

EXCURSION II:

TRIASICO Y Terciario EVAPORITICOS DE LA CUENCA DEL EBRO Y CADENAS PERIFERICAS.

Triásico de Catalanides, Pirineo catalán y zona diapírica Cántabro-Navarra. Terciario de las cuencas del Ebro, Penedès y Calatayud

J.M. Salvany (1)

F. Ortí (1)

J.J. Pueyo (1)

A. Muñoz (2)

L. Rosell (1)

(1) Depto. de Geoquímica, Petrología y Prospección Geológica
Universidad de Barcelona

(2) Depto. de Ciencias de La Tierra
Universidad de Zaragoza

Introducción

Josep M.^a Salvany

La excursión que a continuación se ofrece desea familiarizar a los interesados en el tema de las formaciones evaporíticas con el ejemplo más completo que, a nuestro entender, ofrece la Geología peninsular: el del conjunto integrado por la Cuenca del Ebro y sus cadenas periféricas, es decir, Pirineos, Catalánides y Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica. El hacerlo así se basa también en el hecho de que algunos trabajos (BIRNBAUM y COLEMAN, 1979; UTRILLA, 1989) han mostrado la relación genética existente entre todo este conjunto evaporítico, en particular entre las unidades terciarias continentales de la Cuenca del Ebro, respecto de las triásicas de las cadenas limítrofes. Completando este cuadro de visitas, la excursión hace pequeñas incursiones en otras unidades o dominios con evaporitas: fosa del Penedés, cuenca de Calatayud y zona diapírica cántabro-navarra (fig. 1).

Este largo recorrido muestra, en esencia, formaciones triásicas y terciarias, y en estas últimas se dedica atención tanto a las marinas como a las continentales. Sin embargo, por imperativos de programa y horarios, a algunas de ellas sólo se les puede dedicar una atención simbólica. Incluso otras, no han podido ser incluidas de ningún modo en el itinerario, como es el caso de las formaciones del Paleoceno superior de Tremp-Ager (Lérida), del Cretácico superior de Villarluengo (Maestrazgo), del Mioceno de Calanda, o en general, de los afloramientos triásicos de todo el borde ibérico de la Cuenca del Ebro. Aún así, es evidente que, desde el punto de vista temático, ésta y la Excursión I constituyen un todo indisoluble.

Las observaciones de superficie se complementan con las de subsuelo siempre que ello nos ha sido posible. Así, se incluyen visitas a las minas de sal de Remolinos (activas), de potasas navarras (en Subiza; activas) y de glauberita (las de Alcanadre, inactivas; y las actuales explotaciones a cielo abierto de la zona de Belorado-Cerezo de Río Tirón).

Como precedente de Guía de campo destinada específicamente a las formaciones evaporíticas del área aquí considerada, podemos referir la de ORTÍ *et al.* (1986), aunque está limitada a la zona navarra.

Un posible cronograma para esta excursión sería el siguiente:

Día primero: Catalánides (Triásico y Terciario). Paradas 1 a 5.

Día segundo: Prepirinco y Sector Central Aragónés (Triásico y Terciario). Paradas 6 a 9.

Día tercero: Calatayud y La Ribera de Navarra (Terciario). Paradas 10 a 13.

Día cuarto: Navarra (Terciario). Paradas 14 a 17.

Día quinto: Burgos (Triásico y Terciario). Paradas 18 a 20.

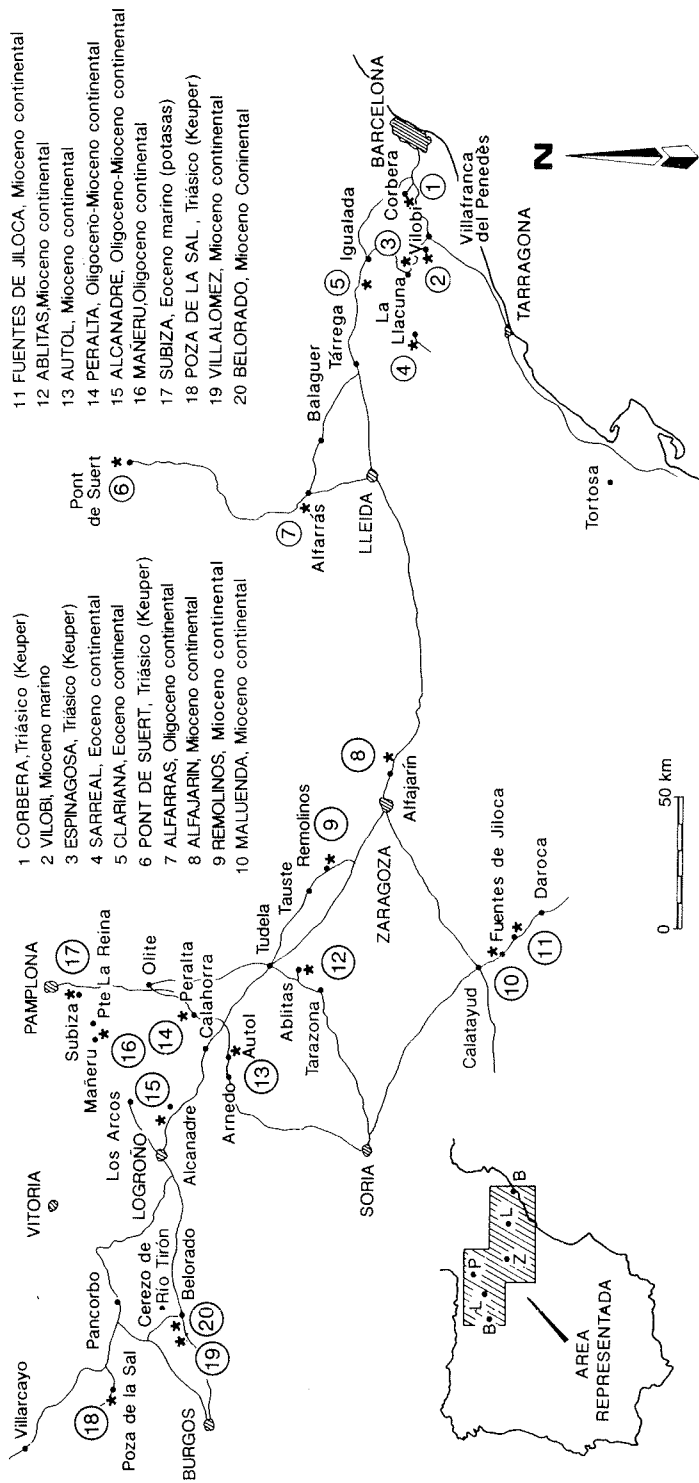


Figura 1: Mapa de situación de las paradas de la Excursión II.

Parada 1: Keuper de Corbera

J.M. Salvany

Referencia: Cantera de Corbera, situada en las afueras del pueblo.

Acceso: Al entrar a Corbera de Dalt por la carretera que viene de Barcelona, descender por una de las calles que bordea el pueblo por el sur hacia Corbera de Baix. Antes de 1 km se accede a una pista (por la derecha) que conduce a la parte alta de la cantera.

Evaporitas: Yeso secundario y anhidrita.

Objetivo: Observar un corte representativo de la serie del Keuper en los Catalánides, con sus tres unidades evaporíticas.

Duración: 30-45 minutos.

Corbera se sitúa en el margen Norte del macizo de Garraf (Cordillera Litoral de los Catalánides). En este sector los materiales triásicos están afectados por una compleja estructura de fallas que han levantado y hundido varios bloques afectando también al basamento paleozoico. Las evaporitas del Keuper afloran en uno de estos bloques hundidos, formando una fosa tectónica alargada, de orientación NE-SO, limitada por los materiales del Paleozoico y Buntsandstein al norte (sobre ellos se asienta Corbera) y del Muschelkalk al Sur (fig. 2).

La cantera ofrece un corte excelente de la serie del Keuper en el que se distinguen bien tres unidades por su color: 1) unidad gris, constituida por capas de yeso y/o anhidrita, separadas por niveles arcillosos. Los sulfatos muestran litofacies laminada (frecuente laminación yeso-carbonato) y ocasionalmente nodular. 2) unidad roja, que constituye un monótono tramo yesífero con litofacies laminada dominante. El contacto entre esta unidad y la inferior es neto. 3) serie lutítica de color gris verdoso con algunos niveles nodulares de yeso y finas capas de carbonatos. Estas unidades equivalen respectivamente a las formaciones Miravet, del Molar y Gallicant que se han citado en la introducción al exponer las evaporitas triásicas de los Catalánides.

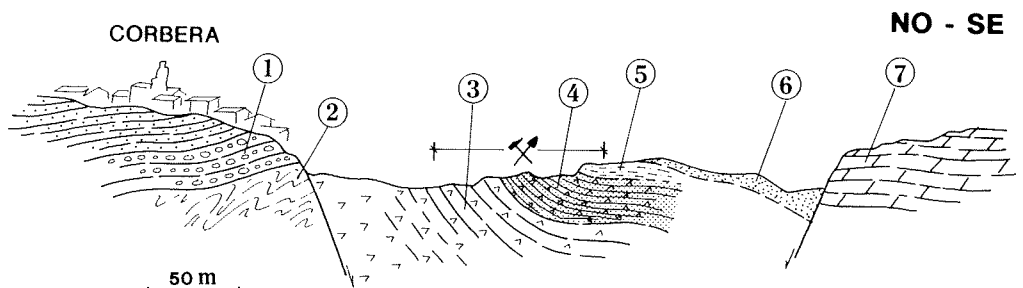


Figura 2: Corte geológico a través de la fosa tectónica de Corbera, donde afloran las evaporitas del Keuper. Leyenda: 1) Buntsandstein; 2) Paleozoico; 3) yesos y arcillas grises de la Fm. Miravet; 4) yesos rojos de la Fm. del Molar; 5) arcillas verdes con carbonatos y yesos de la Fm. Gallicant; 6) Plio-Cuaternario; 7) Muschelkalk (según SALVANY, 1986).

Esta serie evaporítica permite observar las típicas facies laminadas y nodulares del Keuper en los Catalánides. También permite observar, debido al corte freco de la cantera, al sulfato cálcico simultáneamente en forma de anhidrita y yeso secundario, y la transformación de este primer mineral en el segundo. En la unidad roja intermedia destaca un nivel de color blanco, de morfología irregular, que está compuesto principalmente por oolitos de pequeño tamaño cementados por anhidrita.

Parada 2: Yesos de Vilobí (Mioceno)

F. Ortí

Referencia: Cantera Olivella (canteras antiguas de la zona «Les Guixeres de Dalt»).

Acceso: Pista asfaltada que desde Vilobí del Penedés sube a las explotaciones de Vilovigyps, S.A., en el cerro de esta localidad.

Evaporitas: Yeso secundario, y yeso primario.

Objetivo: Observación de una asociación yeso primario-yeso secundario, y discusión sobre su génesis.

Duración: Entre 60 y 90 minutos.

En el Mioceno de la fosa del Penedés se registra puntualmente un depósito evaporítico en el sector de Vilobí (ORTÍ y PUEYO, 1977), consistente en una serie yesífera de unos 50-60 m de potencia, que ha sido ampliamente explotada en canteras (fig. 3).

Esta serie se intercala entre los depósitos arcillosos y margosos de la base del Mioceno atribuibles a ambientes continentales, y se sitúa claramente por debajo de los depósitos carbonatados arrecifales atribuidos (PERMANYER, 1982) al Burdigaliense terminal-Langhiense (fig. 4). La composición isotópica de estos sulfatos (UTRILLA, 1989) indica claramente el origen oceánico de los mismos, por lo que debe asignarse este depósito evaporítico a un cuerpo lacustre (salina) instalado en la zona de transición marino-continental, que fue alimentado fundamentalmente por agua marina. En este sentido, corresponde a un primer momento de la transgresión miocena en la fosa del Penedés.

El conjunto evaporítico aflorante se compone exclusivamente de yeso, al que acompañan cantidades menores de arcilla, sin que se manifieste ninguna ciclicidad bien definida. El yeso es principalmente secundario, aunque los metros más superiores de la serie se preservan como yeso primario, mediante una discontinuidad (horizonte de erosión-disolución) entre ambos cuerpos sulfatados. El ambiente sedimentario pudo corresponder a una salina costera, con desecaciones interminentes. Tras el episodio intraevaporítico erosivo citado, el depósito de techo, constituido por yeso primario, sugiere el inicio de la dilución final del cuerpo evaporítico y el paso a las arcillas rojas (llanura litoral).

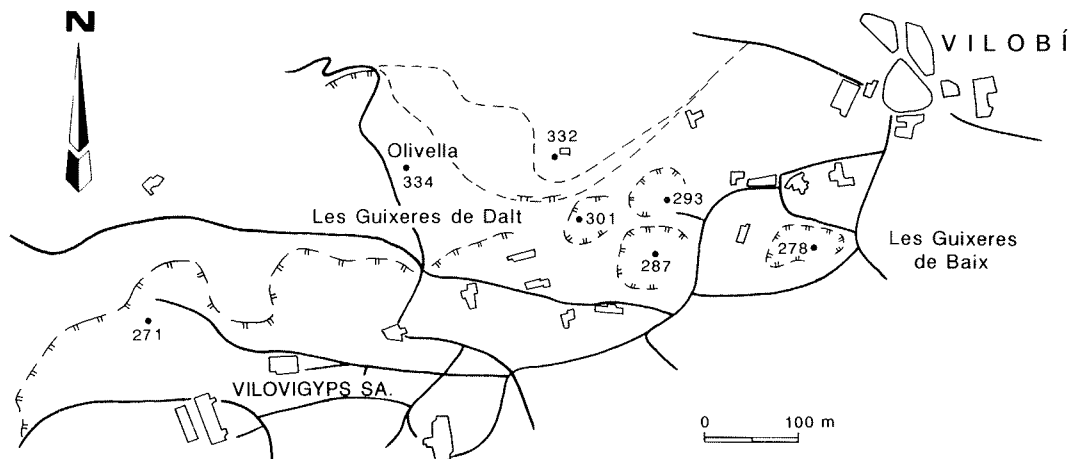


Figura 3: Mapa de situación de las canteras que explotan los Yesos de Vilobí. Las canteras antiguas objeto de visita están indicadas por las cotas topográficas 301, 287 y 293.

