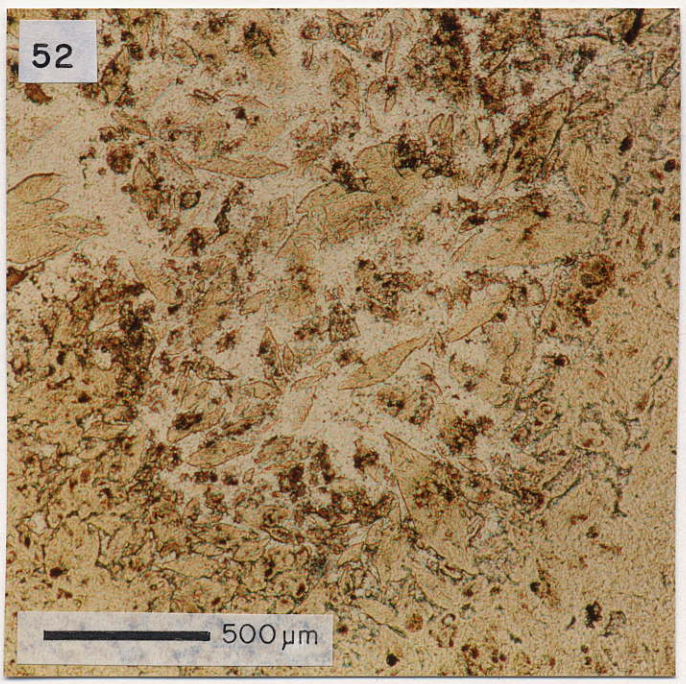
Foto 52.- Pseudomorfos en sílex, de yeso primario microlenticular (microfotografía de la muestra AU-4, Yesos de Los Arcos en Autol).

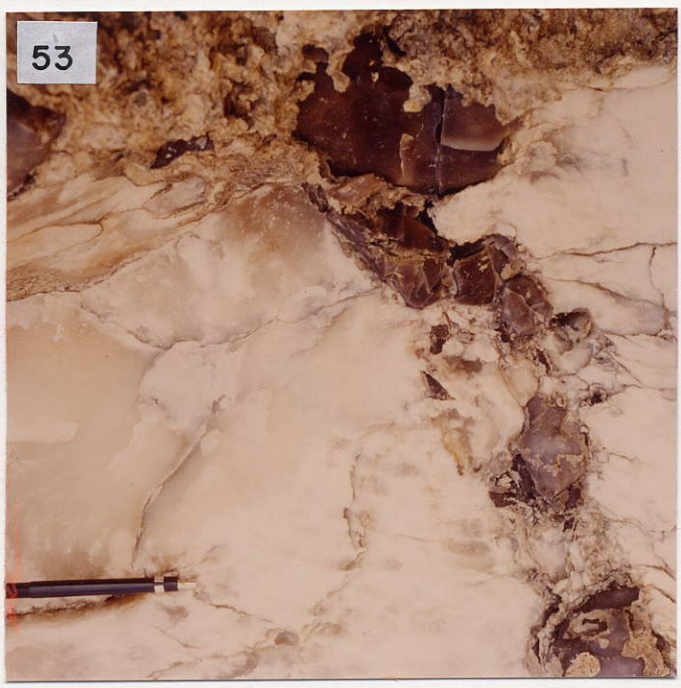
Foto 53.- Nódulo de sílex (marrón oscuro) desarrollado sobre yeso secundario alabastrino (blanco), en la cantera de Ablitas (Yesos de Monteagudo).

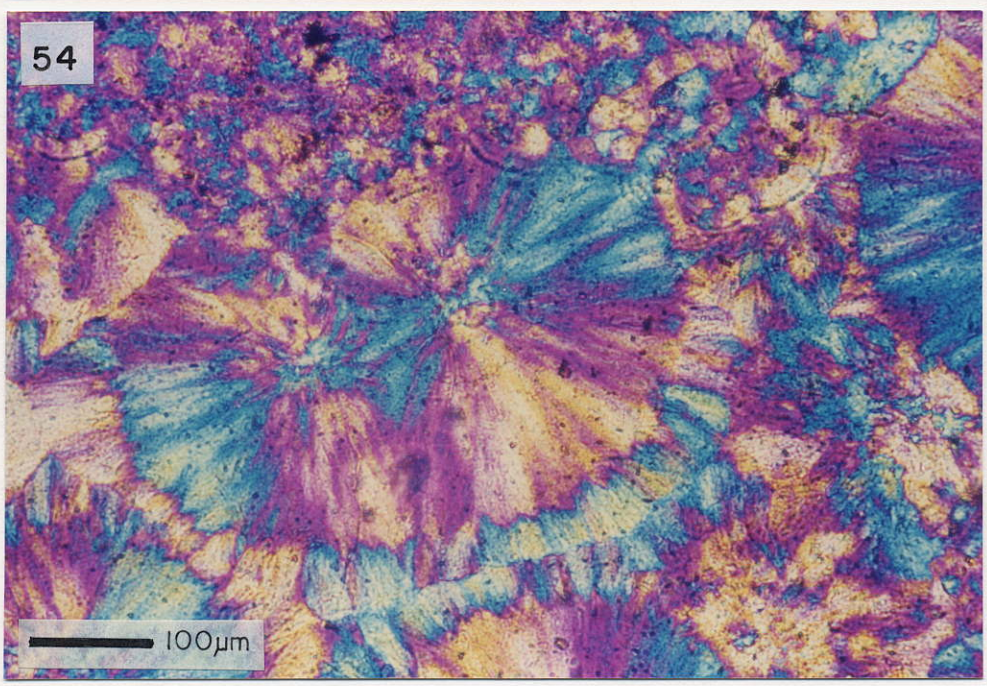
Foto 54.- Esferulitos de calcedonia (cuarcina) en una muestra de sílex de los Yesos de Monteagudo (microfotografía, ABH-slx2).

Foto 55.- Pequeños cristales de celestina desarrollados entre el yeso secundario de la formación Monteagudo (microfotografía de la muestra ABC-1).

51
m
a


52
500 µm


53


54
100µm

55
100µm

L A M I N A 14.

Foto 56.- Yeso primario microlenticular procedente de la cantera de Ablitas (microfotografía de la muestra ABH-3, Yesos de Monteagudo). En tonalidad más oscura, matriz carbonatada que acompaña al yeso.

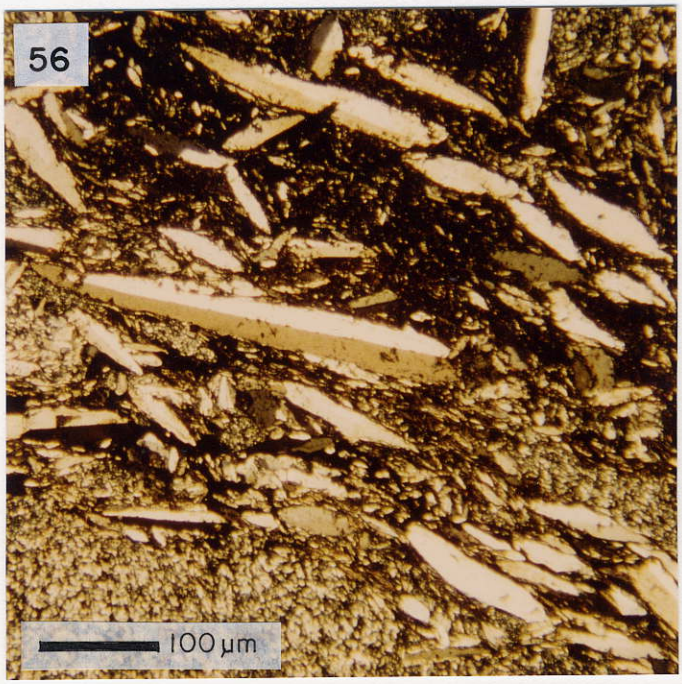
Foto 57.- Yeso primario microlenticular formando una densa textura desorientada, procedente de la cantera de Ablitas (microfotografía de la muestra ABH-11, Yesos de Monteagudo).

