



UNIVERSITAT DE BARCELONA

Caracterización de formas y procesos de alteración, observadas en piedra de construcción de edad miocénica del área monumental romana de Tarragona

José Luis Prada Pérez

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tdx.cat) i a través del Dipòsit Digital de la UB (diposit.ub.edu) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX ni al Dipòsit Digital de la UB. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX o al Dipòsit Digital de la UB (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tdx.cat) y a través del Repositorio Digital de la UB (diposit.ub.edu) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR o al Repositorio Digital de la UB. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR o al Repositorio Digital de la UB (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tdx.cat) service and by the UB Digital Repository (diposit.ub.edu) has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized nor its spreading and availability from a site foreign to the TDX service or to the UB Digital Repository. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service or to the UB Digital Repository is not authorized (framing). Those rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.



**CARACTERIZACIÓN DE FORMAS Y PROCESOS
DE ALTERACIÓN, OBSERVADAS EN PIEDRA DE
CONSTRUCCIÓN DE EDAD MIOCÉNICA DEL
ÁREA MONUMENTAL ROMANA DE TARRAGONA**

**DEPARTAMENTO DE GEOQUÍMICA, PETROLOGÍA
Y PROSPECCIÓN GEOLÓGICA**

FACULTAD DE GEOLOGÍA

UNIVERSIDAD DE BARCELONA

043 PRADA PERE J

BIBLIOTECA DE LA UNIVERSITAT DE BARCELONA



0700196991

**JOSÉ LUIS PRADA PÉREZ
BARCELONA 1995**

512140 200 1995 1995
BIBLIOTECA DE LA UNIVERSITAT DE BARCELONA

X

Don Antonio Valenciano Horta, Doctor en Ciencias Geológicas y Profesor Titular de la Facultad de Geología de la Universidad de Barcelona.

Don Fernando Gomá y Ginesta, Doctor en Ciencias Químicas, Profesor Titular de la Escuela Superior de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Cataluña.

Certifican:

Que Don José Luis Prada Pérez ha realizado en el Departamento de Geoquímica, Petrología y Prospección Geológica de esta Universidad, bajo nuestra dirección, el trabajo de investigación titulado "CARACTERIZACIÓN DE FORMAS Y PROCESOS DE ALTERACIÓN, OBSERVADAS EN PIEDRA DE CONSTRUCCIÓN DE EDAD MIOCÉNICA DEL ÁREA MONUMENTAL ROMANA DE TARRAGONA".

Y para que así conste, expido el presente en Barcelona, a 5 de septiembre de 1995.

Fdo: Antonio Valenciano Horta

Fernando Gomá y Ginestá



A mi familia, especialmente a mi padre que con ilusión y esfuerzo me animó siempre a seguir el camino de las ciencias y la investigación.

"... Se dice en el libro santo que debemos servir a la verdad con aquello que de mejor y de peor hay en nosotros, y yo sólo he obedecido a medias. ¿Qué valor tendría una certeza si no se compaginara con una duda?"

Herbert le Porrier. "El medico de Córdoba - Moisés Maimónides".

Agradecimientos

A. Valenciano y F. Gomá por la dirección de esta tesis, a A. Alvarez por sus consejos y revisión de la texto, a A. Navarro por sus múltiples ayudas tanto en los ensayos sobre propiedades hídras, como en la confección general de la tesis, a R. Rocabayera por su asesoramiento en las costras líquénicas, a L. Vilaseca por su ayuda en las cromatizaciones del "Arc de Berà" y en la explicación de los mecanismos de dedolomitización, a A. Navarro y V. De Laorden por la realización de los "mapping" de los monumentos estudiados, a M. Argemí por la realización de algunos ensayos de laboratorio y en general a todo el grupo "SAXUM" de la Universidad Autónoma de Barcelona.

Agradezco especialmente a R. Esbert y su equipo del Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo la puesta a disposición de sus laboratorios y el asesoramiento sobre propiedades petrofísicas que han sido decisivos en la realización de este trabajo de investigación, subrayando especialmente a J. Alonso por su asesoramiento en porosimetría de mercurio.