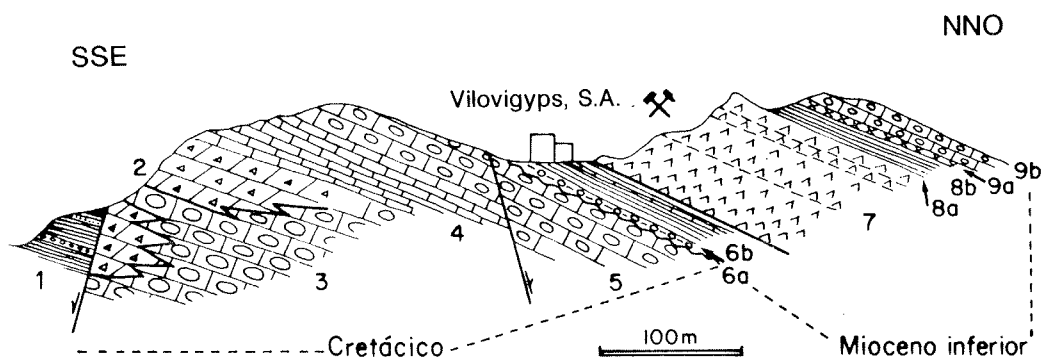
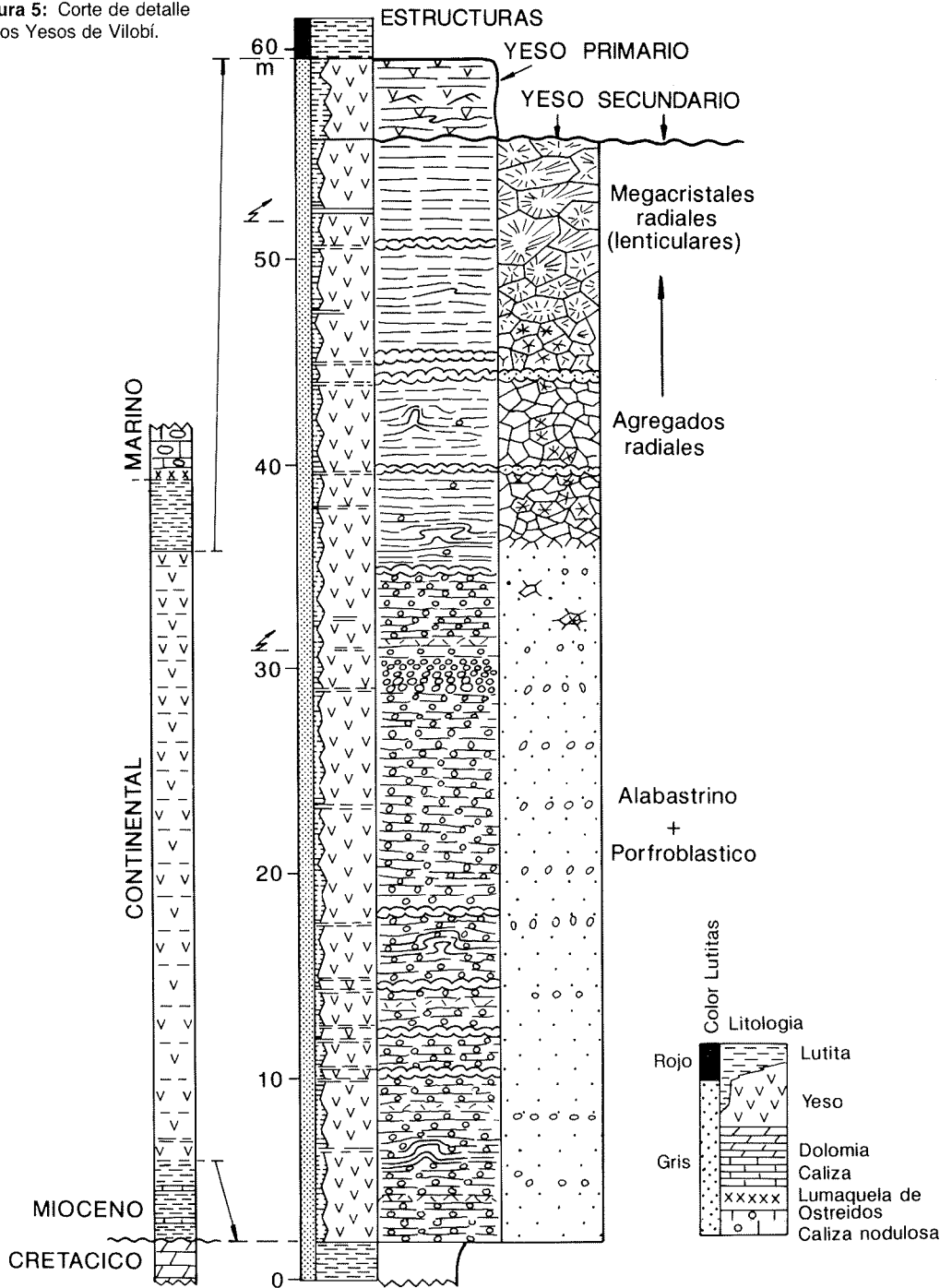


Figura 4: Cantera de los Yesos de Vilobí, en el cerro de esta localidad (modificado de ORTÍ y PUEYO, 1977). Leyenda:

- 1) arenas, microconglomerados y arcillas.
- 2) dolomias rojizas brechoides.
- 3) calizas nodulosas con Orbitolinidos.
- 4) calizas micríticas bioclásticas.
- 5) calizas nodulosas.
- 6a) conglomerados basales.
- 6b) arcillas, margas y calizas.
- 7) formación evaporítica.
- 8a) arcillas rojas.
- 8b) arcillas grises.
- 9a) lumaquela de Ostreoides.
- 9b) biocalcarenita y calizas nodulosas.

Figura 5: Corte de detalle de los Yesos de Vilobí.



Las canteras de yeso antiguas del cerro de Vilobí, que encontramos según subimos a la derecha, son características por su forma de media luna (fig. 3). Son tres las de principal interés para nosotros, y en ellas es posible hacer una observación relativamente completa de la serie evaporítica. Sin embargo, el techo de la misma sólo puede estudiarse con cierta comodidad en una pequeña cantera de la parte alta del cerro, junto a las arcillas suprayacentes (campos de viñas).

La fig. 5 muestra el corte estratigráfico de la serie. Esta es importante para introducirnos en la problemática genética de yeso, al mostrarnos una relación estratiforme entre yesos primarios y secundarios. Obsérvese que por debajo de la discontinuidad situada hacia el techo, todo el yeso es secundario, habiendo pasado previamente por anhidrita. La anhidritización tuvo que ser precoz (sinsedimentaria) y propia de ambiente sabkha/salina costera, pero no de enterramiento, ya que la gipsarenita del techo se mantiene intacta como primaria.

La disposición en vertical de cada variedad petrográfica es difícil de explicar y la falta de otros afloramientos o de material de sondeo dificulta la verificación de cualquier hipótesis al respecto (véase también: ORTÍ, 1977, págs. 2.33-2.39; ORTÍ, 1989, págs. 127-129). Sería lógico suponer la proximidad de un cuerpo de cloruros debido a la intensa anhidritización temprana diagenética.

Parada 3: Keuper de Espinagosa

J.M. Salvany

Referencia: Cantera de Espinagosa.

Acceso: La carretera que va de Vilafranca de Penedès a Igualada, pasando por La Llacuna, permite tomar una pista entre los p.k. 21 y 22 que en 500 metros conduce hasta el interior de la cantera.

Evaporitas: Yeso secundario y anhidrita.

Objetivo: Observar un corte del Keuper en el que se distinguen estructuras sedimentarias de corriente y oscilación preservadas en el yeso secundario.

Duración: 30-45 minutos.

La cantera de Espinagosa (fig. 6) se sitúa en uno de los afloramientos de Keuper del sector del Gaià en la Cordillera Prelitoral de los Catalánides. Este sector está caracterizado por una estructura de plegamiento de dirección paralela a los Catalánides (NE-SO), en la que el Keuper ocupa el núcleo de los sinclinales, formando suaves depresiones, y el Muschelkalk constituye los anticlinales, formando los relieves más abruptos circundantes.

La figura 7 muestra el perfil estratigráfico de detalle de los yesos que afloran en la cantera. La serie, con una potencia de 30 metros, muestra bien diferenciados dos tramos: uno inferior de color gris, que atribuimos al techo de la Fm. Miravet y otro superior de color rojo atribuido a la base de la Fm. del Molar (SALVANY, 1986).

El yeso (y anhidrita) forma capas masivas de litofacies bandeada separadas por intercalaciones arcillosas de menor espesor. El bandeado presenta una estructura ondulada con tonalidades desde blanco hasta gris oscuro, que corresponde a «sets» de laminación cruzada de pequeña escala. El yeso originalmente se formó como un sedimento de grano fino (gipsilita) en el fondo de una laguna de escasa profundidad y fue retrabajado por el oleaje y las corrientes de agua. El enterramiento y anhidritización de este yeso no produjo alteración alguna en su estructura que ahora podemos ver preservada en yeso secundario. Sin embargo, en la anhidrita no llegan a reconocerse estas estructuras debido al carácter masivo y homogéneo del mineral. Las estructuras adquieren su máxima definición en aquellos puntos donde el yeso contiene cantidades apreciables de carbonato (micrita), que favorece el reconocimiento de la laminación dentro de los «sets». En algunos niveles también se presentan algunos niveles bioclásticos, preservados en forma de yeso.



Figura 6: Corte ofrecido por la cantera de Espinagosa sobre los yesos del Keuper. Leyenda: 1) arcillas; 2) yesos arcillosos rojos de la Fm. del Molar; 3) yesos (anhidrita) de la Fm. Miravet; 4) derrubios del frente de la cantera. (Según SALVANY, 1986).

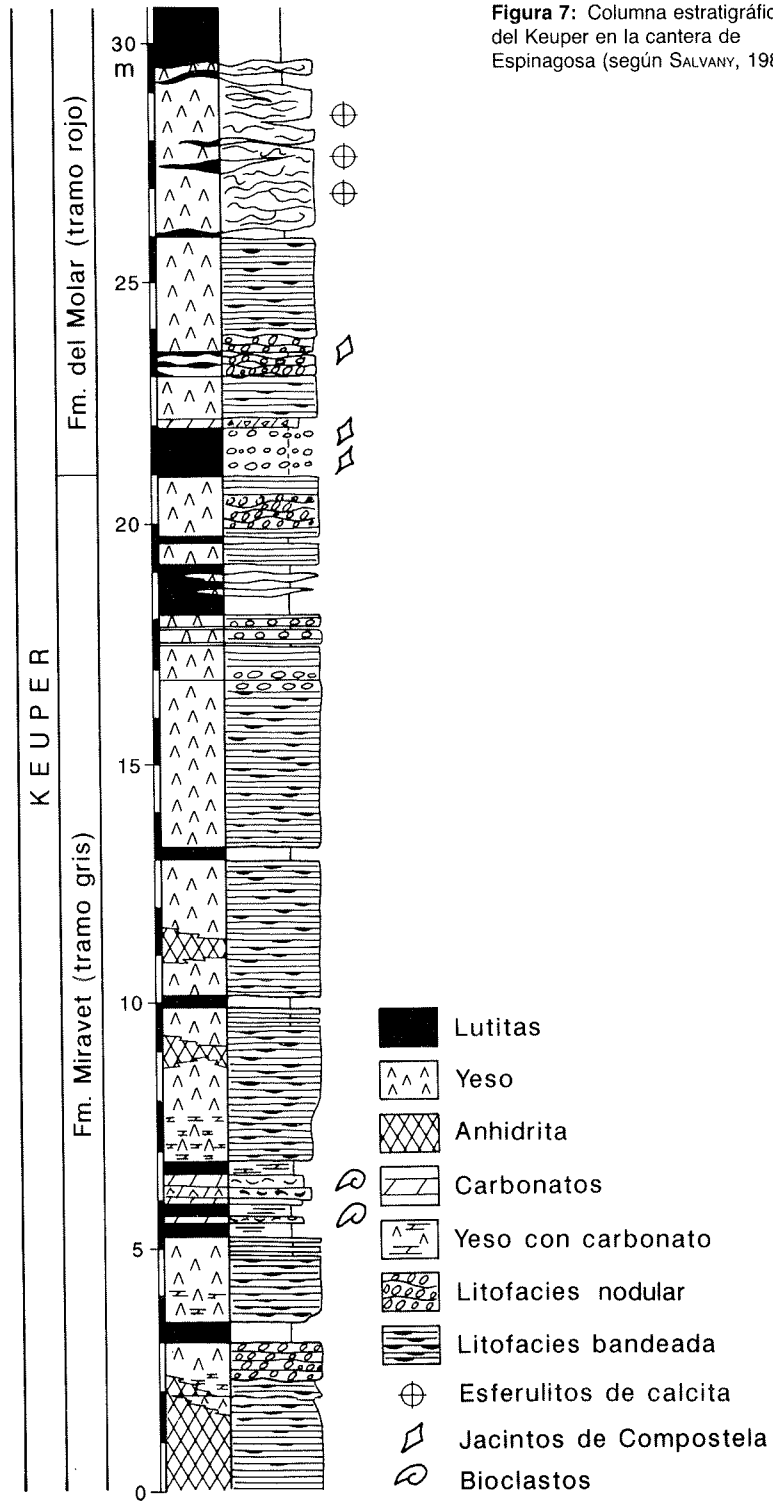


Figura 7: Columna estratigráfica del Keuper en la cantera de Espinagosa (según SALVANY, 1986).

**Parada 4:
Yesos de Sarral (Stampiense, s.l.)**

F. Ortí

Referencia: Canteras de yeso al oeste de Sarral.

Acceso: Camino que se dirige hacia el norte, partiendo de la carretera comarcal 241 de Igualada a Montblanc, entre las localidades de Sarral y Pira, aproximadamente a un kilómetro al w de Sarral.

Evaporitas: Yeso secundario y sílex.

Objetivo: Deformación plástica en una serie de sabkha.

Duración: Entre 30 y 50 minutos.



Figura 8: Esquema de los Yesos de Sarral, en una cantera al oeste de dicha localidad. Se observa la deformación de la serie estratificada de yesos, mediante estructuras alabastrinas nodulares y meganodulares, de trayectoria «ascendente». Estas estructuras se acompañan de arcillas oscuras, así como de capas de yeso enterolítico subverticales.

En este grupo de canteras puede observarse localmente el crecimiento diagenético de los sulfatos nodulares, y su progresiva deformación a modo de pliegues en champiñón con alturas de varios metros, atrapando masas arcillosas en sus núcleos y flancos. Son patentes las estructuras enterolíticas en disposición subvertical (fig. 8).

Las zonas de yeso que no fueron afectadas por nodulización se conservan como masivas y de tonos grises y verdosos, siendo también de yeso secundario. Localmente se desarrollan nódulos de sílex, en cuyo interior puede encontrarse pseudomorfos de cristales lenticulares de yeso.

Parada 5: Yesos de Copons (Priaboniense)

F. Ortí

Referencia: Canteras al NE de Clariana.

Acceso: Pista que desde los p.k. 545 y 544 de la carretera N-2 (Barcelona-Zaragoza) se dirige hacia el S (indicación: Mas Jordà). También se puede entrar por Clariana, localidad a la cual se accede tomando el desvío desde la carretera C-241 de Igualada a Montblanc por Santa Coloma de Queralt.

Evaporitas: Yeso secundario.

Objetivo: Observación de un sistema lacustre central de la Depresión catalana, en facies laminado-nodulares, en un punto de la misma muy desplazado hacia el margen catalánide.

Duración: Entre 45 y 60 minutos.

Es incierta la continuidad en el subsuelo entre esta unidad y el cuerpo principal de los Yesos de Barbastro. Aún así, presenta características propias de sulfatos de cuerpo central: alternancia de facies laminado-nodulares, improntas de cristales de sal, pequeños pseudomorfos de cristales selenitas subverticales, ausencia de sílex, composición isotópica de los sulfatos, etc. La serie yesífera intercala niveles arcillosos y carbonatados. El afloramiento de esta unidad se muestra en la fig. 7 de la Excursión I.