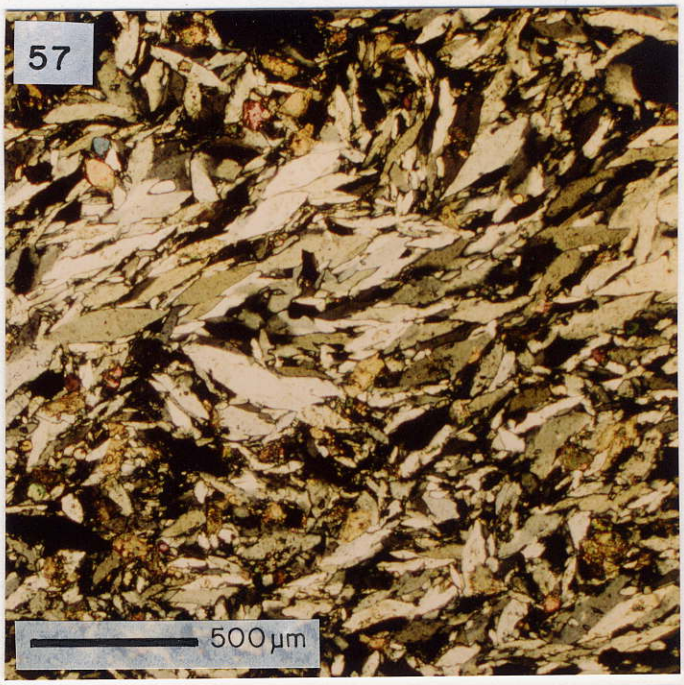
Foto 58.- Detalle de yeso primario microlenticular, mostrando el desarrollo de pequeños cristales de calcita reemplazando los bordes externos de los cristales (microfotografía de la muestra ABH-6, Yesos de Monteagudo).

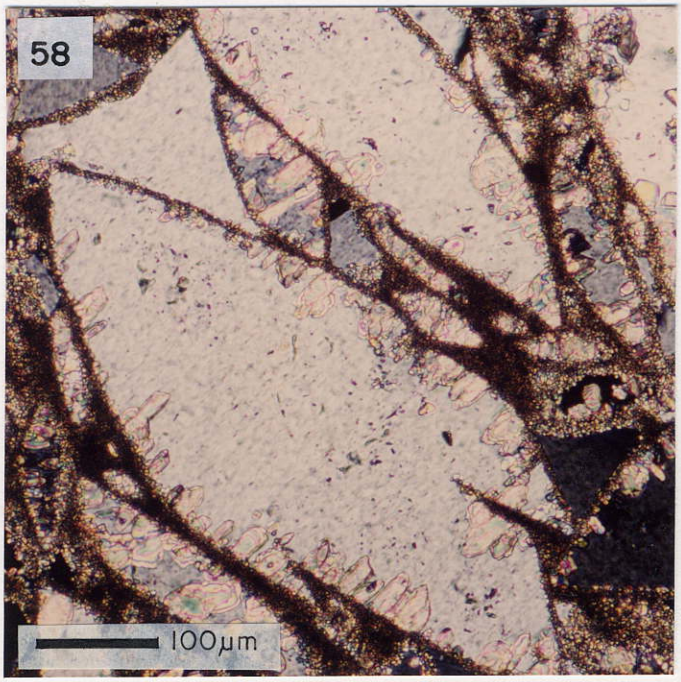
Foto 59.- Detalle de un ostrácodo en un nivel micrítico correspondiente a los Yesos de Monteagudo (microfotografía de la muestra ABD-4).

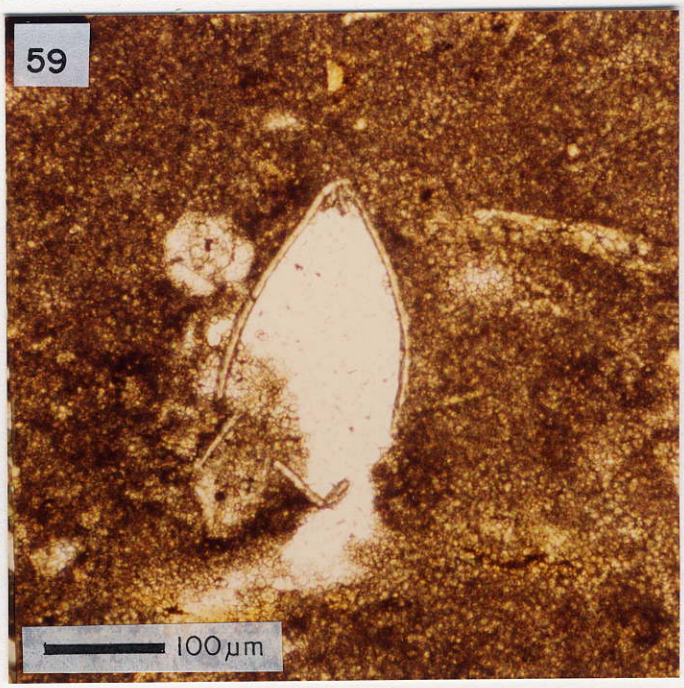
Foto 60.- Aspecto en laja pulida, de trazas de bioturbación en un yeso primario microlenticular (tonos oscuros) con carbonato (tonos claros) (muestra ABH-7).

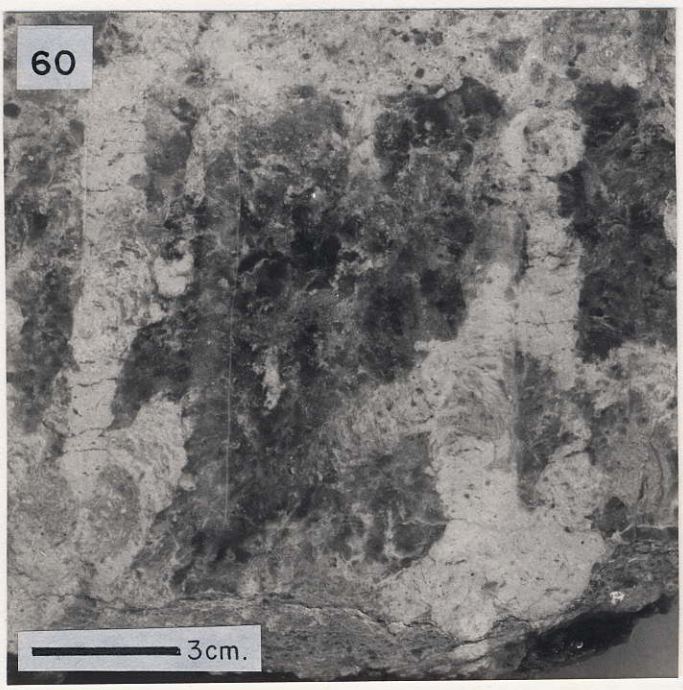
Foto 61.- Traza de bioturbación en yeso primario microlenticular. El yeso (tonos claros) se presenta entre abundante matriz carbonatada (tonalidad oscura) (microfotografía de la muestra ABH-3, Yesos de Monteagudo).

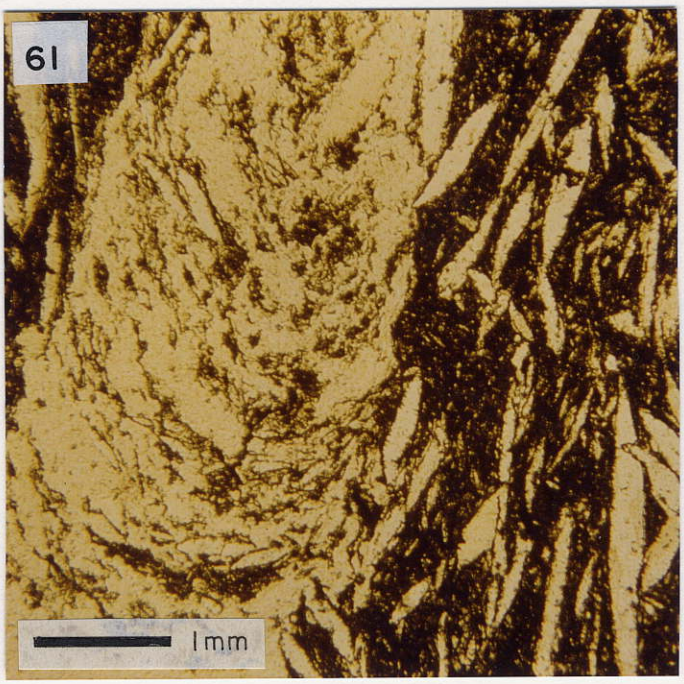

56
100 µm


57
500 µm


58
100 µm


59
100 µm


60
3cm.


61
1mm

L A M I N A 15.