A. Rivero de la Universidad Nacional de Córdoba (Argentina) por su orientación en la realización del estudio de la zonación de las dolomitas en microscopía electrónica de barrido y microsonda, y en general sus enseñanzas sobre estas técnicas instrumentales. También un agradecimiento afectuoso a R. Fontarnau y todo el equipo de microscopía electrónica de los Servicios Científico Técnico de la Universidad de Barcelona.

A F. Plana y al personal del servicio de difracción de rayos x del Instituto Jaime Almera de Barcelona por su extenso trabajo de análisis y, el asesoramiento en la determinación de la composición de las fábricas dolomíticas y las formas de alteración.

A Menchón y C. Benet por su inestimable ayuda en los aspectos arqueológicos de la tesis.

A R. Salas y F. Calvet por su asesoramiento en los temas petrológicos y diagenéticos sobre carbonatos.

A J. Dorrego y P. Luxán del Instituto E. Torroja de Madrid por su ayuda en la investigación de las cromatizaciones del "Arc de Berà".

A los laboratorios de INTECASA (Investigación Técnica y Calidad, S. A.) por la ayuda prestada en la realización de los ensayos de caracterización mecánica de las rocas de cantera.

A los alumnos de la asignatura de Geotecnia de la Facultad de Geología de la Universidad de Barcelona que me han ayudado en la realización de los mappings de monumentos y en el estudio estratigráfico de canteras, especialmente a los alumnos M. Amorós, V. Escarré y E. Cabello.

A Adolfo Sampere y el resto del personal laborante del Servicio de Láminas de la Facultad de Geología de la Universidad de Barcelona y también a J. Ques del Servicio de Láminas de la Universidad Autónoma de Barcelona. A J. Illa y Pedro Sanz laborantes del Dpto. de Geoquímica, Petrología y Prospección por sus constantes ayudas. Finalmente a R. Espurz por su inestimable ayuda en la confección final de la tesis.

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 ESTADO ACTUAL DE LA CIENCIA DE LA RESTAURACIÓN DE LOS MATERIALES PÉTREOS EN EDIFICIOS HISTÓRICOS

La restauración es una actividad antigua, que ha evolucionado desde los conocimientos empíricos de las artes y los oficios hacia una actividad técnica y científica, de alta especialización. Este desarrollo histórico supone, paralelamente, la introducción progresiva de nuevas técnicas instrumentales de análisis y métodos de intervención y tratamiento del monumento, lo cual significa que la conservación del patrimonio cultural y arquitectónico se ha beneficiado de los avances conseguidos en las ciencias de los materiales (Aguirre, 1989).

El trabajo que presentamos se ha realizado dentro de esta línea de investigación moderna, que busca aportar datos para una diagnosis precisa, premisa básica de un proyecto de restauración.

Nuestros objetivos y nuestro campo de actuación se desarrollan lejos de las controversias que se han producido en la teoría de restauración a lo largo de los últimos dos siglos, entre los excesos intervencionistas de Violét-le-Duc y los planteamientos radicales conservacionistas de Ruskin, que finalmente parecen haber llegado a síntesis conciliadoras, como las de Boito, que simplemente intentan evitar el falso histórico.

La actividad investigadora del estudio de los materiales pétreos en los que se enmarca esta tesis, es una base imprescindible para la toma de decisiones en la intervención práctica (sustituciones, recomposición de volúmenes, consolidación-hidrofugación o técnicas de limpieza) lo cual tiene a veces un carácter más conservador y en otros casos adquiere, por razones técnicas, un carácter más reconstructivo.

En este sentido el presente trabajo, directa o indirectamente, ha servido como soporte técnico para posteriores intervenciones sobre los monumentos estudiados (Muralla Romana, del Paseo de San Antonio, Baixada del Roser, "Arc de Berà") que han puesto en evidencia la imposibilidad de establecer una única norma de actuación que pueda ser válida para cualquier tipo de intervención. Aunque pueden existir diferencias entre los criterios histórico-arqueológicos y los criterios arquitectónicos, o incluso simplemente estéticos, estas investigaciones de carácter científico permiten establecer criterios concretos y objetivos sobre el estado de conservación y la durabilidad futura de los materiales.