Parada 6: Keuper de Pont de Suert

J.M. Salvany

Referencia: Alrededores de la localidad de Pont de Suert.

Acceso: Por la carretera nacional N-230 de Lérida a Viella.

Evaporitas: Yeso secundario.

Objetivo: Observar en diferentes puntos las unidades y facies del Keuper de este sector de los Pirineos.

Duración: 3-4 horas.

La figura 9 muestra la distribución cartográfica de los materiales de la Fm. Pont de Suert (Keuper y Muschelkalk) en los alrededores de esta localidad. En este sector los materiales del Keuper forman una ventana tectónica entre las unidades alóctonas mesozoicas y muestran una clara estructura en sinclinatorio, de gran radio de curvatura y dirección NO-SE. En el flanco septentrional del sinclinatorio afloran el Muschelkalk y las unidades basales del Keuper, formando una serie muy verticalizada o incluso invertida, con varias repeticiones. El flanco meridional muestra una estructura más simple, en la que el Keuper forma una suave serie monoclinial más erosionada y cubierta por la vegetación. El núcleo del sinclinatorio se sitúa en el mismo Pont de Suert, donde afloran las unidades más altas y a la vez más evaporíticas del Keuper.

Tal como se ha descrito en la Parte I, el Keuper consta de cinco unidades litoestratigráficas que son, respectivamente de base a techo: 1) Unidad lutítico-carbonatada inferior, 2) Unidad de lutitas rojas, 3) Unidad de lutitas yesíferas versicolores, 4) Unidad de yesos blancos laminados, y 5) Unidad lutítico-carbonatada superior. Los puntos donde mejor pueden observarse estas unidades son los siguientes:

6a: La unidad lutítico-carbonatada inferior aflora en su totalidad y con sus características típicas en el camino de acceso a un chatarrero situado entre los p.ks. 127 y 128 de la carretera de Pont de Suert a Viella (unos 100 m después del cruce con la carretera que conduce a Caldes de Bohí). En el camino las capas de lutitas y carbonatos afloran verticales, formando una serie continua de 85 metros de potencia, en tránsito gradual sobre el Muschelkalk. Los carbonatos son principalmente dolomicitas, más o menos margosas, que se hallan bien repartidas en la toda la serie, así como brechas dolomíticas, cuyo desarrollo aumenta progresivamente hacia techo de la serie. También se distinguen algunos niveles bioclásticos, constituidos por oolitos y restos de gasterópodos o bivalvos. Las lutitas son grises, con algunos horizontes rojizos.

Otros puntos donde también se observan bien estas facies son: sobre el túnel de la carretera de Pont de Suert al puerto de Perbes, a los pocos kilómetros de salir de esta primera localidad, así como en la vertiente norte del barranco de la Font-bella y en el margen meridional del valle del río Tor en sus últimos kilómetros antes de desembocar en el Noguera Ribagorzana. Estos dos últimos afloramientos constituyen cartográficamente una misma unidad en el flanco norte del sinclinatorio, donde la serie lutítico-carbonatada, junto con el Muschelkalk muestra diversas repeticiones por causas tectónicas.

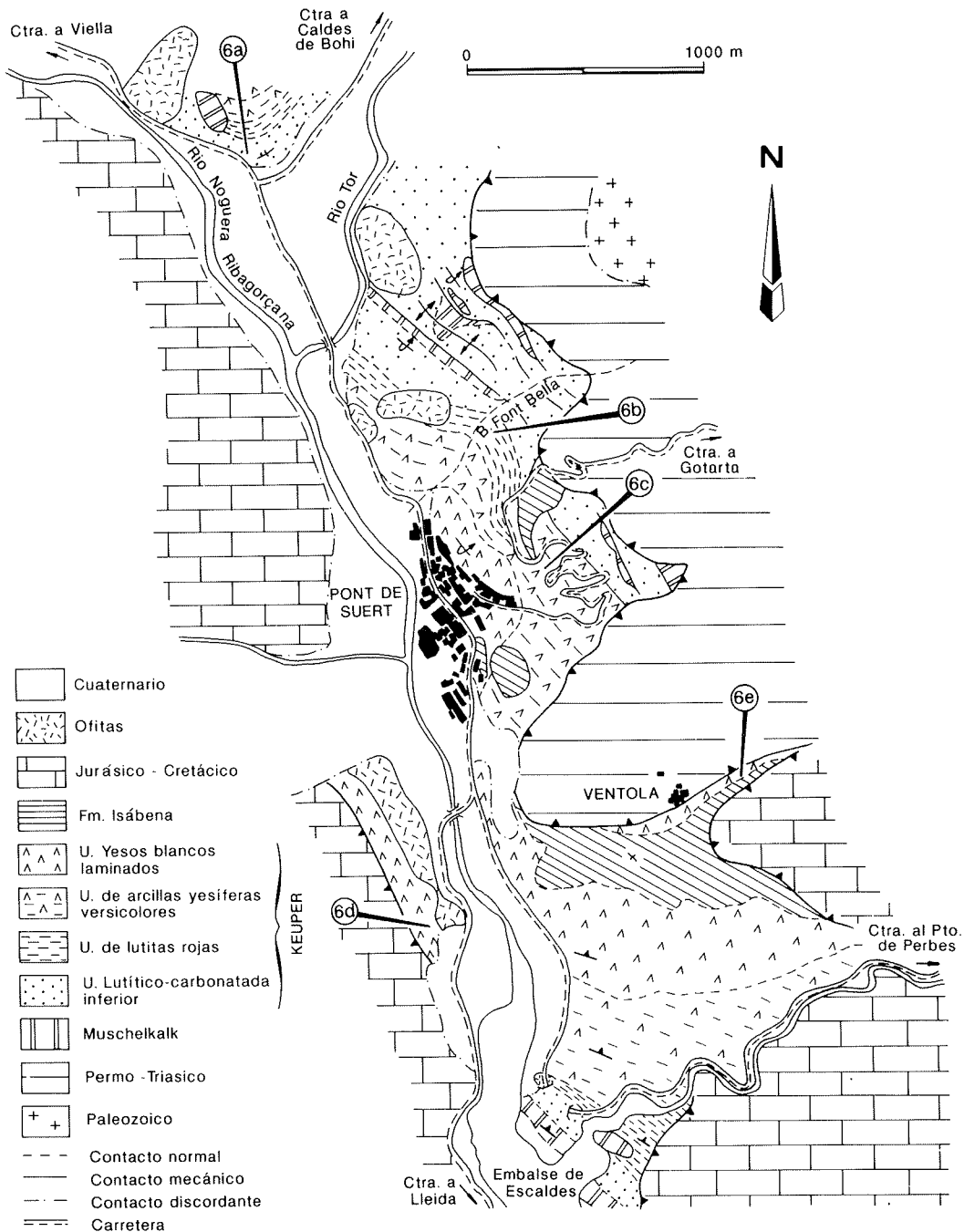


Figura 9: Mapa geológico del Keuper en los alrededores de Pont de Suert, con indicación de los puntos más favorables para observar sus diferentes unidades.

6b: La unidad de lutitas rojas está poco desarrollada en Pont de Suert, siendo su mejor afloramiento el barranco de la Font-bella. En este barranco, las lutitas tienen una potencia de 10-12 metros y se sitúan por encima gradualmente de la unidad antes descrita.

6c: La carretera que sube de Pont de Suert a Gotarta corta en sus primeros kilómetros las lutitas yesíferas versicolores, que se encuentran bastante deformadas por la tectónica. Las arcillas son de colores rojizos, grises, verdes o amarillentas y los yesos forman capas de tamaño decimétrico o métrico con litofacies laminada o nodular. En este corte puede estimarse un espesor del orden de 30-50 metros para la unidad.

6d: Los yesos blancos laminados constituyen la base del relieve montañoso que se levanta al noreste de la localidad de Pont de Suert. En este punto los yesos forman una serie invertida en continuidad con las lutitas yesíferas versicolores que se han visto en el punto anterior, y pueden ser observados con detalle en una pequeña cantera abandonada situada a las afueras del pueblo. Sin embargo, debido a las malas condiciones de acceso a la cantera, recomendamos observar los yesos en el p.k. 124 de la carretera nacional, poco antes de llegar a Pont de Suert viniendo de Lérida. En este punto, la carretera corta una importante masa ofítica sobre la cual afloran los yesos formando un tramo masivo de unos 50 metros de espesor que puede seguirse hasta un kilómetro hacia el noroeste por la ladera de la montaña. Una pista que rodea a la ofita por el sur permite acceder fácilmente a los yesos.

6e: El único lugar donde aflora la unidad lutítico carbonatada superior y el tránsito a la Fm. Isábena, es en Ventolà. En esta localidad la unidad aflora entera con una potencia de 11 metros y sus características típicas: arcillas grises y verdosas con capas dolomíticas y brechas dolomíticas, así como algunos niveles oolíticos.

Parada 7: Yesos de Barbastro (Alfarràs, Priaboniense)

J.M. Salvany

Referencia: Canteras de Alfarràs.

Acceso: La carretera que parte de Alfarràs hacia Benabarre (N-230) permite tomar, entre los p.k. 27 y 28, una pista que conduce en 300 metros hasta el interior de la cantera.

Evaporitas: Yeso secundario.

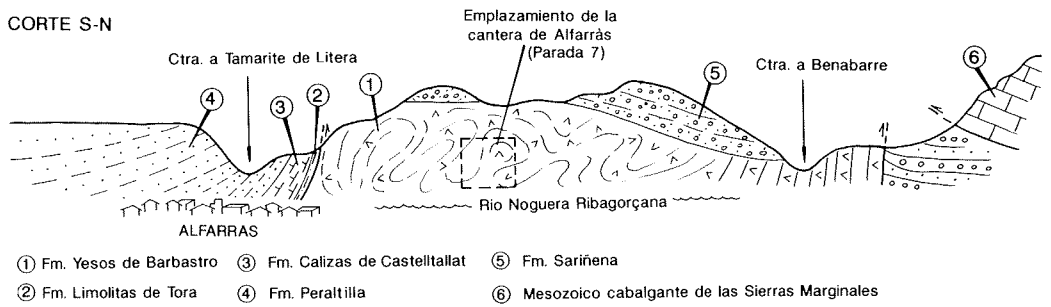
Objetivo: Observar los Yesos de Barbastro en el núcleo de un anticlinal muy deformados por diapirismo.

Duración: 30 minutos.

El río Noguera Ribagorzana a su paso por Alfarràs ha excavado un corte completo transversal al anticlinal de Barbastro (fig. 10A). En el núcleo del pliegue afloran los Yesos de Barbastro y en los flancos las formaciones que estratigráficamente su-

A

CORTE S-N



B

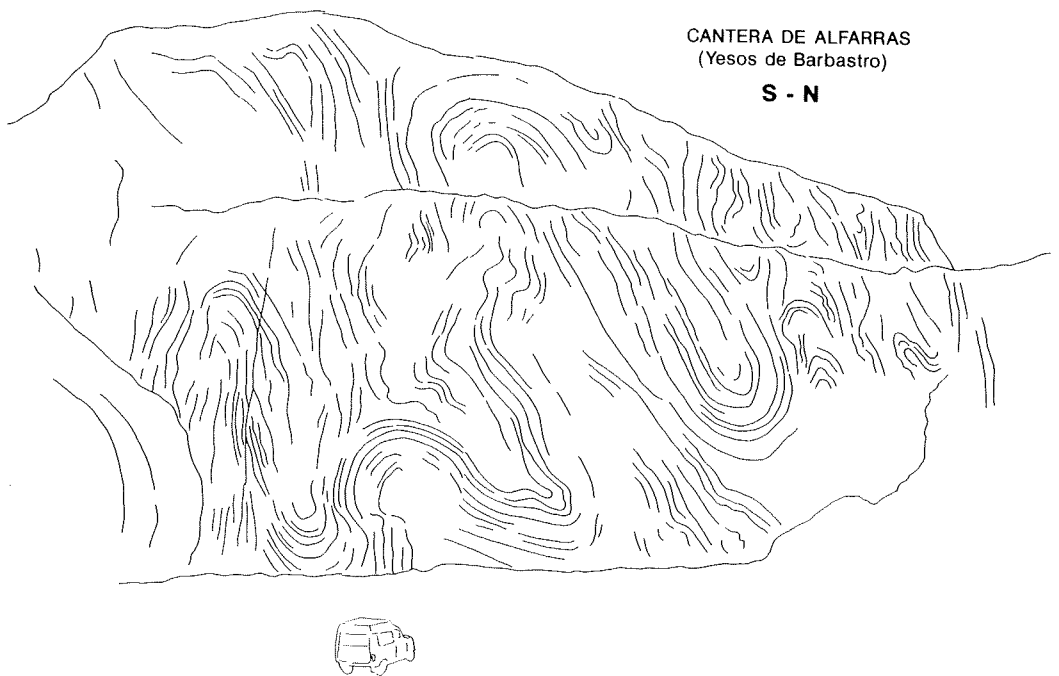


Figura 10: A) Corte general de la estructura anticlinal diapírica de los Yesos de Barbastro, en las canteras de Alfarràs. B) Detalle del núcleo diapírico (ver recuadro en la fig. A).

ceden a esta unidad (Fms. Torá, Castelltallat y Solsona). Coronando el anticlinal, y de forma discordante sobre los otros materiales, se presentan los conglomerados de la Fm. Sariñena.

El frente de cantera (fig. 10B) muestra una compleja estructura de deformación de los yesos. A pesar de su aspecto caótico, en los yesos se reconocen bien sus litofacies características:

a) Yeso laminado (litofacies dominante), formando capas masivas de espesor métrico. La presencia de carbonato en algunos niveles permite reconocer pseudomorfos de cristales primarios de yeso de tamaño milimétrico.

b) Yeso nodular (de forma subordinada), en forma de nódulos de color blanco intenso y de 5 a 10 cms. de tamaño. Estos nódulos pueden estar formando niveles individuales o bien estar intercalados entre las facies laminadas.

Parada 8: Yesos de Zaragoza (Mioceno)

F. Ortí

Referencia: Cortados de Alfajarín, en el Casino.

Acceso: Entrada, por la carretera N-2 (Barcelona-Zaragoza), a la pista asfaltada que sube al casino, cerca del pueblo de Alfajarín.

Evaporitas: Yeso secundario.

Objetivo: Observación del núcleo sulfatado de la Fm. Yesos de Zaragoza.

Duración: Entre 45 y 60 minutos.

La escasez y mínima potencia de niveles arcillosos grises y verdes confiere a este sector de los Yesos de Zaragoza (Aragoniense) un aspecto masivo, aunque finamente bandeado y estratificado en detalle. En él no pueden distinguirse ciclos, sino un sólo paquete de yesos, con potencia próxima al centenar de metros (fig. 11).

Alternan las facies laminadas y nodulares, típicas de sistema lacustre central, con gran monotonía, aunque se localizan fácilmente diversos horizontes pseudomórficos de cristales centimétricos lenticulares aislados o formando rosas del desierto. Ausencia casi total de carbonato, y de evidencias de sal.

Obsérvese el rápido retroceso de los cortados, con paredes bastante verticales, en las que ha quedado colgada la red hidrográfica.