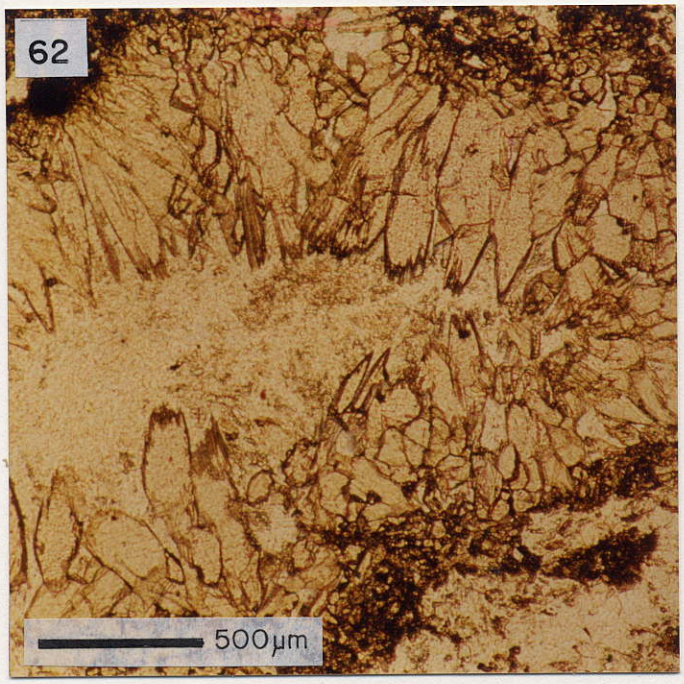
Foto 62.- Crecimientos de cristales de calcita sobre los bordes de micronódulos de yeso secundario en los yesos de Ribaflecha (microfotografía de la muestra VB-21a).

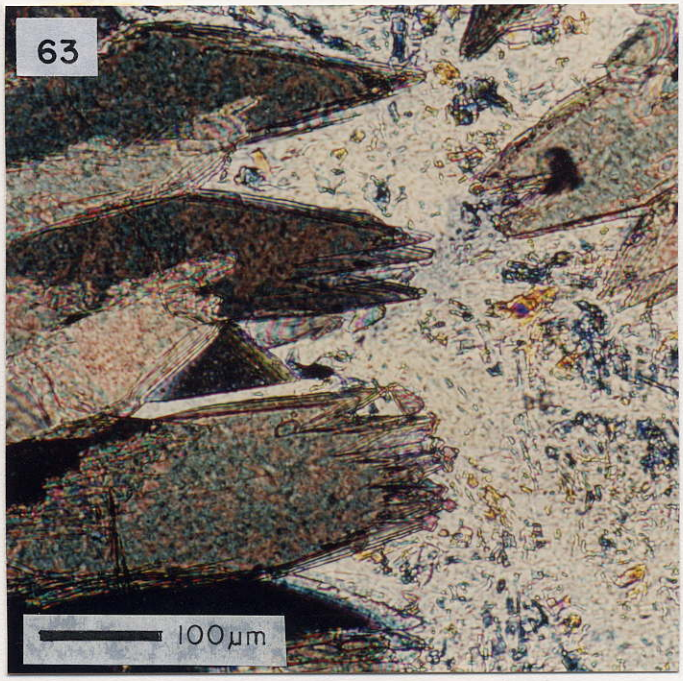
Foto 63.- Detalle de los cristales de calcita desarrollados sobre el yeso, en el que se observan también pequeñas inclusiones de anhidrita. Se observa la característica terminación de estos cristales en forma aserrada (microfotografía de la muestra VB-21a, Yesos de Ribaflecha).

Foto 64.- Aspecto de los yesos bandeado-micronodulares con meganódulos aflorantes en la cantera de Ventas Blancas (Yesos de Ribaflecha).

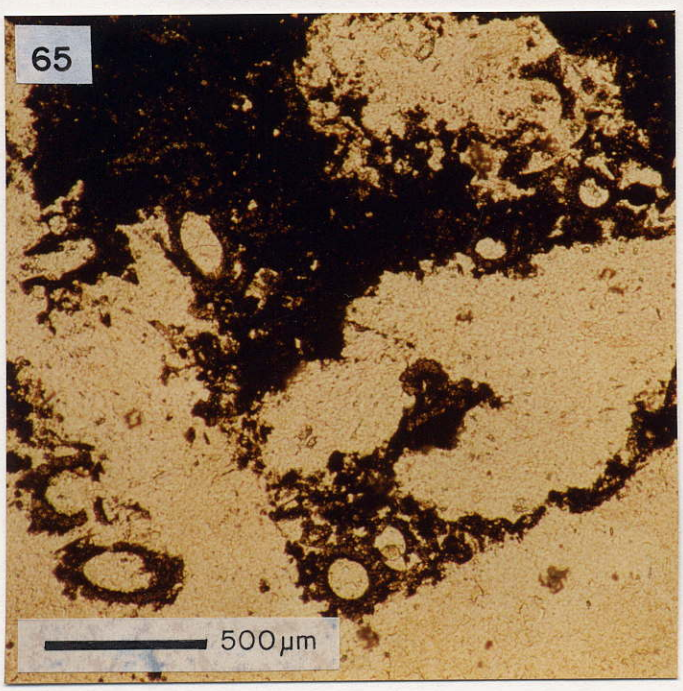
Foto 65.- Carbonatos algales (carofíceas ?) entre yeso en una muestra correspondientes a la cantera de Ventas Blancas (microfotografía, VB-25, Yesos de Ribaflecha).

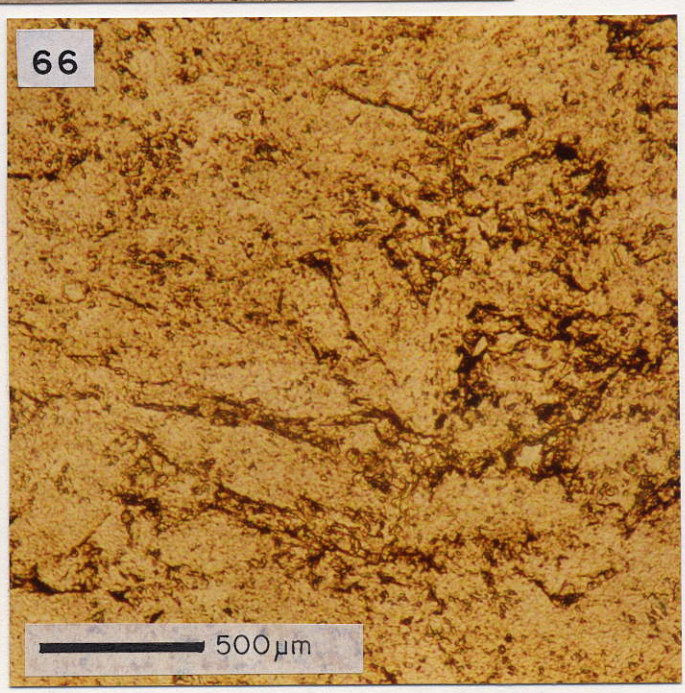
Foto 66.- Pseudomorfos, en yeso alabastrino, de yeso primario microlenticular (microfotografía de la muestra VB-23, Yesos de Ribaflecha).


62
500µm


63
100µm

64


65
500µm


66
500µm

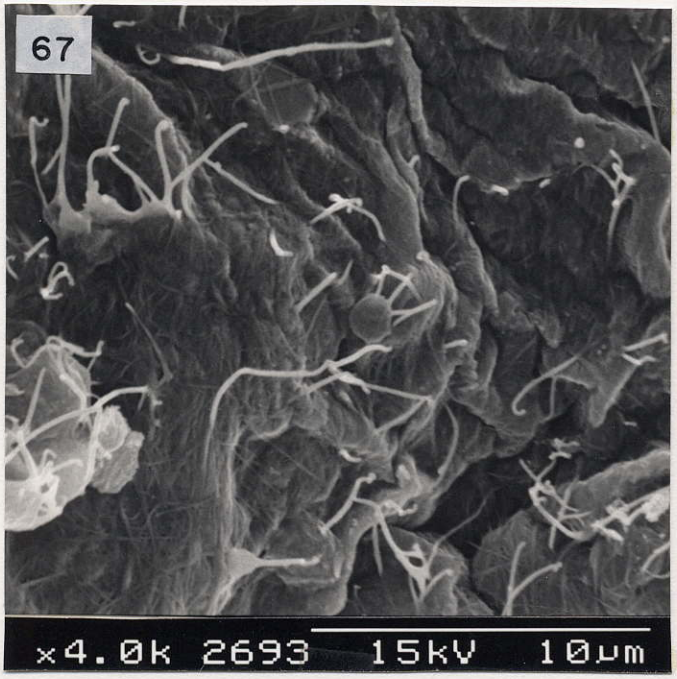
L A M I N A 16.