La concienciación la opinión pública y las diferentes administraciones del estado, sobre la necesidad de conservación del patrimonio histórico-arquitectónico, han ido generando, en diferentes etapas de la historia moderna y especialmente a lo largo del presente siglo, manifiestos y legislaciones, tanto de ámbito local como internacional.

A nivel político se inicia la normativa con la "Carta de Atenas" (1931), en la que ya se establecen las bases de una política de preservación del patrimonio cultural. Más tarde, el Convenio de La Haya (1954) amplía el concepto de patrimonio a bien cultural como objetivo de la

política de protección. Después, la importante Carta de Venecia (1964) genera, dentro de este ámbito, diversos organismos internacionales especializados (ICCROM, ICOMOS).

En la Declaración de Amsterdam (1975) esta política internacional de protección amplía su campo de actuación, incluyendo entre sus objetivos los conjuntos histórico-urbanos amenazados por el crecimiento moderno de las ciudades. Finalmente en El Coloquio de Quito (1984) se señala la importancia del patrimonio antropológico y de asentamientos humanos, que ponen de relieve la importancia que tiene un simple poblado rural en la preservación del patrimonio cultural de la humanidad.

A nivel científico existe en la actualidad una especial preocupación por la conservación del patrimonio histórico-arquitectónico, hasta el punto que la actividad investigadora correspondiente adquiere una importancia social de primer orden.

Esta toma de conciencia colectiva es paralela al desarrollo histórico de la sociedad industrial que ha generado un impacto sin precedentes, tanto en el conjunto de la atmósfera del planeta como en el ámbito local de las áreas urbanas. Esto es debido a la contaminación medioambiental que ya extiende su influencia a zonas cada vez más alejadas de los límites urbanos o administrativos de una población.

Los primeros estudios se remontan a la segunda mitad del siglo pasado (Suess, 1863 y 1867) en Alemania, pero no es hasta los años 20 del presente siglo cuando se inicia una auténtica actividad científica, aunque siempre desde un punto de vista casi exclusivamente químico. En realidad es desde los años "sesenta" cuando el llamado "mal de la piedra" comienza a ser considerado un objetivo científico importante. En este sentido es V. Torraca, en el prólogo del libro titulado "IL Restauro della Pietra", de Lazzarini y Tabasso (1986), quien señala que es sintomática la ausencia, durante esos años, de una referencia científica sobre el tema, similar a otras secciones del "Chemical Abstracts" para las ciencias químicas.

Actualmente el cambio es muy rápido y espectacular, tanto la bibliografía generada, como la actividad congresual existente son muy dinámicas y extensas. Paralelamente las obras de restauración y la consiguiente financiación pública y privada, también han crecido notablemente, y a pesar de que en algunos medios estas intervenciones se han considerado excesivas, agresivas y poco respetuosas, la paradoja es que nuestro patrimonio histórico arquitectónico está lejos de tener garantizada su continuidad, dada la agresividad medioambiental y algunas acciones de la población humana (gamberrismo, turismo excesivo, etc.)

La teoría sobre la acción de las sales solubles de Blanck y Rieser, (1929), propone como causa principal de deterioro la presencia de sales producidas por la interacción de la atmósfera contaminada, que aporta la mayoría de los aniones, con la piedra de los edificios históricos, que aporta la mayoría de los cationes, como por ejemplo la sulfatación superficial de la roca.

El deterioro, según esta teoría salina, es producto de la presión de cristalización o de hidratación de las sales que se sitúan en el interior de la red porosa de la piedra. Esta teoría no significa, por supuesto, que se reste importancia a otros factores como la gelivación, el hinchamiento hídrico, etc., que pueden actuar en grado diverso según el clima o la orientación del muro. Pero se señala la presencia de sales como el principal factor que explica la aceleración del deterioro, durante el presente siglo, en las áreas urbanas y polucionadas.