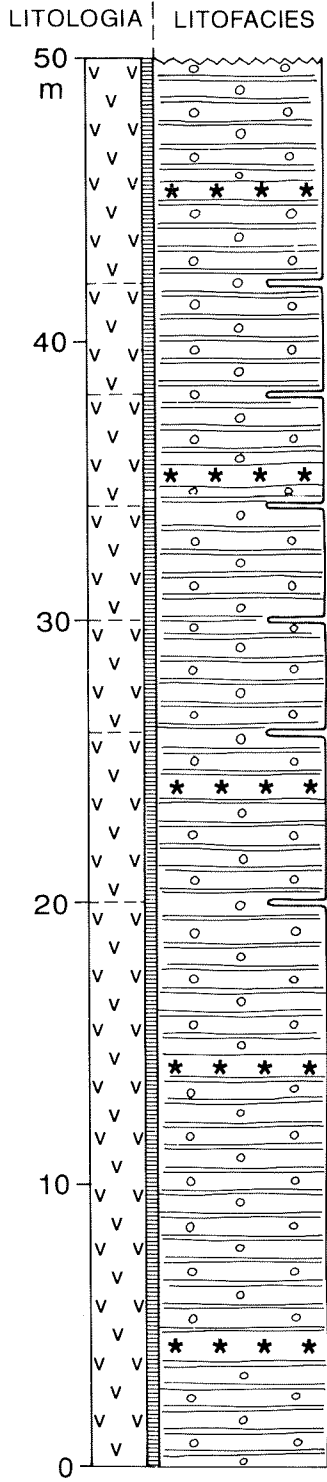


Figura 11: Columna estratigráfica parcial de la Fm. Zaragoza, cerca de Alfajarín (pista de acceso al Casino).

Parada 9: Sal de Remolinos (Mioceno)

F. Ortí y J.J. Pueyo

Referencia: Localidad de Remolinos, y minas de sal de las proximidades.

Acceso: Entrada, por Remolinos, hacia la Mina Real, siguiendo el barranco que se dirige hacia el N. Alternativamente, puede visitarse alguna otra mina activa, o algunas de las abandonadas. A estas últimas puede accederse, por ejemplo, desde los p.k. 48 y 47 de la carretera N-126 entre Alagón y Tauste (salida de autopista: Alagón-Tauste).

Evaporitas: Sal y anhidrita.

Objetivo: Estudio, en mina, de la sal de la Fm. Zaragoza (Aragoniense) y observación de un corte general de la serie en esta localidad.

Duración: Entre 90 y 120 minutos.

Además de la Mina Real de Remolinos, de gran antigüedad, la Mina M.^a del Carmen explota también la sal en los alrededores de esta población (en la actualidad ambas minas constituyen la sociedad IBERICA DE SALES). La estratigrafía y litofacies observable en todas ellas es similar (fig. 12), con capas de centímetros o pocos decímetros de potencia, con una sal bastante pura, rica en facies primarias de cristales tolva y piramidales sobrecrecidos (en *chevron*).

En el área de Remolinos, la Fm. Zaragoza se caracteriza ya por una ciclicidad yeso-lutita roja, que no existía en Alfajarín. La fig. 13 muestra, en síntesis, la serie entre el pueblo y la cabecera del barranco de la Mina Real.

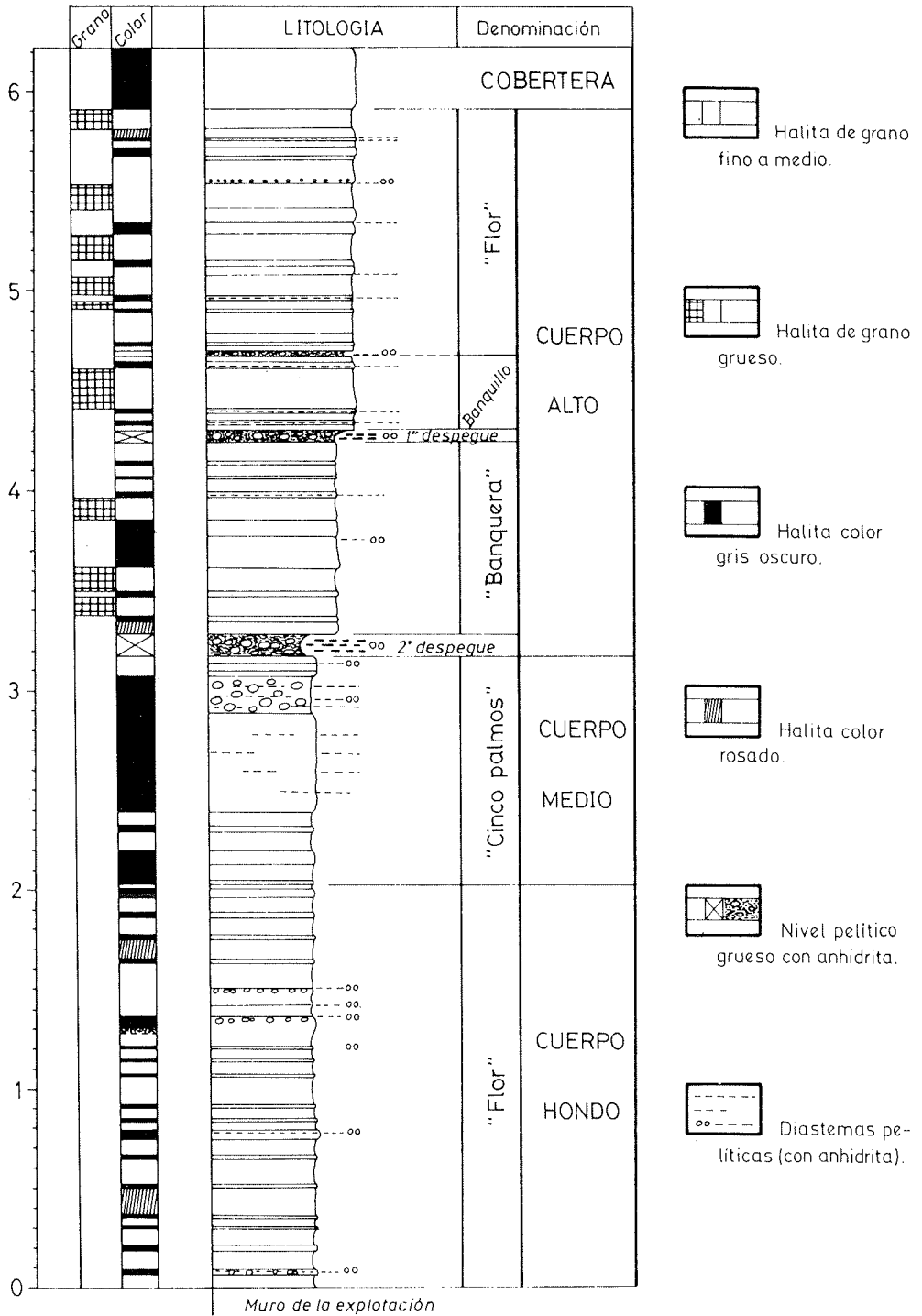


Figura 12: Detalle del frente de explotación de la sal de Remolinos (según ORTI y PUEYO, 1977, fig. 7) en la Mina Real.

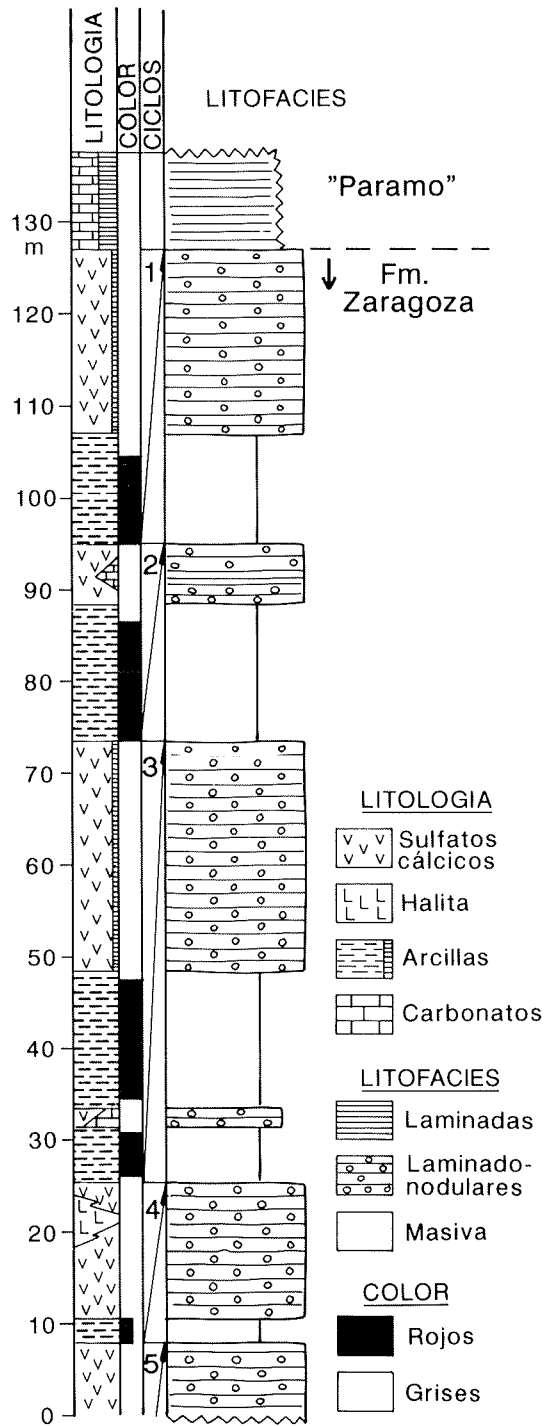


Figura 13: Columna estratigráfica general de la Fm. Zaragoza en el área de Remolinos.

Parada 10: Yesos de Calatayud (Maluenda, Mioceno)

F. Ortí

Referencia: Canteras de Maluenda.

Acceso: Por el cementerio de esta localidad, cerca del p.k. 247.6 de la carretera N-234 (entre Calatayud y Daroca).

Evaporitas: Yeso secundario.

Objetivo: Observación de los Yesos de Calatayud (Aragoniense), típicos de sistema lacustre central.

Duración: 30 minutos.

La alternancia de facies laminado-nodulares (L-N), muy similares a las observadas en Alfajarín o Remolinos para los Yesos de Zaragoza, domina la secuencia aflorante en Maluenda. La potencia de esta unidad está próxima al centenar de metros de los cuales unos 25 pueden estudiarse en la cantera.

La estratigrafía de los Yesos de Calatayud, en un corte transversal a la cuenca desde esta misma localidad hasta Villafeliche, se muestra en la figura 14.

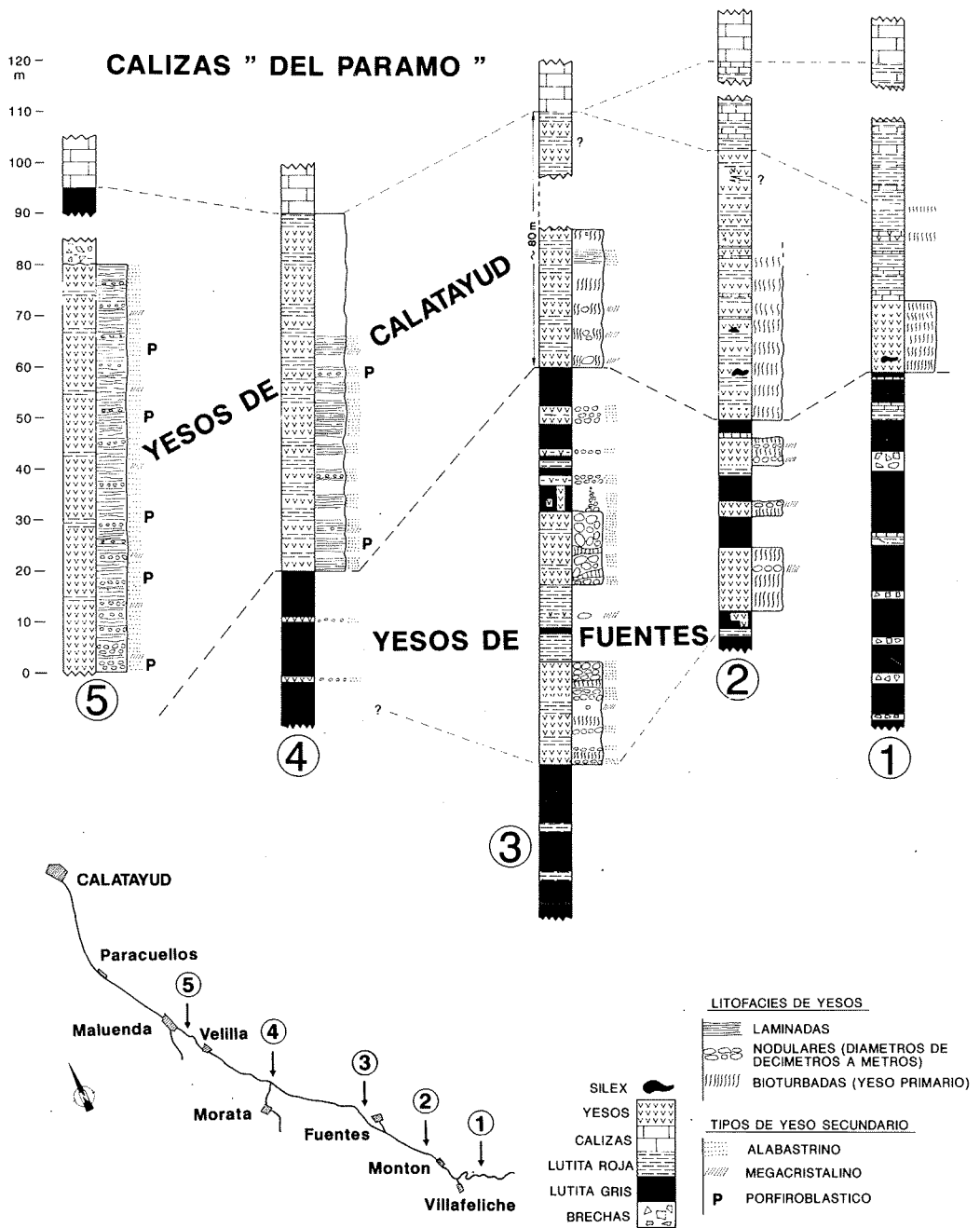


Figura 14: Correlación estratigráfica entre los Yesos de Fuentes y los Yesos de Calatayud, entre Villafeliche y Maluenda (según Ortí, 1987, fig. 15).

Parada 11: Yesos de Fuentes (Mioceno)

F. Ortí

Referencia: Canteras de Fuentes de Jiloca (yesera de El Pilar).

Acceso: Cerca de Fuentes, el p.k. 242 de la carretera N-234 (entre Calatayud y Daroca).

Evaporitas: Yeso primario y yeso secundario.

Objetivo: Estudio de la interacción entre lago marginal sulfatado y sabkha con meganódulos.

Duración: 60 minutos.

La unidad de Yesos de Fuentes se caracteriza por alternancias de arcillas rojas y paquetes de yesos, y da paso a los Yesos de Calatayud en vertical y en lateral (hacia el norte) (fig. 14).