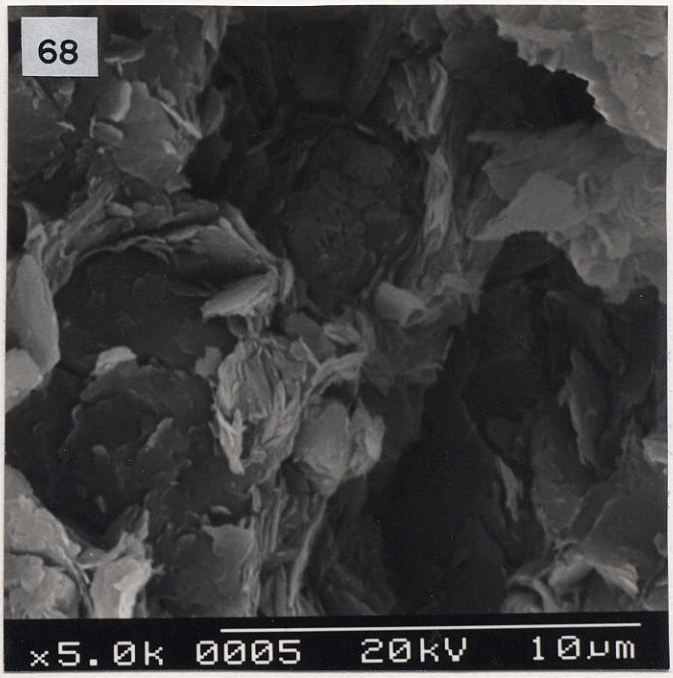
Fotos 67, 69.- Aspecto al microscopio electrónico, de arcillas fibrosas en los Yesos de Monteagudo (muestras ABA-14a y ABA-14b).

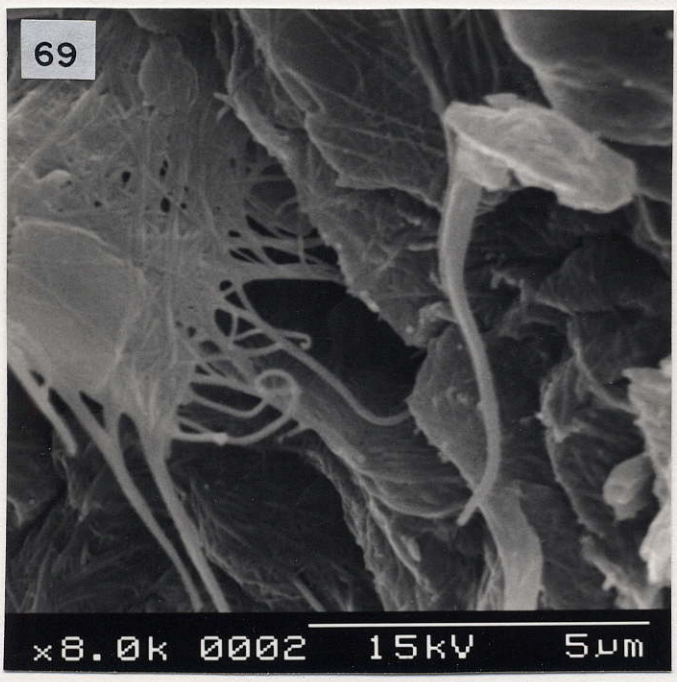
Foto 68.- Aspecto al microscopio electrónico, de cristales laminares de arcillas correspondientes a la Fm. Lerín (muestra LO-39).

Fotos 70 y 71.- Aspecto al microscopio electrónico, de cristales de halita parcialmente reemplazados por micrita: en el primer caso, el carbonato es de magnesita (muestra S3-82.9) y en el segundo caso se trata de dolomita (muestra LE-9).

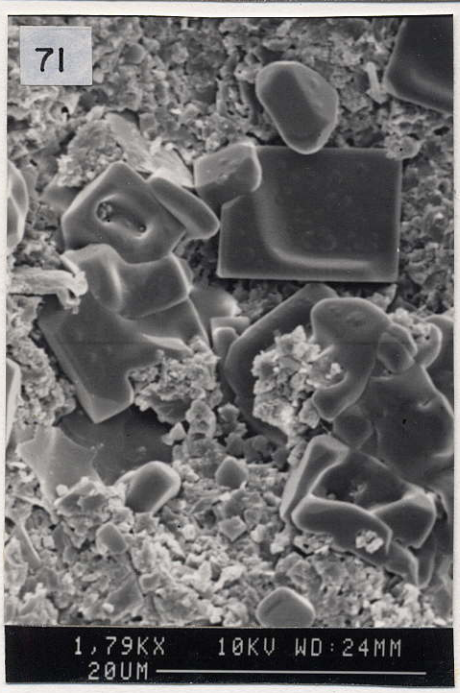
Foto 72.- Cristales idiomórficos de halita observados entre las arcillas de la Unidad Los Arcos (microfotografía de la muestra EA-8).

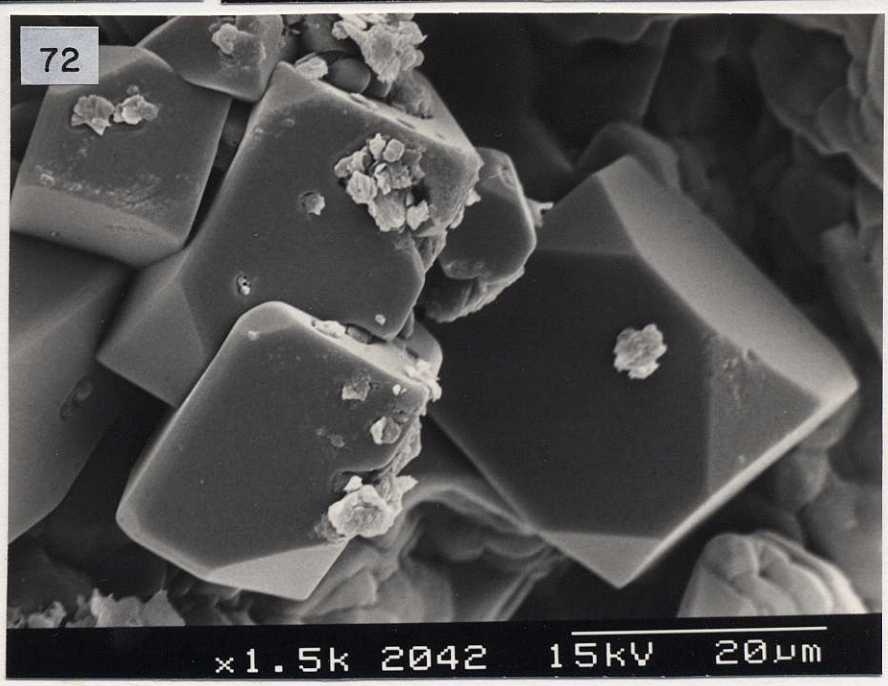

67
×4.0k 2693 15kV 10µm


68
×5.0k 0005 20kV 10µm


69
×8.0k 0002 15kV 5µm

70
2,52KX 15KV WD:17MM S:00909 P:00004
20UM


71
1,79KX 10KV WD:24MM
20UM


72
×1.5k 2042 15kV 20µm

L A M I N A 17.

Fotos 73 y 75.- Aspecto al microscopio electrónico de una dolomicrita idiomórfica (muestra PE-17) correspondiente a la Fm. Lerín.