Desde finales de los años 50, la investigación se centra en determinar la influencia del factor textural de la roca, especialmente de la red porosa, ya que ésta controla la circulación del agua, tanto líquida como en forma de vapor, lo que a su vez determina la intensidad del efecto salino y, en general, la mayor parte los procesos de alteración (hinchamiento, gelivación, etc.). Los congresos y las publicaciones posteriores se centran en esta teoría, que podríamos denominar hídrico-porosimétrica, y en el desarrollo de una serie de normas de ensayos. Las más conocidas y específicas son las NORMAL de CNR-ICR (Centro National del Restauro -Instituto National del Restauro) y las RILEM, (Réunion Internationales des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions) Commission 25-PEM., que permitan evaluar estas propiedades de carácter petrofísico (Stambolov, 1979; Torraca 1976, 1988). Paralelamente se desarrollan nuevas técnicas para el estudio de la red porosa, entre las que destaca la porosimetría de mercurio (Pellerin 1980. Peter, Ragot y Sima 1970. Wardlaw 1976), las cuales favorecen una interpretación básica del comportamiento de las rocas frente a agua y su dinámica.

Se estudian con detalle los procesos de absorción, succión capilar y flujo de vapor a través de la red de vacíos de una roca (Torraca 1976, Vos 1971, 1975; Mamillan, 1981), lo que permite establecer parámetros y cuantificar estos fenómenos que son la base de la alterabilidad.

Pero además de estos estudios de carácter petrofísico se van realizando estudios sistemáticos de las formas de alteración, de su composición mineral y de su textura (Zehnder, 1979; Jeannette, 1979; Winkler, 1979; Camuffo, 1985), que clarifican la terminología, facilitan su descripción y permiten la elaboración de diagnósticos sobre el estado de conservación con un criterio científico. También se producen algunos intentos de sistematizar su mapeo o representación cartográfica (Fitsner, 1990) y de terminología (Martín y Alcalde, 1990; Esbert y Ordaz, 1990.).

Entre los primeros trabajos especializados, realizados en España, destaca la tesis doctoral de J. Iñiguez Herrero (1961), de carácter químico, que se basa en el análisis de sales solubles de materiales pétreos en diversos monumentos de la península. Sus conclusiones están en la línea de Blanck y Rieser (1929), que considera a la cristalización de sales como el primer factor de alteración.

Con todo, debido a numerosas dificultades técnicas no existe todavía una cuantificación precisa y completa del impacto de la polución atmosférica sobre la piedra como material de construcción, ya que hay numerosas dificultades técnicas. Pero se han realizado medidas in situ y ensayos de simulación en cámaras climáticas que no dejan lugar a dudas sobre su importancia (Furlan y Girardet 1993).

La acumulación de sustancias químicas de origen polucionante y su interacción con las rocas como material de construcción, en edificios de áreas contaminadas, se debe principalmente a dos mecanismos: deposición húmeda (polucionantes transportados y depositados por la lluvia y/o condensación de la humedad atmosférica) y, deposición seca (polucionantes transportados y depositados por el aire). Para comprender la magnitud de este problema baste señalar que a finales de los años 60 muchas ciudades europeas con elevadas tasas de concentración de SO₂ (Furlan 1993) estaban depositando grandes cantidades de azufre seco por este mecanismo de flujo o deposición seca. Así Milan, en 1969, depositaba 50 gr. de SO₂ /m². año, y aunque ha disminuido notablemente este tipo de contaminación, pues la misma ciudad registra una deposición de 10 gr. de SO₂ / m². año, en cambio ha aumentado la alteración debida a la lluvia ácida y la acción del NO_x, a consecuencia del intenso tráfico rodado (Steiger y otros 1993, Vassilakos y otros 1994)).