Horizontes de meganódulos de hasta varios metros de diámetro de yeso secundario alabastrino y megacrystalino, de gran interés económico y ya sea aislados o en enormes masas interpenetradas, se encajan entre las lutitas rojas y reemplazan a los yesos primarios de facies microlenticulares bioturbadas. También se presentan columnas verticales de estos meganódulos.

En este punto son muy escasos los nódulos de sílex, pero éstos se presentan mejor desarrollados en el borde de la unidad, en las canteras de Villafeliche (véase también la cartografía de COLLANTES y GRIFFO, 1984 y las indicaciones de ORTÍ, 1987, págs. 78 a 81).

Parada 12: Yesos de Monteagudo (Ablitas, Mioceno)

J.M. Salvany

Referencia: Cantera de Ablitas.

Acceso: Al sur de Ablitas se encuentra un extenso frente de cantera al que se llega mediante una corta pista que asciende desde las afueras del pueblo.

Evaporitas: Yeso primario, yeso secundario y carbonatos, con nódulos de sílex.

Objetivo: Observar las facies de yeso primario bioturbado y su relación con el yeso secundario (meganódulos) y el sílex.

Duración: 30-45 minutos.

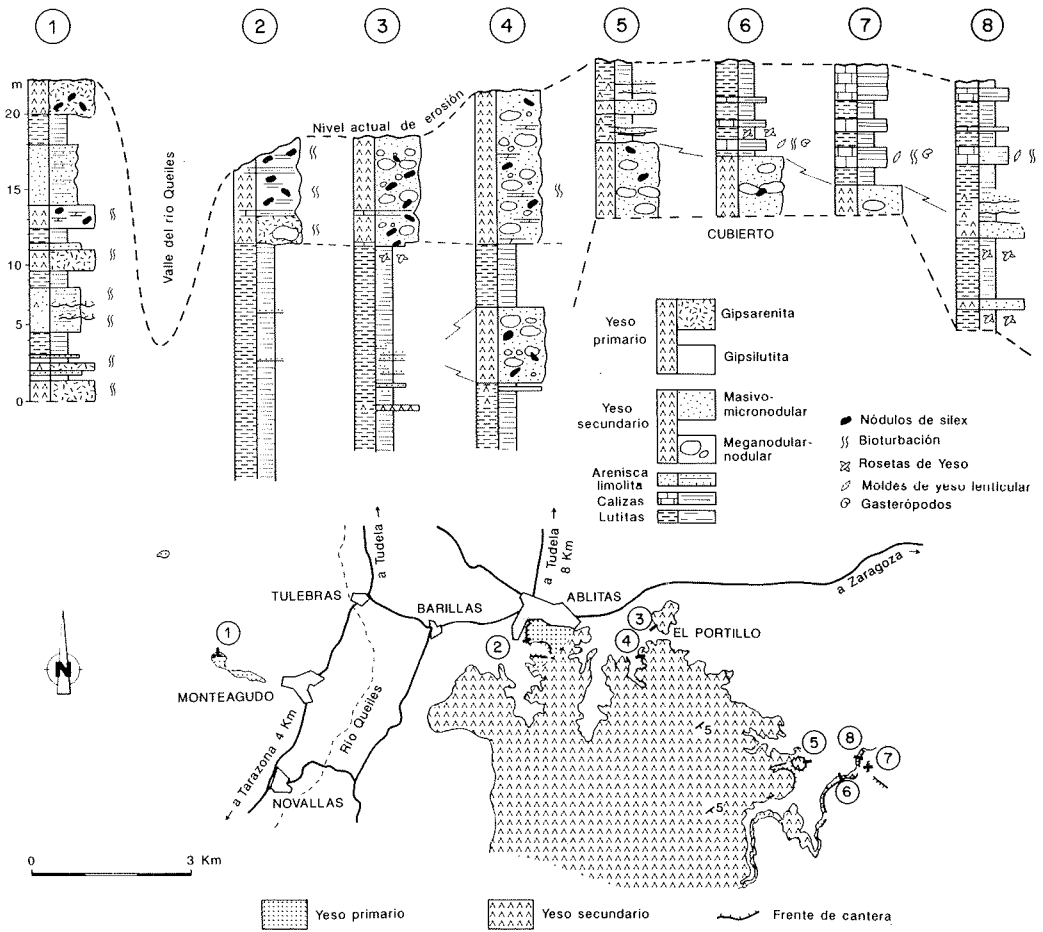


Figura 15: Correlación estratigráfica entre diferentes secciones de los Yesos de Monteagudo, entre dicha localidad y Ablitas.

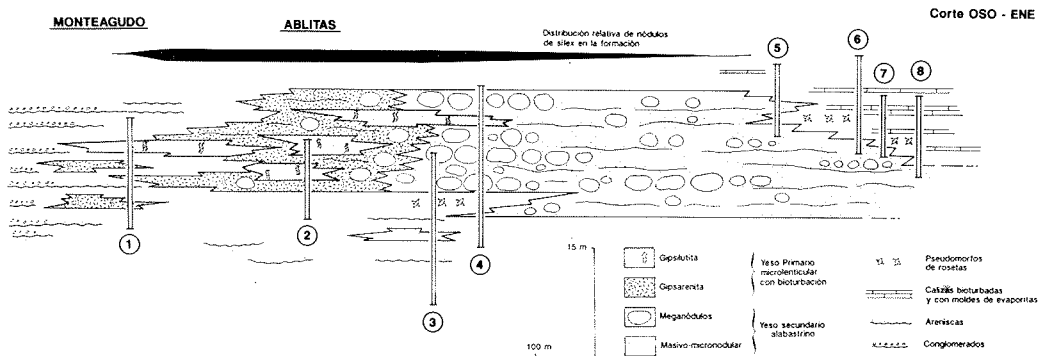


Figura 16: Esquema de distribución de facies yesíferas en la Fm. Monteagudo a partir de la correlación de los perfiles estratigráficos que se señalan y se detallan en la figura anterior (según SALVANY, 1989).

El corte de la cantera corresponde al extremo noroeste del área de afloramiento de los Yesos de Monteagudo. Se observan varias capas de yeso primario con dos litofacies: 1) yeso masivo de grano fino (gipsilitita) de color marrón oscuro con frecuentes inclusiones de carbonato y bioturbación; 2) yeso masivo de grano más grueso (gipsarenita), de color verdoso o rojizo, con poco carbonato y también con abundante bioturbación. Entre ambos tipos de yeso se emplazan grandes nódulos (meganódulos) de yeso secundario (yeso alabastrino o megacrystalino) así como nódulos de sílex (figs. 15 y 16).

Originalmente se depositó el yeso primario, como sedimento en el fondo de una laguna evaporítica o bien de forma intersticial entre las lutitas que rodea el lago. En ambos casos el yeso fue intensamente bioturbado por los organismos que colonizaron el medio lacustre. Los nódulos de sílex y meganódulos de yeso secundario tienen un origen diagenético. En el primer caso la sílice reemplaza al yeso primario de forma sinsedimentaria. Los meganódulos de yeso se formaron como anhidrita en los estadios iniciales de enterramiento del depósito evaporítico, reemplazando al yeso primario y englobando a los nódulos de sílex previamente formados.

Una exposición más amplia sobre las características de estos materiales ha sido expuesta en la Parte IA (ver en MUÑOZ y SALVANY, presente volumen).

Parada 13: Yesos de Autol (Fm. Lerín, Mioceno)

J.M. Salvany y A. Muñoz

Referencia: Canteras situadas 1 km al este de Autol.

Acceso: La carretera comarcal C-115, que parte de Autol hacia Aldeanueva de Ebro, pasa en el p.k. 12,5 por la parte alta de las canteras, que se sitúan a unos 100 metros al norte de la misma.

Evaporitas: Yeso secundario con sílex.

Objetivo: Observar un corte parecido en origen al que se ha visto en Ablitas (Parada 12) con la particularidad de que todo el yeso primario ha sido anhidritizado y posteriormente transformado a yeso secundario.

Duración: 30-45 minutos.

Los Yesos de Autol corresponden estratigráficamente al nivel de Yesos de Los Arcos de la Fm. Lerín, tratándose de sus facies marginales en el borde meridional de la cuenca (figs. 17 y 18). Las características petrológicas y sedimentológicas de estos yesos son, en líneas generales, similares a las de los Yesos de Monteagudo, que se han visitado en la anterior parada (Ablitas).

En el frente de cantera se observan meganódulos de yeso secundario alabastrino así como nódulos de sílex. Sin embargo, en este caso el yeso encajante no es yeso primario microlenticular, sino que se trata de yeso secundario masivo-micronodular.

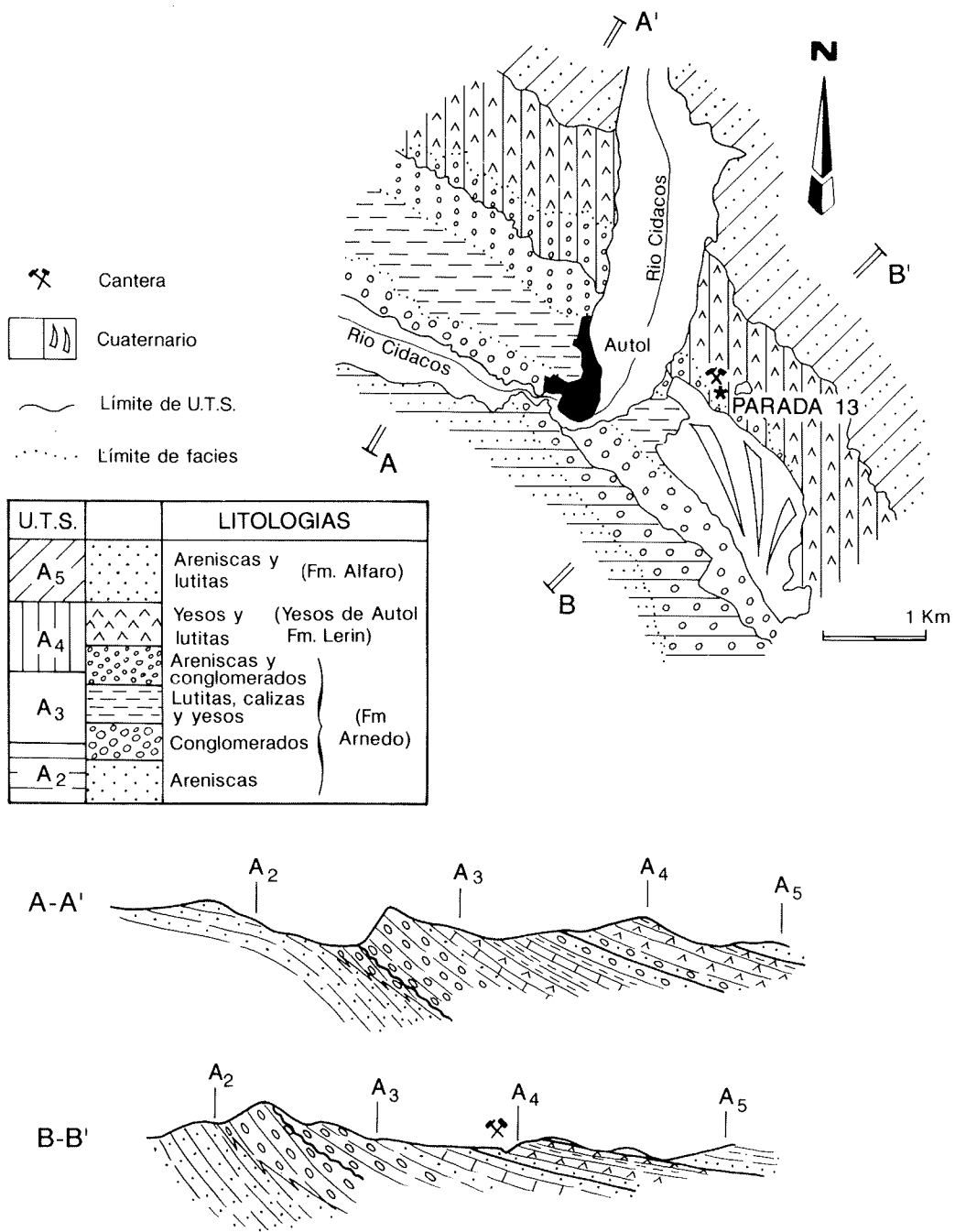
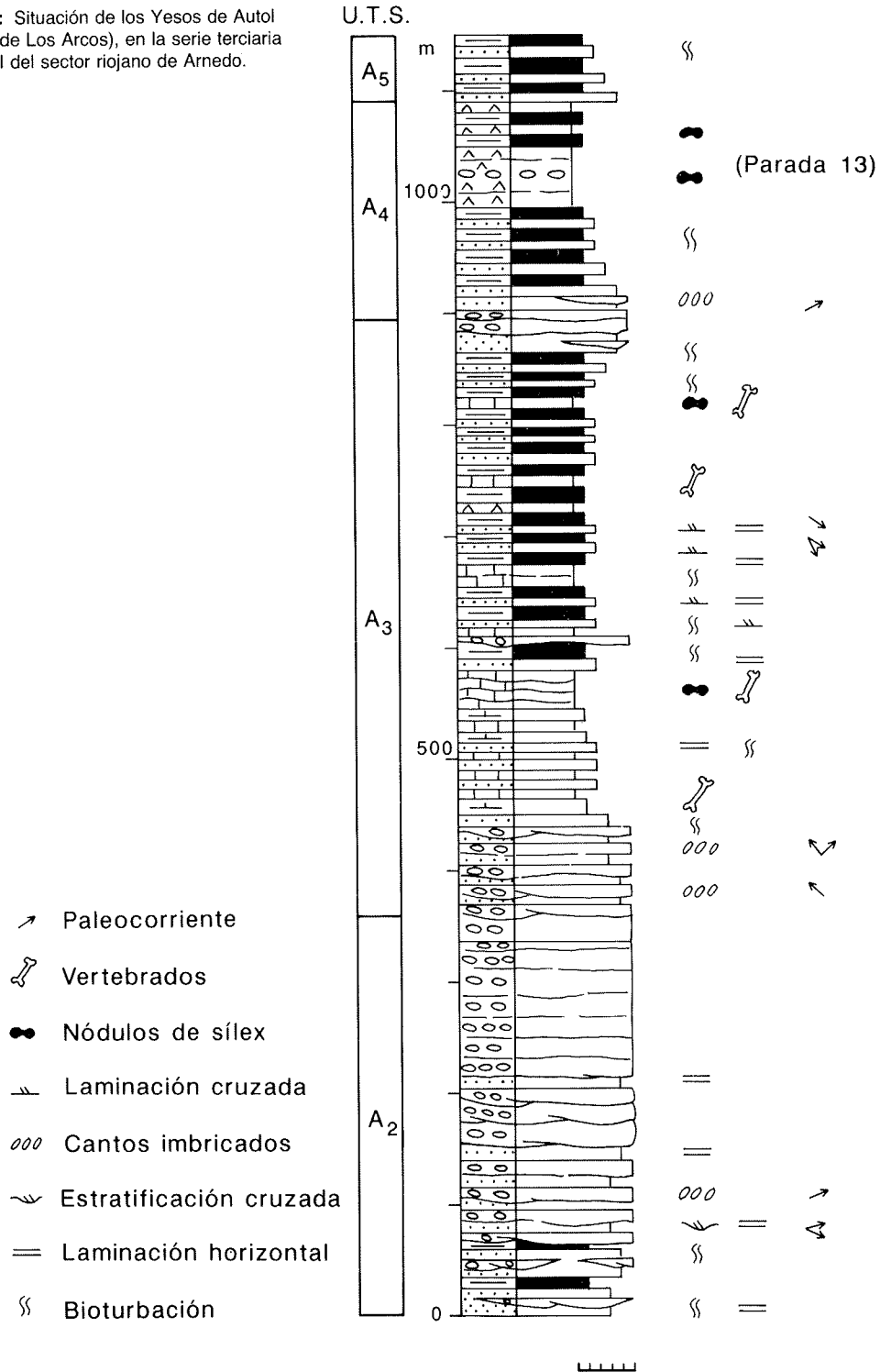


Figura 17: Localización geológica y estratigráfica de la unidad Yesos de Autol.