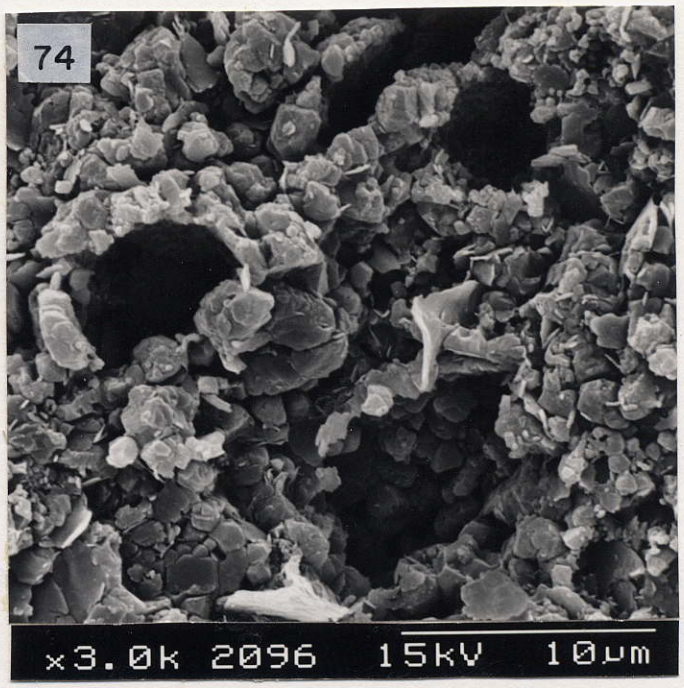
Foto 74.- Aspecto al microscopio electrónico de barrido de una dolomicrita anhedral (muestra CA-2) correspondiente a la Fm. Lerín. Se observan estructuras relictas de la antigua composición bioclástica de la roca (fragmentos algales ?).

Foto 76.- Cristal microlenticular de yeso primario (Ys) entre carbonato micrítico (m), en una muestra (ABH-5) de la formación Monteagudo.

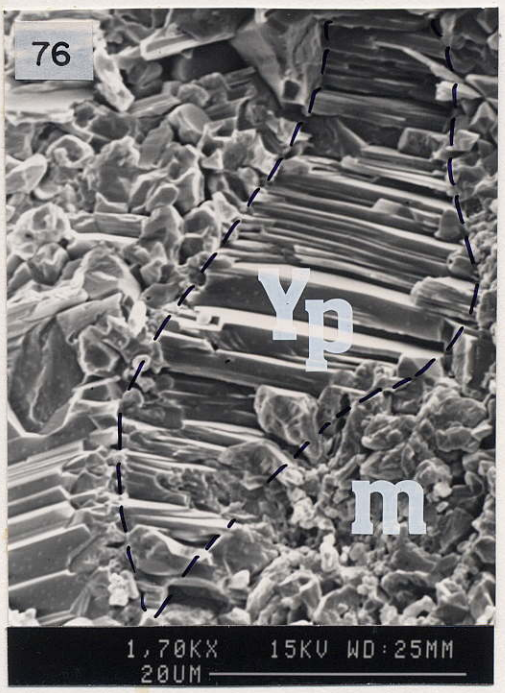
Foto 77.- Aspecto al microscopio electrónico de una gipsilutita primaria de la formación Monteagudo (muestra ABH-3).

Foto 78.- Aspecto al microscopio electrónico de una dolomicrita anhedral correspondiente a la Fm. Lerín (muestra S1-98.8).

73
×4.0k 2080 15kV 10µm


74
×3.0k 2096 15kV 10µm

75
×6.0k 2083 15kV 5µm


76
Yp
m
1,70KX 15KV WD:25MM
20UM

77
1,63KX 15KV WD:30MM
20UM

78
2,02KX 15KV WD:25MM S:00909 P:00008
20UM

4.5.- EVOLUCION PALEOGEOGRAFICA DE LAS FORMACIONES EVAPORITICAS EN EL SECTOR OCCIDENTAL DE LA CUENCA DEL EBRO.

Como resumen de los diferentes aspectos estratigráficos y sedimentológicos que se han tratado en este capítulo puede exponerse la siguiente evolución paleogeográfica:

A) Durante el Eoceno terminal y Oligoceno inferior se desarrollaron en el sector surpirenaico occidental de la Cuenca del Ebro las evaporitas de la formación Puente La Reina (fig. 41). Su emplazamiento tuvo lugar en una cubeta alargada, de orientación Este-Oeste, con una extensión no inferior a los 50 kms. (como indican los dos puntos de afloramiento más alejados).

Las evaporitas constituyen las facies distales del conjunto de formaciones detríticas y lacustres bien desarrolladas en la cuenca de Jaca. En un corte paralelo a los Pirineos a través de las cuencas de Navarra y Jaca, las evaporitas de Puente La Reina pasan lateralmente hacia el Este a las facies lacustres de Zabalza (margas, arcillas y limos), luego a las facies fluvio-lacustres de Javier (arcillas rojas y areniscas), y en una posición más oriental a las facies aluviales y fluviales de Anzánigo, Montrepós y Bibán, del Grupo Campodarbe (PUIGDEFABREGAS, 1975).

Esta disposición de facies pone claramente de manifiesto el sentido Este-Oeste de paleocorrientes, constituyendo la cuenca de Jaca y su prolongación en la cuenca de Pamplona, un continuo surco sedimentario con gradación completa de facies, desde los sistemas aluviales de su extremo oriental, hasta los fluviales y lacustres de su extremo occidental.

Por el Norte y Oeste, se desconoce la extensión de las evaporitas y sus facies laterales, por falta de datos de subsuelo en la región cantábrica y por estar estos materiales erosionados en la zona septentrional de Navarra.

No está clara la relación de los Yesos de Puente La Reina con los conglomerados de Turruncún en la región de

Arnedo, cuya edad es en sentido ámplio similar. Los conglomerados pueden constituir el relleno de una cubeta, al pie de la Cordillera Ibérica, desconectada paleogeográficamente de la cuenca evaporítica Surpirenaica (umbral ?), o bién puede tratarse de las facies proximales de un sistema aluvial con evolución hacia el Norte hasta las evaporitas. La falta de datos de subsuelo no permite por el momento esclarecer este aspecto paleogeográfico.

Es de destacar en este contexto paleogeográfico, la presencia de varios diapiros triásicos dentro o próximos al área sedimentaria de las evaporitas, que como se ha comentado pueden haber constituído el área fuente de los sulfatos de la formación Puente La Reina, cuyo origen triásico ha sido probado por UTRILLA (1989).

B) Durante el Oligoceno medio, ya con la cuenca terciaria continental del Ebro bien desarrollada, Los Yesos de Falces suponen un ciclo evaporítico de notables dimensiones. Por la distribución de sus afloramientos y los datos de subsuelo que se conocen, estas evaporitas ocuparon la mayor parte del sector navarro-riojano de la cuenca del Ebro (fig. 42).

Por el Norte y Noreste las evaporitas pasan lateralmente a las facies lacustres de Eslava (arcillas, margas, calizas y areniscas) y fluviales de Caseda (arcillas y areniscas), de la formación Sangüesa (CASTIELLA et.al. 1978), que constituyen las facies distales de los abanicos aluviales al pie de la Cordillera Pirenaica.

Por el Sur son mal conocidas las unidades equivalentes a los yesos de Falces, que sólo llegan a aflorar en el sector de Arnedo. En un sentido amplio, estos yesos corresponden lateralmente a los conglomerados de la formación Arnedo, que constituyen las facies aluviales del margen meridional de la cuenca. Hacia el Oeste y Este es también mal conocida la terminación de las evaporitas y su unidades equivalentes laterales. No obstante, algunos datos de subsuelo (ENRESA, 1987) han permitido ver que la formación se acuña en ambas direcciones sin llegar a rebasar respectivamente los límites de Logroño y Zaragoza (fig. 26).

Por su gran expansión y potencia, los Yesos de Falces constituyen sin duda el episodio evaporítico mayor en este sector de la cuenca del Ebro, sólo comparable en dimensiones

a los yesos de la Fm. Zaragoza, que tienen un desarrollo similar. Los sulfatos y cloruros que constituyen la formación proceden del reciclaje de las evaporitas triásicas y/o liásicas en estado de erosión en las Cordilleras Ibérica y Pirenaica (UTRILLA, 1989).

C) Durante el Oligoceno superior y Mioceno basal se desarrollaron los Yesos de Lerín (fig. 43), con extensión paleogeográfica más reducida que la ofrecida por los Yesos de Falces. En este ciclo evaporítico las facies detríticas de ambos márgenes de la cuenca presentan un buen desarrollo, que se manifiesta por el continuo cinturon de abanicos aluviales a ambos márgenes de la cuenca.