En la actualidad, o desde los últimos años, la investigación parece centrarse en cuatro líneas que intentan esclarecer y mejorar el conocimiento del efecto de las sales solubles, y que son:

- Los mecanismos de sulfatación y su relación con los efectos de la lluvia ácida y de la polución en general. Son especialmente significativos los estudios sobre los mecanismos de la deposición seca y húmeda y sus intentos de cuantificación (Furlan, 1986, 1993; Bell, 1993. Steiger y otros, 1993), así como el efecto sinérgico de otros gases polucionantes, como el NO₂ (Vassilakos y Salta, 1993), cuyos niveles han aumentado, en los últimos años, en las áreas urbanas.
-
- Influencia de la naturaleza mineral de la sal, esto es la naturaleza mineral de las eflorescencias (paragénesis salina). Especialmente importante para explicar algunos procesos, menos frecuentes pero intensos, como los efectos de interacción con el cemento tipo portland (Charola, Lewin, 1979, 1992; Martín y otros, 1992)
- Relaciones entre la red porosa y las condiciones de cristalización (Amoros y Fassina 1983.) que intentan determinar la influencia que tiene el radio de poro sobre el proceso de cristalización y su efecto mecánico.
- Las causas del efecto disruptivo de las sales. Se trata de una cuestión muy controvertida sobre la que existen diversas hipótesis, que discuten los efectos de la presión de cristalización, de hidratación o de dilatación térmica de las sales (Winkler, 1972, 1981; Arnold y Kueng, 1985; Püchringer, 1985).

Pero también existen otros estudios que demuestran la importancia que tienen las formas de crecimiento cristalino que se producen, especialmente a partir de la sobresaturación, y las modificaciones que ejercen estas condiciones físico-químicas sobre el hábito cristalino, independientemente de la naturaleza mineral de la sal (Sungawa, 1981; Arnold y Zhender 1985, 1989, 1990). Estos estudios indican, pues, que todas las sales pueden ejercer una acción agresiva como eflorescencias, si crecen en un poro o fisura, a causa de la unidireccionalidad de su crecimiento (eflorescencias tipo "Whiskers").

En consecuencia podemos resumir las ideas fundamentales sobre la alteración de la piedra, en edificios y obras monumentales, de la siguiente forma:

- Las rocas, como material arquitectónico de construcción, se alteran, fundamentalmente, por la acción del agua, en sus diversos estados físicos y por la acción de las sales solubles.
- La sulfatación externa de la roca, o la deposición seca o húmeda de compuestos procedentes de la polución, son el principal factor de deterioro o de aceleración de dichos procesos en áreas urbanas o industriales.
- La textura de la roca, especialmente las características de la red porosa (porosidad libre y atrapante, distribución de rango de poro), controla la intensidad y desarrollo de los procesos deteriorantes.

- Existen otros factores, de carácter intrínseco (presencia de arcillas expansivas, etc.) o extrínseco (interacción con otros materiales, acción del viento, etc.), que pueden tener un efecto adicional y particularmente importante según sea el edificio, su microclima y la orientación.

1.2 OBJETIVOS

Nuestro trabajo puede considerarse, inicialmente, como de investigación de diagnóstico; esto es, de estudio de los materiales y las formas de alteración de un conjunto de monumentos de la antigua ciudad romana de Tarraco (Muralla Romana, "Arc de Berà", Anfiteatro), con la finalidad de evaluar su estado de conservación. Este estudio de diagnóstico se ha realizado siguiendo la estructura general y las fases que indican las recomendaciones de organismos internacionales, Tales como ICOMOS, así como los numerosos ejemplos de investigación de monumentos y edificios históricos, publicados en los congresos internacionales sobre restauración de la piedra (Venecia, 1979; Laussane, 1985; Lisboa, 1992; París 1993, etc.). También se ha tenido como especial referencia los trabajos realizados por el equipo de M. Montoto y R. Esbert, de la Universidad de Oviedo, sobre varios monumentos, especialmente el estudio con microscopio electrónico de barrido (MEB) de las formas de alteración de la Catedral de Oviedo.