Figura 18: Situación de los Yesos de Autol (= Yesos de Los Arcos), en la serie terciaria continental del sector riojano de Arnedo.



El estudio petrográfico de los nódulos de sílex permite reconocer frecuentes pseudomorfos de microlenticulas de yeso, que revelan la textura original del yeso. Esta textura ha sido totalmente transformada al haberse anhidritizado el yeso de forma diagenética temprana. La anhidritización produjo el cambio de una textura masiva-microlenticular a otra de tipo masivo-micronodular, que actualmente vemos en forma de yeso secundario. En ningún punto se ha preservado el yeso primario como sí ocurre en Ablitas.

Parada 14: Yesos de Lerín (Peralta, Oligoceno-Mioceno)

J.M. Salvany

Referencia: Corte excavado por el río Arga sobre los Yesos de Lerín a su paso por Peralta.

Acceso: Al salir del pueblo de Peralta por la carretera que conduce a Tafalla (N-115), justo antes de pasar el puente que cruza el río Arga tomar una pista que desciende por la izquierda hasta el mismo corte.

Evaporitas: Yeso secundario.

Objetivo: Observar un corte completo de los Yesos de Lerín y su estratigrafía en ciclos de diferente jerarquía, así como las litofacies más características de esta unidad.

Duración: 60 minutos.

El corte se sitúa en la intersección del anticlinal de Falces (flanco sur) con el río Arga. En él se muestra la serie completa de la Fm. Lerín, que en este punto de la cuenca muestra una potencia de 500 metros.

Se observa una serie alternante de yesos y arcillas en la que se han distinguido cuatro unidades (SALVANY, 1989): 1) Arcillas y Yesos de Peralta, 2) Yesos de Sesma, 3) Arcillas de Villafranca y 4) Yesos de Los Arcos. Los yesos, siempre de tipo secundario alabastrino, presentan principalmente litofacies nodular, especialmente en aquellos tramos donde las arcillas son más abundantes, aunque también pueden ser de litofacies laminada. Las capas de yeso están separadas por niveles o tramos arcillosos y a su vez muestran cantidades destacables de matriz arcillosa o carbonatada (dolomicrita). Las arcillas son del tipo clorita-illita, con caolinita de forma ocasional, y entre ellas se reconocen frecuentes niveles limolíticos y más raramente de arenisca. El estudio estratigráfico detallado de este corte permite reconocer tres tipos de secuencias en la formación (fig. 19):

1) La tendencia general de la formación, desde la base hacia el techo, es de un progresivo mayor desarrollo de los cuerpos evaporíticos. Esta tendencia culmina con los Yesos de Los Arcos, que constituye el tramo evaporítico más potente de la serie.

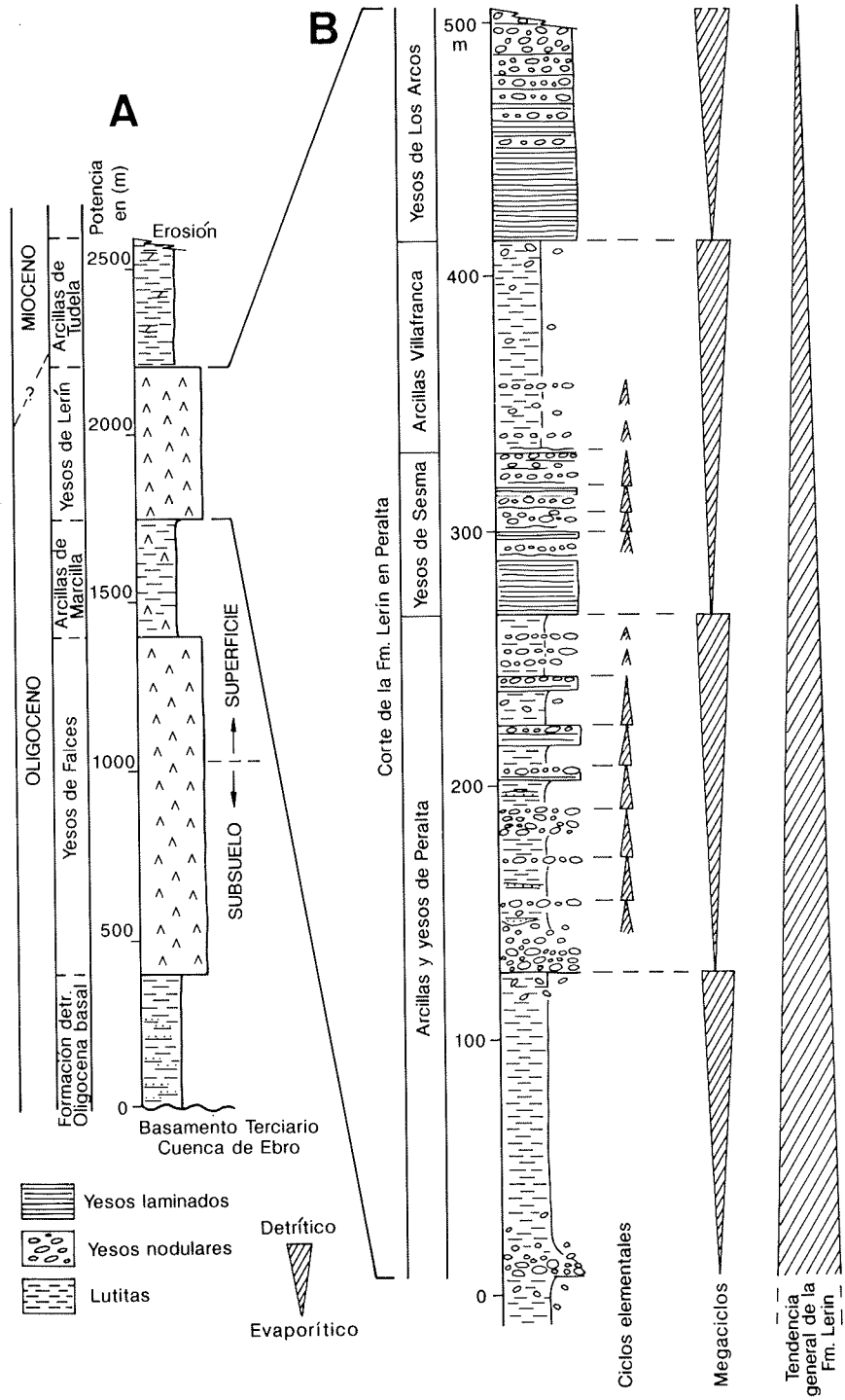


Figura 19: Columna sintética de la Fm. Lerín en el corte de Peralta. Se señalan las tendencias secuenciales de la serie y la litofacies laminada o nodular de los yesos dominante en cada tramo.

2) Esta tendencia evaporítica creciente de la Fm. Lerín no es gradual, sino que se realiza a través de cuatro *megaciclos* que tienen una tendencia secuencial inversa de la tendencia general de la serie: cada megaciclo muestra un máximo desarrollo evaporítico en la base y evoluciona en la vertical en favor de las arcillas encajantes.

3) Dentro de cada megaciclo se distinguen ciclos de escala menor o *ciclos elementales*, constituidos por un término inferior arcilloso y un término superior yesífero, con tránsito gradual entre ambos.

La interpretación sedimentológica de esta estratigrafía secuencial se ha expuesto en la Parte IA (ver en SALVANY, presente volumen).

Parada 15: Glauberitas de Alcanadre (Fm. Lerín, Mioceno)

J.M. Salvany y F. Ortí

Referencia: Margen sur del río Ebro entre las localidades de Alcanadre y Arrúbal.

Acceso: A medio recorrido de la carretera local que enlaza la población de Alcanadre con la carretera N-241 (de Zaragoza a Logroño), parte una pista hacia la ermita de Aradón. Poco después de pasar la citada ermita se llega al pie de un extenso acantilado en el que afloran las capas de glauberita.

Evaporitas: Glauberita, yeso secundario y anhídrita.

Objetivo: Observar el yacimiento glauberítico.

Duración: Entre 60 y 90 minutos.

En el corte del acantilado (fig. 20) se distinguen bien dos capas principales de glauberita, de 2 metros la inferior y 4.5 metros la superior, emplazadas entre los yesos de la unidad Los Arcos (Fm. Lerín). En la capa inferior se hallan dos bocaminas. Hacia el oeste, en la parte alta del acantilado, se reconoce un tercer nivel glauberítico menos potente.

La glauberita se distingue bien del yeso encajante por su color blanco intenso, debido a la alteración del mineral en superficie. Se presenta con litofacies nodular-enterolítica o en capas centimétricas de morfología tabular. La glauberita se presenta en cristales de tamaño milimétrico (hasta 1-1.5 cm en algunos casos), con hábito romboidal. También se presentan niveles con texturas más finas. En las capas con tamaño cristalino más grueso la glauberita se desarrolla entre una matriz intercristalina arcillosa o carbonatada que es la responsable del carácter deleznable de la roca. Esta matriz puede tener tonalidades rojizas, verdes o amarillentas. Los niveles glauberíticos de textura más fina tienen un aspecto más compacto y puro. El yeso encajante es secundario alabastrino (o megacristalino en algunos niveles), con litofacies laminada dominante y enterolítica subordinada. En algunos puntos se puede reconocer también anhídrita aflorante, con litofacies nodular (niveles basales de la unidad Los Arcos).

En algunos puntos del afloramiento se puede observar niveles de glauberita parcialmente reemplazados por yeso. Este reemplazamiento afecta a los bordes de la capa y se muestra como una envoltura de cristales de yeso secundario (porfiroblastos) y es consecuencia de la inestabilidad de la glauberita en superficie, que tiende a transformarse en yeso. La transformación a yeso secundario se da aún de forma más acusada en la polihalita, que es un mineral frecuente en este yacimiento acompañando a la glauberita y a la halita (tal como se ha podido ver en los sondeos) y que, sin embargo, prácticamente no llega a aflorar en ningún punto.

Los niveles de glauberita acaban lateralmente por acuñamiento entre los yesos laminados que los encajan, de forma relativamente rápida. En detalle se puede ver cómo las glauberitas deforman la laminación de este yeso encajante, poniendo de evidencia su origen diagenético temprano en el medio sedimentario evaporítico. Un estudio detallado de los diferentes materiales que integran el yacimiento y su origen se expone en SALVANY (1989).

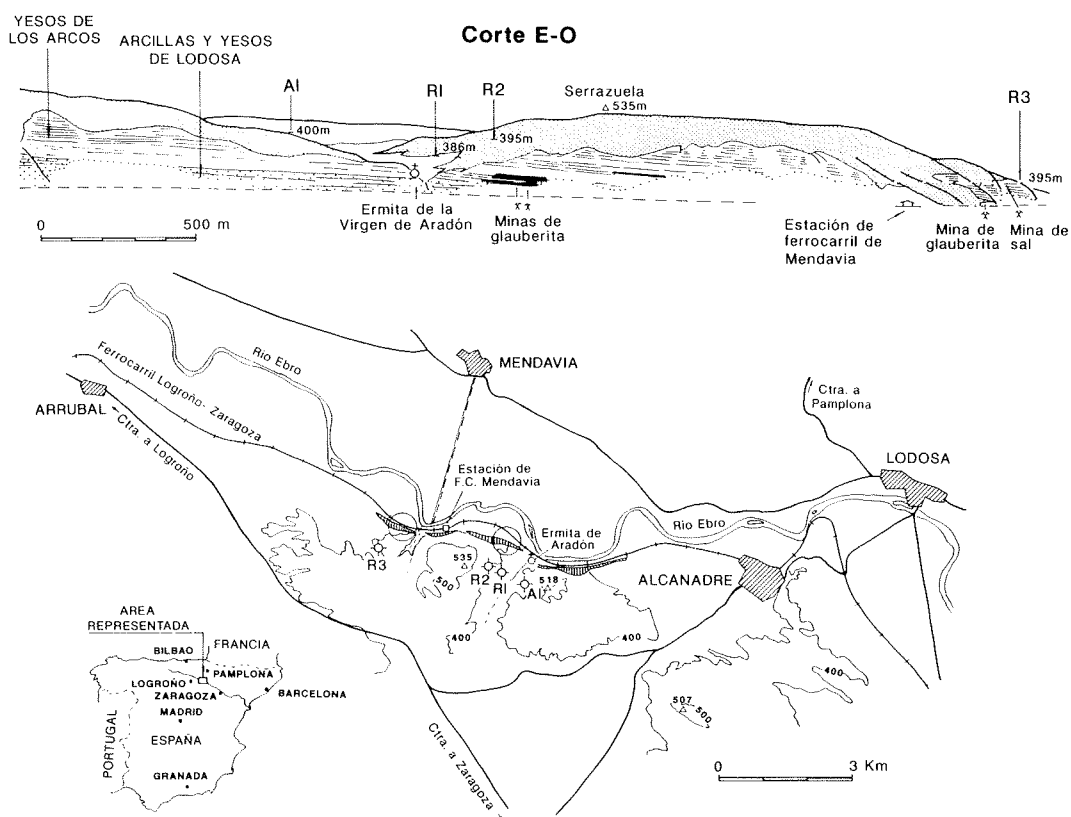


Figura 20: Localización de los yacimientos de glauberita (y sal) de la zona de Alcanadre-Arrubal.

Parada 16: Yesos de Puente La Reina (Mañeru, Oligoceno)

J.M. Salvany

Referencia: Canteras de «Yesos Pamplona, S.A.», en Mañeru.

Acceso: La carretera general de Pamplona a Logroño pasa, pocos kilómetros después de Puente La Reina, por la pequeña localidad de Mañeru. Una pista que se toma en el mismo pueblo conduce directamente a las canteras en una distancia aproximada de 1 km.

Evaporitas: Yeso secundario.

Objetivo: Observar las características litológicas de los Yesos de Puente La Reina.

Duración: 30 minutos.

Los yesos afloran muy verticalizados en el núcleo del anticlinal de Añorbe, donde son motivo de explotación por la empresa Yesos Pamplona S.A. En los flancos de este anticlinal aflora, con su característico color rojo, la Arenisca de Mués. Principalmente se trata de yesos laminados, de color gris, y en menor grado de yeso nodular. Algunos sondeos próximos a la cantera han puesto de manifiesto el importante desarrollo de niveles salinos en el subsuelo del anticlinal. Tal como se ha expuesto en la Parte IA, al tratar esta unidad, el notable espesor y las dominantes facies laminadas que se observan pueden hacer atribuible este afloramiento a la zona central del lago evaporítico en que se depositaron los yesos. Hacia el suroeste (Sorzada, Mués...) y el norte (Arizala) los yesos de la formación Puente La Reina muestran menor desarrollo y predominio de las facies nodulares típicas de margen de cuerpo evaporítico.