Las evaporitas pasan lateralmente hacia el Norte a las facies aluviales y fluviales de Allo, Sos y San Martín, de la formación Ujué (CASTIELLA et.al., 1978) que se extienden por el Norte y Noreste de la Ribera de Navarra. Estas facies pasan lateralmente en el margen pirenaico de la cuenca, a los niveles inferiores de los conglomerados del Perdón (abanicos aluviales), que afloran en Estella, Sierra del Perdón y Peña Izaga.

Por el Sur se presenta un dispositivo similar, constituído por los conglomerados de Fitero (niveles inferiores), en el sector de Tarazona, y la parte superior de la formación Autol (facies fluvio-lacustres) en el sector de Arnedo. Hacia el Oeste los Yesos de Lerín pasan lateralmente a las facies aluviales y fluviales de Nájera (RIBA, 1955a). En la región aragonesa no se conocen bien las facies equivalentes por quedar cubiertas bajo materiales miocénicos más modernos.

En este esquema paleogeográfico podemos remarcar dos aspectos que se ponen especialmente de relevancia: 1) desplazamiento del depocentro de la cuenca y sus evaporitas hacia el Oeste (fig. 35) durante la sedimentación de la formación Lerín; 2) se individualizan dos dominios sedimentarios en función del color de las arcillas: un dominio suroccidental, con arcillas rojas (facies de Haro, Lodosa, Arnedo, Tarazona), y un dominio Nororiental con arcillas de colores ocres, grisáceos o beig (facies de Allo, Sos, San Martín, Peralta, Caparroso, etc.). Estos dominios parecen indicar dos áreas fuentes diferentes pasa los

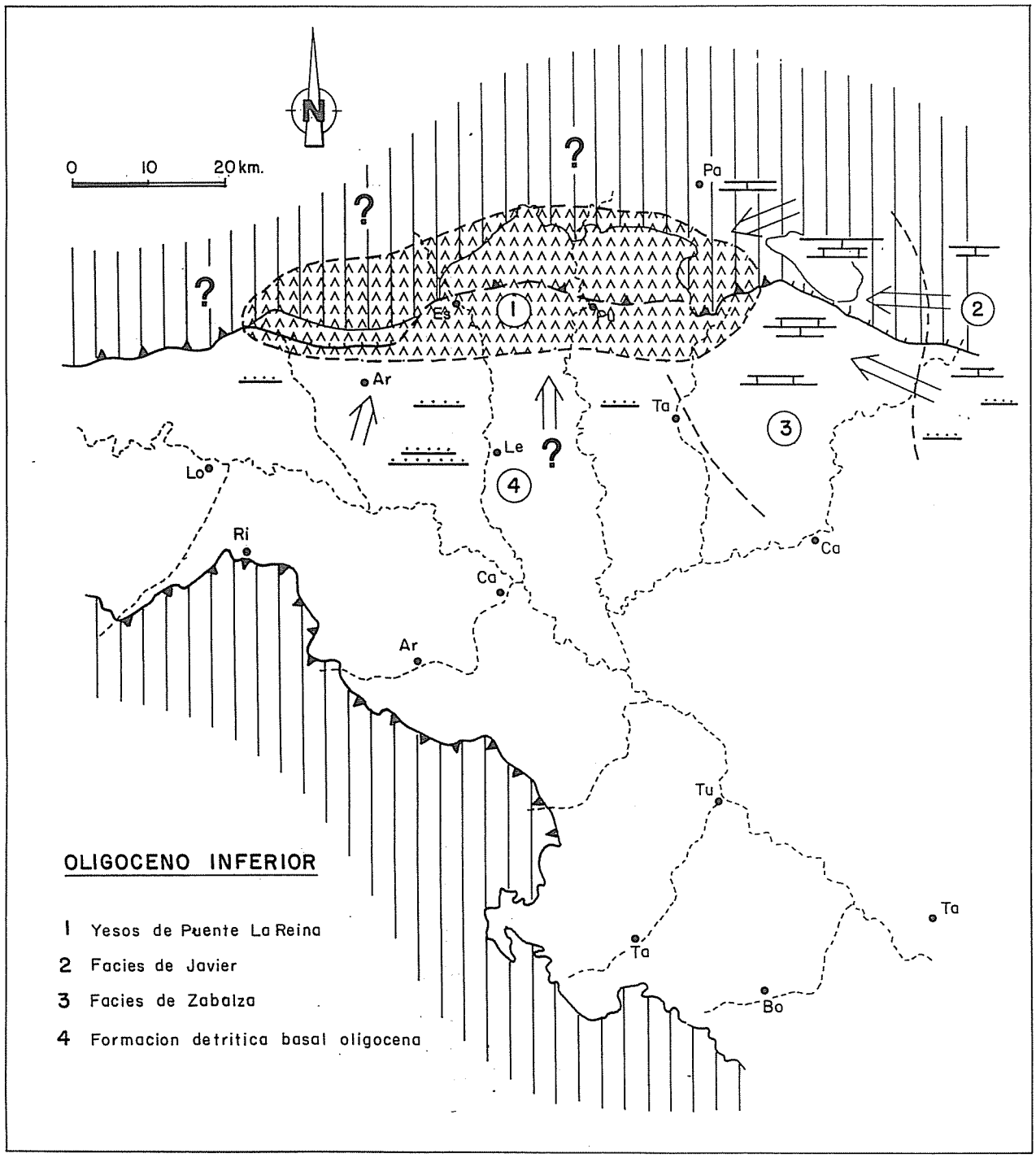


Figura 41.- Esquema paleogeográfico de distribución de los Yesos de Puente La Reina y formaciones encajantes, durante el Oligoceno inferior (el trazo discontinuo que limita las evaporitas, indica la extensión mínima de las mismas a partir de los datos de que se disponen). Las flechas indican el sentido de las paleocorrientes.