Para la caracterización alterológica de los materiales de un monumento, el estudio de los materiales de cantera es un elemento básico imprescindible. Por otra parte los ensayos para la obtención de parámetros petrofísicos básicos se han realizado según las normas y recomendaciones internacionales de la RILEM, CNR-ICR, NORMAL, DIN, ASTM, ISRM, pero además se han consultado otros trabajos más específicos, tales como la tesis doctoral de J. Alonso (1986, universidad de Oviedo), sobre la caracterización petrofísica de rocas carbonatadas, y de M. Alcalde (1992), que desarrolla diversos tipos de ensayos sobre las propiedades hídricas y de alterabilidad.

Estos estudios parten de la premisa básica de que los procesos de alteración están controlados por las características hídricas y por la disposición de la red porosa de los materiales.

Además nuestra investigación no se ha limitado a una simple diagnosis de un área monumental; sino que se ha centrado en descubrir las causas de la intensa alteración que se observa en determinados tipos de rocas carbonatadas (calcisiltitas) dolomitizadas y con un origen geológico muy específico, extraídas en canteras cercanas a la ciudad de Tarragona.

Los ensayos de laboratorio demostraron que estos materiales dolomitizados, especialmente las calcisiltitas con dolomita tipo "Llorito", no tenían unas características petrofísicas (porosidades, absorción de agua) que justificaran por sí mismas esta aceleración del proceso de deterioro; ni siquiera la tendencia al hinchamiento detectada justificaba, por sí misma, este comportamiento. Por estas razones se prestó especial atención a estas fábricas dolomíticas.

En primer lugar nos encontramos que no existía un estudio petrológico de las fábricas dolomíticas de las facies miocénicas de Tarragona. Sin embargo se habían descrito algunos

ejemplos de dolomitas zonadas afectadas por procesos de dedolomitización en yacimientos geológicos (Holail y otros, 1987) y existía una amplia bibliografía sobre estos procesos (Groot, 1967; Evamy, 1967; Tucker, 1990).

Se habían citado, además, algunos casos de dedolomitización en materiales pétreos carbonatados usados en monumentos (Caner, 1985; Sebastian y otros, 1992), que explican la paragénesis salina de las eflorescencias asociadas a estos procesos, simplemente, por las pérdidas de magnesio por parte de los sillares. En cambio Caner (1985) describe, además, la formación de costras microdolomíticas en el área de contacto entre la roca y el cemento tipo portland.

También se habían señalado otros casos de neoformación de dolomita en ambientes urbanos, denominada dolomita autógena en procesos, relacionados con la formación de costras de yeso (Del Monte y Sabbioni, 1980. Rodríguez y Sebastian, 1993).

Estos procesos de destrucción diferencial o preferente de estas fábricas de dolomita, son de carácter cristalquímico y no tienen una dependencia directa con la porosidad, sino que, al contrario, ejercen una influencia muy importante sobre la evolución de la red de vacíos durante los procesos de alteración y ataque salino.

Se trata, pues, de comprobar si las fábricas "tipo" y los procesos de alteración descritos en yacimientos geológicos, eran un modelo que pudiese aplicarse a una obra arquitectónica de sillería. Aún más, si este proceso por causas extrínsecas se aceleraba en su puesta en obra, (humedades, sales, orientación, etc.).

Por otra parte y de forma similar a lo descrito por Caner (1985) se observaron unas costras periféricas de sillar que solo se desarrollan en este tipo de rocas procedentes de "Les Coves del Llorito" con fábricas dolomíticas, y siempre en contacto con el mortero de la junta. Esto hizo sospechar que en esas zonas se haya producido algún tipo de neoformación mineral, por lo que se ha estudiado la naturaleza, tanto del mortero como de las costras, para establecer su composición y sus posibles mecanismos de formación.