Parada 17: Potasas de Subiza (Priaboniense)

L. Rosell

Referencia: Mina de sales potásicas de Subiza.

Acceso: La mina se encuentra en la población de Olaz-Subiza, a la que se accede por una carretera comarcal que parte de Las Campanas.

Evaporitas: Sales potásicas (silvinita, carnalita), halita.

Objetivo: Observación de las litofacies potásicas en los cortes de las galerías de mina.

Duración: 120 minutos.

La cubeta potásica de Pamplona es, hasta el momento, la única zona de la cuenca potásica navarra que ha sido objeto de explotación. Tiene una estructura sinclinal, de dirección ENE-OSO, que acaba periclinamente siguiendo las poblaciones de Esparza, Salinas de Pamplona, San Sebastián y Subiza (fig. 21).

A lo largo del flanco norte y de la terminación periclinal, afloran las margas de techo de la formación evaporítica, en contacto anómalo con las margas de base (Margas de Pamplona s.l., o Margas de Ilundain), ya que la formación salina no aflora por disolución. El flanco sur de la estructura está fosilizado por los conglomerados de la Sierra del Perdón.

A grandes rasgos pueden distinguirse dos sistemas de fallas: uno de dirección aproximada NE-SO y otro, menos conocido, de dirección NO-SE. Dos fallas importantes y complejas, correspondientes al primero de los sistemas citados, de dirección sensiblemente paralela ENE-OSO, fracturan el sinclinal en tres bloques: dos levantados, al N y SE, y un bloque central hundido. La falla más septentrional (falla de Subiza) es de 600 a 800 metros (MENÉNDEZ, 1971; DEL VALLE, 1978).

Hasta 1984, la explotación minera se llevó a cabo fundamentalmente en el bloque septentrional y en la parte norte del bloque hundido intermedio, a cargo de la empresa Potasas de Navarra S.A. A partir de dicho año, la empresa citada cesó en la explotación y ésta, a cargo de Potasas de Subiza S.A., pasó a desarrollarse en el bloque meridional (zona de Subiza).

En la zona de Subiza, la formación salina presenta características muy similares al resto de la cubeta potásica y que han sido ya descritas en la Parte IA. Las litofacies son las mismas, pudiéndose reconocer, en el caso de la silvinita, los ciclos o «capas» que se encuentran en otros sectores del yacimiento. En la figura 22 puede observarse un corte de la dicha unidad de silvinita, mostrando los dieciocho ciclos que la componen.



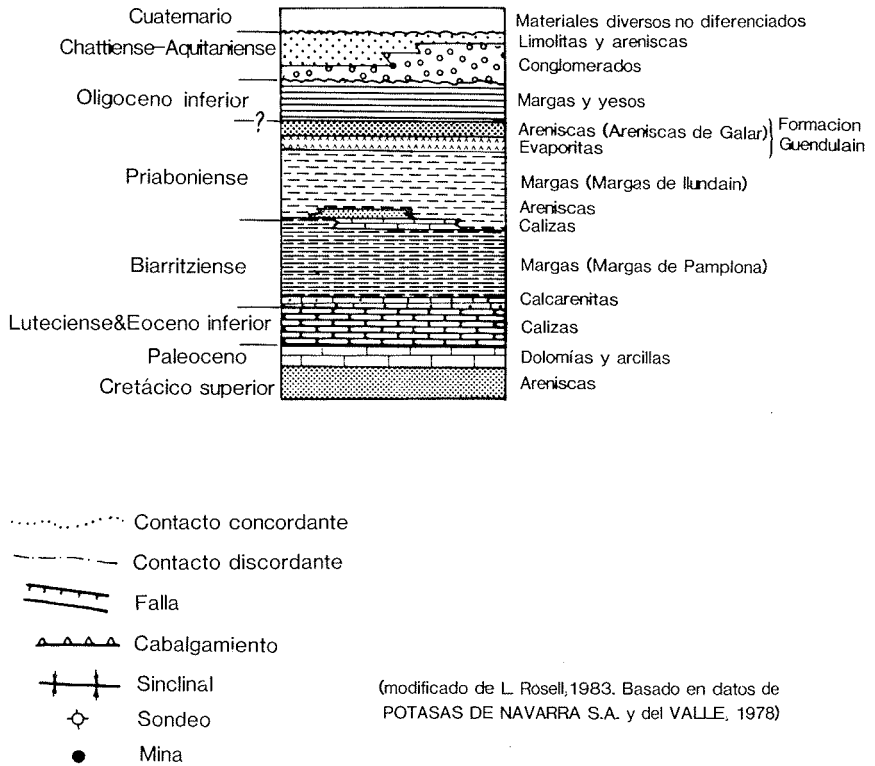
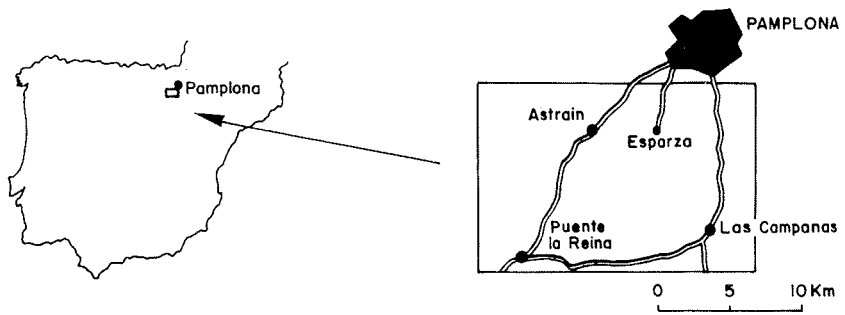
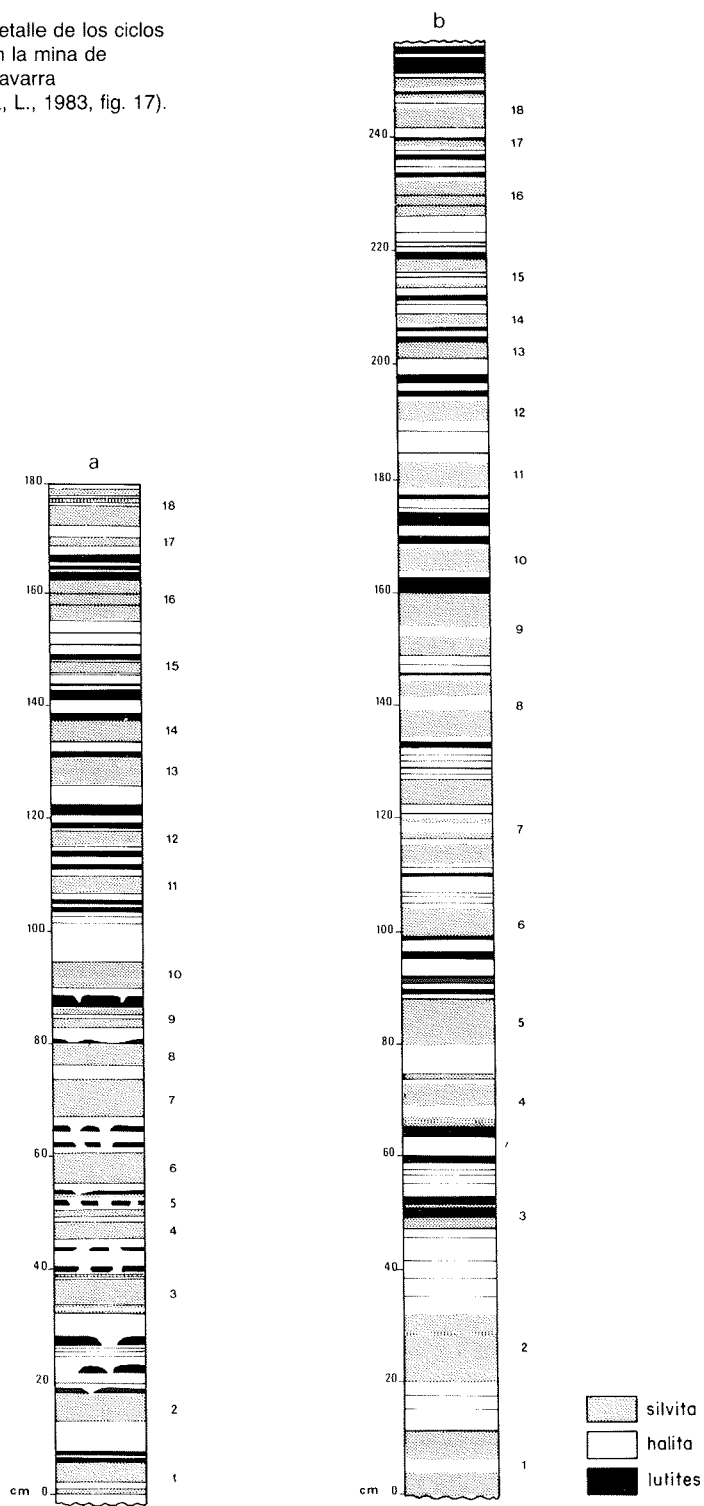


Figura 21: Mapa geológico de la zona potásica del Priaboniense de Navarra.

Figura 22: Detalle de los ciclos de silvinita, en la mina de Potasas de Navarra (según ROSELL, L., 1983, fig. 17).



Parada 18: Diapiro de Poza de La Sal (Keuper)

J.M. Salvany

Referencia: El pueblo de Poza de La Sal (prov. de Burgos) se sitúa sobre el flanco este del diapiro, que se abre formando una profunda depresión de aproximadamente 2 a 2,5 km de diámetro.

Acceso: La carretera que conduce de Poza de La Sal a Villalta cruza el diapiro por su margen meridional, ofreciendo una buena visión del mismo.

Evaporitas: Yeso secundario, arcillas salíferas.

Objetivo: Observar las diferentes facies evaporíticas del Keuper en el núcleo del diapiro.

Duración: 2 horas.

La visita se realiza en tres puntos diferentes del diapiro (fig. 23):

18a) Recorrido a través de un estrecho camino (aprox. 500 metros) que atraviesa el flanco oriental del diapiro mostrando un corte completo de las Carniolas, muy verticalizadas en este lugar, y su contacto con el Keuper. Justo en la base de las Carniolas se intercala un episodio vulcanoclástico que se reconoce fácilmente por su característico color rojo entre el color grisáceo de los carbonatos entre los que se emplaza. En el contacto de las Carniolas con el Keuper afloran unas arcillas grises con yeso, de aspecto muy caótico, que pueden ser interpretadas como una milonita entre el Keuper diapírico y los materiales encajantes.

Desde el camino se tiene una excelente panorámica sobre los materiales del Keuper que constituyen la parte central del diapiro. Se trata de arcillas rojizas que afloran en los barrancos que ha excavado la red de drenaje actual. Hacia el este, también se observa el relieve abrupto de naturaleza ofítica que constituye la Peña Negra (o el Castellar).

18b) Desde la carretera se accede a través de un corto camino a una pequeña cantera abandonada de yesos del Keuper. El corte del camino y la cantera permite distinguir la parte superior de la serie del Keuper en esta región y su tránsito al Liásico (fig. 24): unidad de arcillas yesíferas versicolor, unidad yesífera de color gris (cantera) y base de las Carniolas con su nivel vulcanoclástico.

18c) La tercera parada, a pie de carretera, se efectúa en las ruinas de un viejo almacén de sal (Cornudilla). Desde este lugar se tiene una buena perspectiva sobre la parte occidental del diapiro. Son de especial interés las siguientes observaciones: a) pitón ofítico que ocupa el centro del diapiro, b) instalaciones salineras abandonadas en el margen norte del barranco que atraviesa el diapiro, c) sistema de fallas radiales al diapiro que afecta a los materiales del Cretácico.

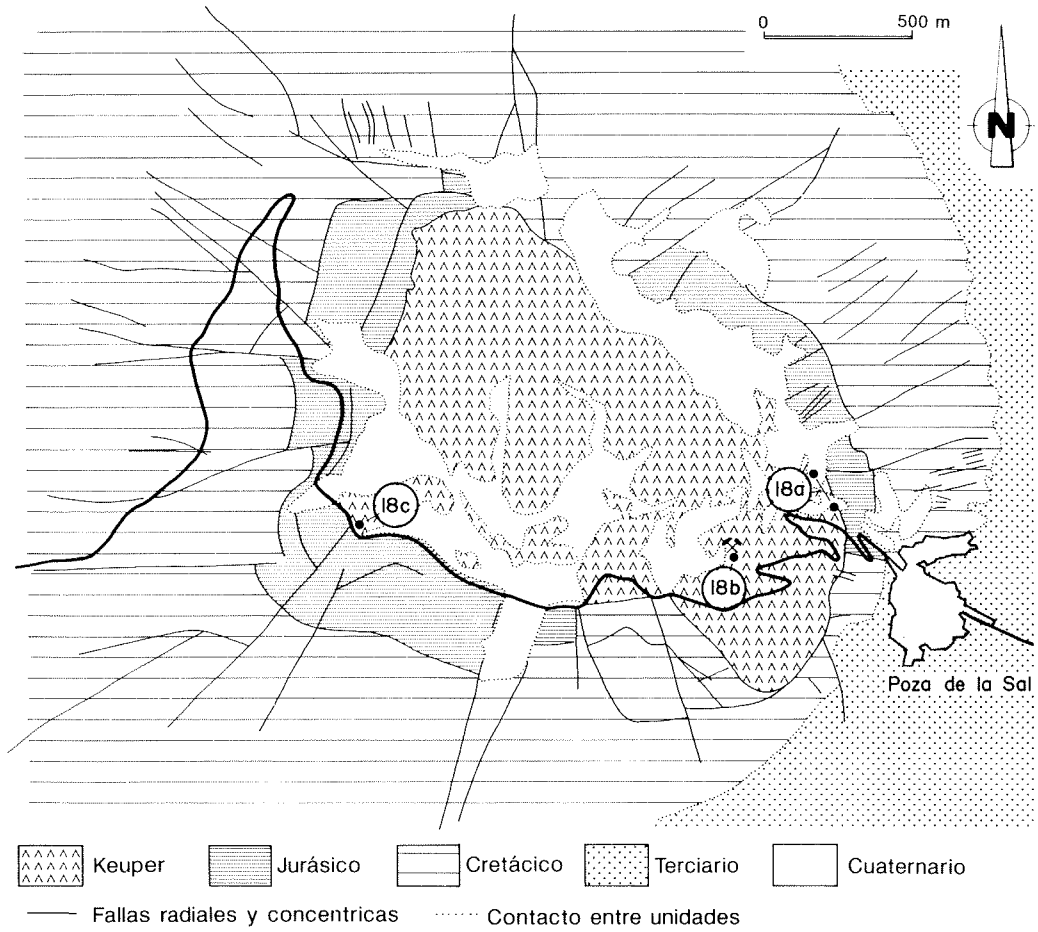
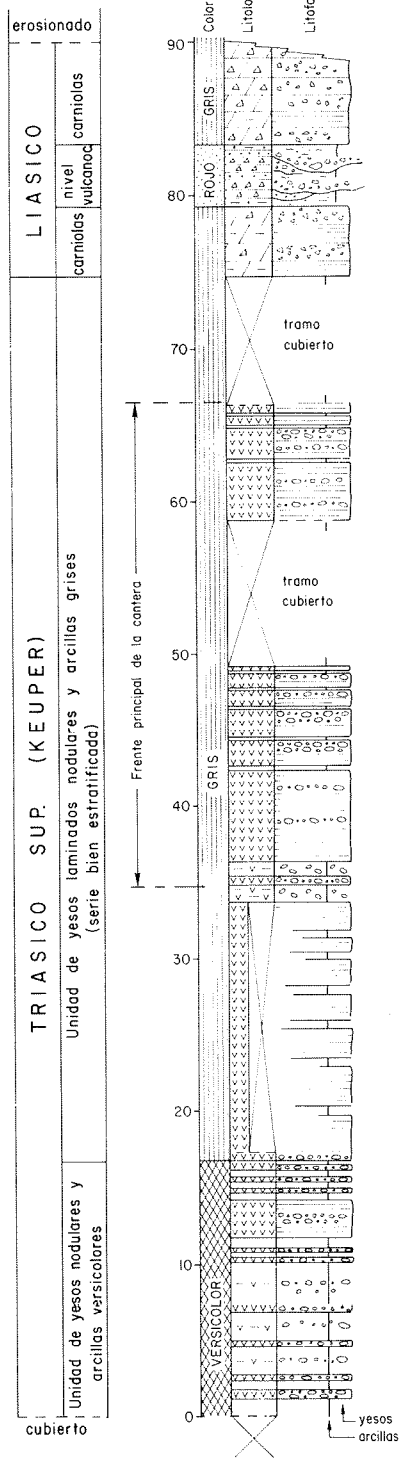


Figura 23: Esquema cartográfico del diapiro triásico de Poza de La Sal (prov. de Burgos).