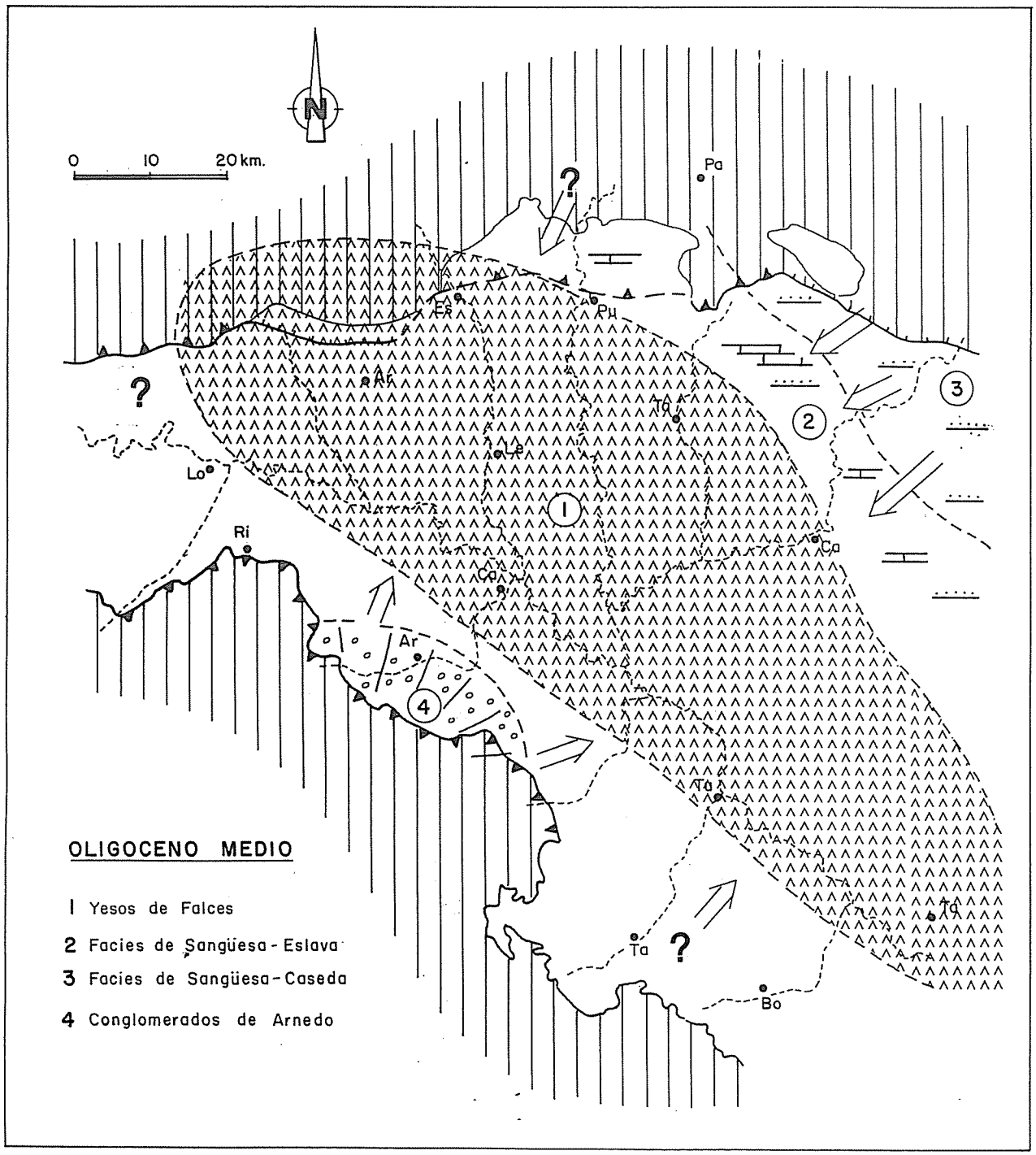


Figura 42.- Esquema paleogeográfico de distribución de los Yesos de Falces y sus formaciones encajantes, durante el Oligoceno medio (el trazo discontinuo que limita las evaporitas, indica la extensión mínima de las mismas a partir de los datos de que se disponen). Las flechas indican el sentido de las paleocorrientes.

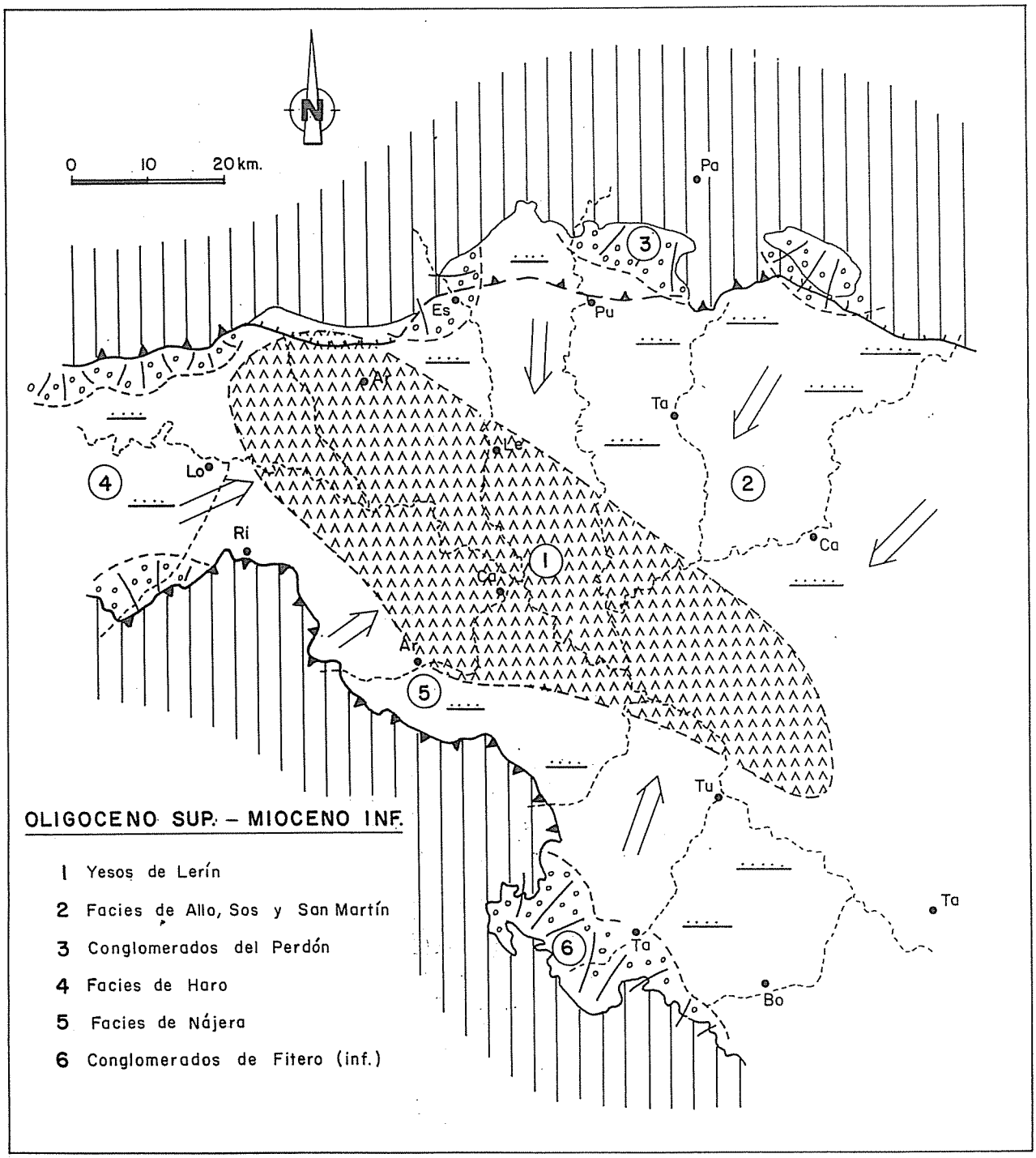


Figura 43.- Esquema paleogeográfico de distribución de los Yesos de Lerín (Los Arcos) y sus formaciones encajantes, durante el Oligoceno superior-Mioceno inferior (el trazo discontinuo que limita las evaporitas, indica la extensión mínima de las mismas a partir de los datos de que se disponen). Las flechas indican el sentido de las paleocorrientes.