En definitiva este trabajo de investigación se plantea dos objetivos de estudio:

- Los materiales utilizados en una área monumental de gran interés histórico y patrimonial y su estado de conservación.
- Determinar las causas de la alterabilidad de un tipo especial de rocas con fábricas dolomíticas singulares, cuya destrucción acelerada es un ejemplo de la importancia que en algunos casos puede tener la composición mineral, incluso mucho más relevante que la que se debe a otros factores, y que produce lo que podemos denominar predisposición de origen diagenético a la alteración.

2 METODOLOGÍA Y FASES DE TRABAJO

2.1 METODOLOGÍA GENERAL

Los dos objetivos principales de este trabajo son, como ya se ha dicho:

- Establecer el estado de conservación de un conjunto significativo de monumentos romanos de la antigua ciudad de Tarraco.
- Determinar los procesos de cambio mineralógico y textural que sufren la litologías más débiles y alterables allí presentes.

Pero establecer el estado de conservación de un edificio histórico es en sí un proceso complejo, que podemos determinar mediante las siguientes fases de estudio:

- Documentación histórico-arquitectónica que nos indica la edad, las fases de construcción, de restauración y las técnicas constructivas empleadas.
- Realización de un "mapping" litológico de los materiales de construcción.
- Determinación del origen de los materiales, esto es la localización de las canteras de procedencia, en esta fase se combinan los datos histórico-arqueológicos con la cartografía geológica de la zona.
- Estudio geológico-estratigráfico de las áreas de extracción.
- Estudio petrológico de los materiales de las canteras y el monumento.
- Conocimiento de la naturaleza y patología de los otros materiales empleados, morteros, metales y de carácter cerámico, así como su interacción con la roca.
- Determinación de la naturaleza de los recubrimientos biogénicos y su interacción con el sustrato rocoso.
- Identificación de los recubrimientos pictóricos y las pátinas cromáticas.
- Realización de un "mapping" de las formas de alteración.
- Determinación del flujo de humedades tanto de carácter vertical como procedente del interior del muro.
- Caracterización petrofísica de la roca (porosidades, densidades, propiedades hídricas y mecánicas) y caracterización alterológica.

Pero todo este conocimiento no puede reducirse a un simple listado de datos, una diagnosis con carácter científico debe dar lugar a una modelización dinámica donde interaccionan todos estos materiales y su entorno, tanto físico como biológico. Además debe permitir evaluar con la máxima aproximación que sea posible su cinética, esto es el grado de aceleración de la alteración que ha sufrido un determinado tipo rocoso desde su puesta en obra.