Figura 24: Columna estratigráfica de detalle del Keuper aflorante en el diapiro de Poza de La Sal.



Parada 19: Yesos de Cerezo (Villalómez, Mioceno)

J.M. Salvany y F. Ortí

Referencia: Canteras de Villalómez.

Acceso: En la misma localidad, a la que se accede desde la carretera N-120 (de Logroño a Burgos), ya sea desde Tosantos (cerca de Belorado) o desde Villafra-
nca.

Evaporitas: Yeso secundario y primario.

Objetivo: Observación de ciclos de sabkha.

Duración: Entre 45 y 60 minutos.

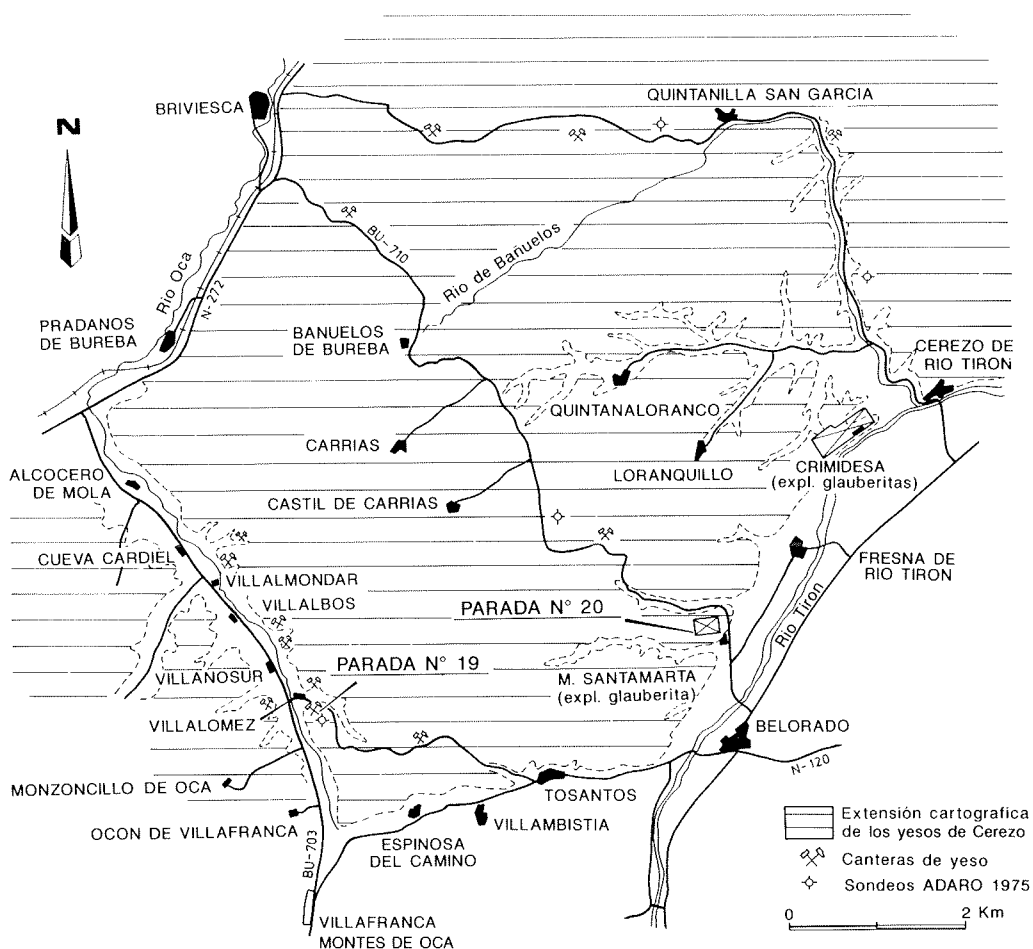


Figura 25: Esquema geológico y de situación de las explotaciones de glauberitas y yesos en los Yesos de Cerezo.

En esta cantera, perteneciente a una zona relativamente periférica de la unidad Yesos de Cerezo (fig. 25), se observa una serie yesífera potente, superior a los 60 metros, en la que alternan de forma cíclica facies laminadas y masivo-nodulares de yeso. Las capas nodulares son de yeso secundario alabastrino muy puro, mientras que las laminadas, de carácter más impuro (con arcillas y carbonatos) presentan ocasionalmente yeso primario, así como nódulos de yeso alabastrino interestratificados, que deforman la laminación.

El yeso laminado primario muestra una variada gama de litofacies: yeso lenticular formando rosetas o en cristales individuales, cristales prismáticos de tamaño milimétrico o centimétrico creciendo en empalizada, gipsarenitas, etc. En diferentes casos esta laminación primaria está transformada en yeso secundario alabastrino, sin que en ella se reconozcan relictos de la textura original. Puntualmente, se observan también estructuras de «slumps» entre los yesos de litofacies laminada.

Parada 20: Glauberitas de Belorado (Mioceno)

J.M. Salvany y F. Ortí

Referencia: Explotación de glauberitas de Belorado (Minera de Santamarta, S.A.).

Acceso: Desde Belorado se toma la carretera que conduce a Briviesca (BU-710). Pocos después del primer kilómetro se llega a la planta de tratamiento de la empresa minera, situada al pie de unos relieves sobre los que se halla la explotación.

Evaporitas: Glauberita, mirabilita, anhidrita y yeso secundario.

Objetivo: Observación de un yacimiento de glauberita.

Duración: Entre 60 y 90 minutos.

La explotación de sulfato sódico-cálcico de Belorado (fig. 25) es de reciente apertura (1987). En ella se explotan niveles glauberíticos para la obtención de sulfato sódico con destino a las industrias de los detergentes, papel y vidrio (principalmente). Los niveles de glauberita de Belorado se sitúan estratigráficamente algo más por encima de los que benefician la vecina explotación de Cerezo de Río Tirón (fig. 26). Tanto en Belorado como en esta última localidad citada, la glauberita constituye un extenso yacimiento de geometría tabular situado a pocos metros de la superficie, determinada por la Fm. Cerezo en esta región. La glauberita forma capas de espesor métrico que alternan con arcillas, yeso y anhidrita, formando una potente serie que supera los 60 metros de espesor. Como mineral de alteración de la glauberita se presentan también cantidades variables de mirabilita (sulfato sódico hidratado), que fácilmente se altera en superficie.

En la explotación, se libera primero la capa de glauberita de su cobertera de material estéril, creándose uno o más estanques de grandes dimensiones en el fondo de los cuales se deja aflorar el techo de la capa de glauberita. Tras la voladura de ésta (creación de porosidad artificial) el estanque es inundado con agua que disuelve el mineral y se convierte en una salmuera rica en sulfato, sodio y calcio. La salmuera es conducida hasta la planta de tratamiento en la que se obtiene el sulfato sódico después de haber hecho precipitar el calcio mediante carbonato sódico.

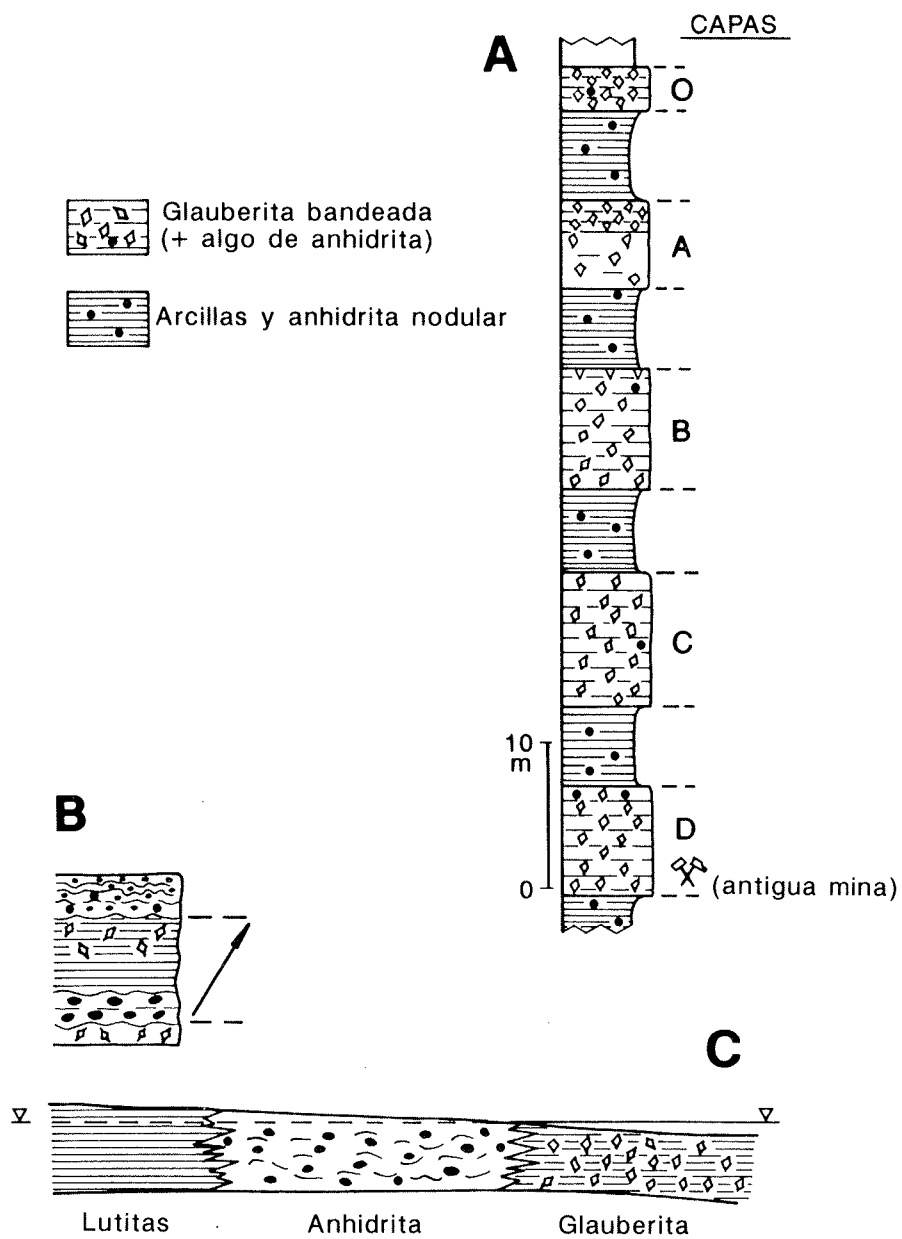


Figura 26: A) Niveles glauberíticos de la zona de explotaciones de Cerezo de Río Tirón; B) ciclo elemental de glauberita-anhidrita; C) esquema interpretativo del medio lacustre deposicional y de los cinturones de facies.

Bibliografía

- COLLANTES, L.P. y GRIFFO, J.L. (1982): Panorámica general del yeso en España. Los yesos de la cubeta de Calatayud en la Provincia de Zaragoza. *Tecniterrae*, 8(6):53-63.
- MENÉNDEZ, N. (1971): *Geología. Complemento al estudio geológico de nuestro yacimiento de diciembre de 1970. Nociones previas. Geología (II parte). Mineralogía del yacimiento del Perdón (suplemento al estudio geológico de enero de 1971)*. Potasas de Navarra, Informe interno (inédito).
- ORTI, F. (1977): Las Evaporitas. Parada V: Vilobí. In: R. Salas (Ed.): *I Seminario Práctico de Asociaciones arrecifales-evaporíticas*: 2.33-2.39. Univ. de Barcelona.
- ORTI, F. (1987): La zona de Vilel-Cascante-Javalambre. Introducción a las formaciones evaporíticas y al volcanismo jurásico. In: M. Gutiérrez y A. Meléndez (Eds.): *XXI Curso de Geología Práctica de Teruel*: 56-95, Univ. de verano de Teruel.
- ORTI, F. (1989): Evaporitas marinas. In: A. Arche. (Ed.): *Sedimentología, Vol. II*: 89-177. Serie Nuevas Tendencias, 12. C.S.I.C. Madrid.
- ORTI, F. y PUEYO, J.J. (1977): Asociación halita bandeada-anhidrita nodular del yacimiento de Remolinos, Zaragoza (sector central de la Cuenca del Ebro). Nota petrogenética. *Rev. Inst. Inv. Geol. Dip. Prov. Barcelona*, 32: 167-202.
- PERMANYER, A. (1982): *Sedimentologia i diagènesi del esculls miocens de la conca del Penedès*. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona, 545 p.
- ROSELL, L. (1983): *Estudi petrològic, sedimentològic i geoquímic de la formació de sals potàssiques de Navarra (Eocè superior)*. Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona, 321 p.
- SALVANY, J.M. (1986): *El Keuper dels Catalànids. Petrologia i sedimentologia*. Tesis de Licenciatura, Univ. de Barcelona, 128 p.
- SALVANY, J.M. (1989): *Las formaciones evaporíticas del Terciario continental de la Cuenca del Ebro en Navarra y La Rioja. Litroestratigrafía, petrología y sedimentología*. Tesis Doctoral, Univ. de Barcelona, 397 p.
- VALLE, J., DEL (1978): Mapa geológico de España, escala 1:50.000, 2.^a serie, 1.^a ed. Hoja n.º 141 «Pamplona», y Memoria Explicativa. *IGME, Servicio Public. Min. Industria*.