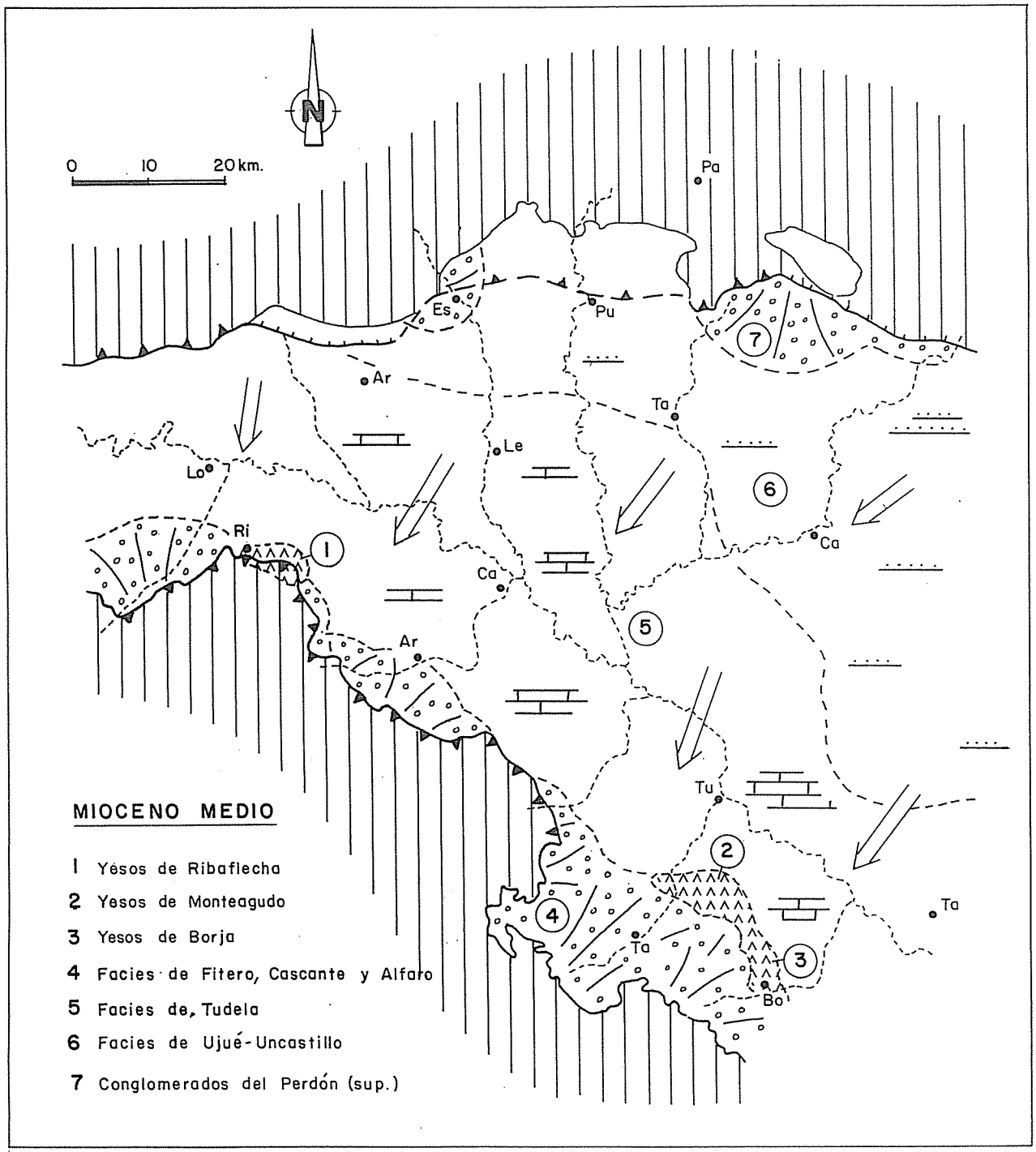


Figura 44.- Esquema paleogeográfico de distribución de los Yesos de Ribaflecha, Monteagudo, Borja, y sus formaciones encajantes, durante el Mioceno medio (el trazo discontinuo que limita las evaporitas, indica la extensión mínima de las mismas a partir de los datos de que se disponen). Las flechas indican el sentido de las paleocorrientes.

materiales detríticos que engloban las evaporitas, que pueden corresponder con las Cordilleras Ibérica y Pirenaica, respectivamente.

El origen de los sulfatos y cloruros que constituyen la formación, al igual que hemos comentado para el caso de los Yesos de Falces, está relacionado con la erosión de evaporitas triásicas y/o liásicas en ambas cordilleras y su reciclaje en la cuenca terciaria.

D) El mioceno es un periodo con escaso desarrollo de las facies evaporíticas en este sector de la cuenca del Ebro, que se limitan a las pequelas formaciones yesíferas de Ribaflecha, Monteagudo y Borja (fig. 44).

Durante el Mioceno, la cuenca está principalmente ocupada por los sedimentos procedentes del margen pirenaico, que llegan a extenderse hasta el pie de los abanicos aluviales del margen meridional de la misma. Los yesos se sitúan sobre la línea de contacto entre ambos materiales.

La zona central de la cuenca la ocupan las facies fluvio-lacustres de Tudela, que hacia el Norte y Noreste pasan lateralmente a las facies fluviales de Ujué-Uncastillo (PUIGDEFABREGAS, 1975 y CASTIELLA et.al., 1978), y a su vez éstas pasan lateralmente a los abanicos aluviales del margen Norte de la cuenca, que constituyen los conglomerados superiores del Perdón. En el margen meridional de la cuenca se presenta un continuo frente de abanicos aluviales que se extiende desde la zona Sur de Logroño (conglomerados de Viguera...) hasta el sector de Tarazona (conglomerados de Fitero).

A pesar de que la mayor parte de sedimentos que rellenan la cuenca durante el Mioceno tienen una procedencia pirenaica, para el caso de las evaporitas, los sulfatos tienen una procedencia ibérica, por reciclaje de las evaporitas triásicas en erosión en las Sierras de Cameros y Demanda.

Los Yesos de Monteagudo, Borja y Ribaflecha constituyen el nivel evaporítico más alto de la serie terciaria en el sector navarro-riojano de la cuenca del Ebro. Por encima, la sedimentación fue de materiales detríticos y carbonatados hasta la colmatación de la cuenca en el Mioceno superior.

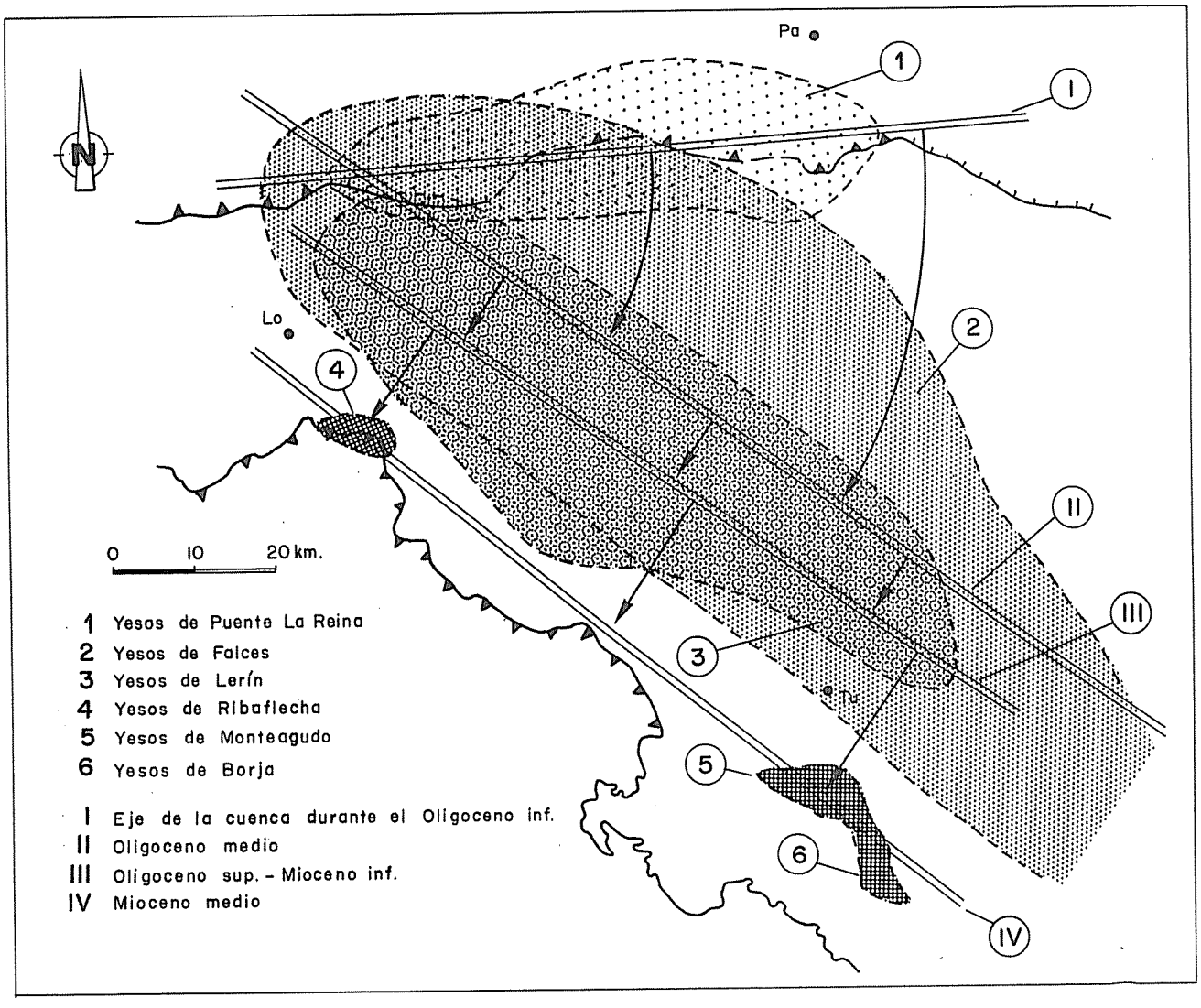


Figura 45.- Esquema que ilustra el desplazamiento del eje de la cuenca hacia el Sur durante la deposición de las diferentes formaciones evaporíticas continentales de la cuenca navarro-riojana. Se parte del supuesto de que el eje de la cuenca es señalado en cada momento por la línea de mayor extensión de las evaporitas.

E) En esta evolución paleogeográfica se pone especialmente de manifiesto el desplazamiento del eje de la cuenca hacia el Sur de forma progresiva a lo largo del Terciario. Si consideramos que las formaciones evaporíticas señalan en cada momento la posición del depocentro de la cuenca, puede representarse a grandes rasgos este desplazamiento sobreponiendo las áreas paleogeográficas ocupadas por las evaporitas y sus ejes de máxima extensión. Con esta idea se ha realizado la figura 45, que de forma esquemática permite ver cómo el eje de la cuenca ha ido derivando hacia el Sur y a la vez ha sufrido un cierto cambio de dirección hacia el Sureste.