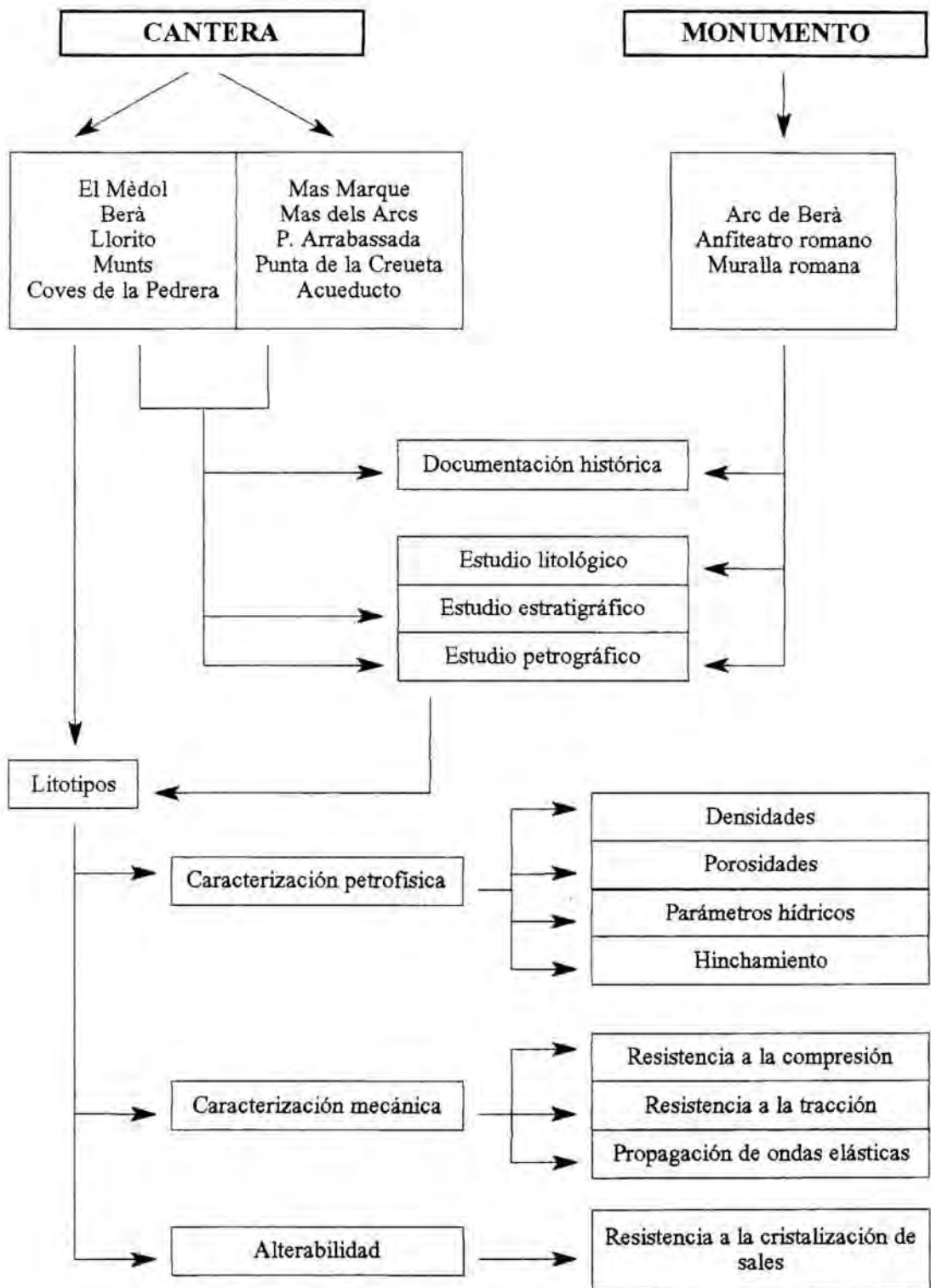
Para el logro de estos objetivos la investigación ha sido estructurada en cinco fases, que han abarcado los diversos temas según el esquema siguiente:

- fase I:** ESTUDIO DE LOS MATERIALES PÉTREOS.
- fase II:** ESTUDIO DE LAS FORMAS DE ALTERACIÓN.
- fase III:** DETERMINACIÓN DE LOS COMPONENTES SALINOS DE NEOFORMACIÓN EN COSTRAS Y EFLORESCENCIAS.
- fase IV:** ESTUDIO DE LAS FABRICAS DOLOMÍTICAS Y SUS PROCESOS DE ALTERACIÓN.
- fase V:** ESTUDIO DE LAS COSTRAS PERIFÉRICAS DEL SILLAR, Y DE COMPUESTOS CARBONATADOS DE NEOFORMACIÓN.

2.2 ESTUDIO DE LOS MATERIALES

Por razones estratigráficas, dada la dispersión de las canteras y la falta de una cartografía adecuada del mioceno de la zona, se estudio un conjunto de 10 canteras, esto nos permitió definir las facies y litotipos correspondientes. Posteriormente gracias a este estudio estratigráfico previo, se determino que solo cinco canteras habían suministrado material de sillar a los tres monumentos seleccionados, por lo que los estudios de caracterización petrofísica y de alterabilidad solo se centraron en las rocas procedentes de estos yacimientos.

En su aspecto petrológico las fábricas dolomíticas se estudian primero como apéndice forzado del estudio geológico de estos yacimientos. Las formas y procesos de su alteración así como los agentes químicos responsables de ellos se estudian más adelante (fase IV).

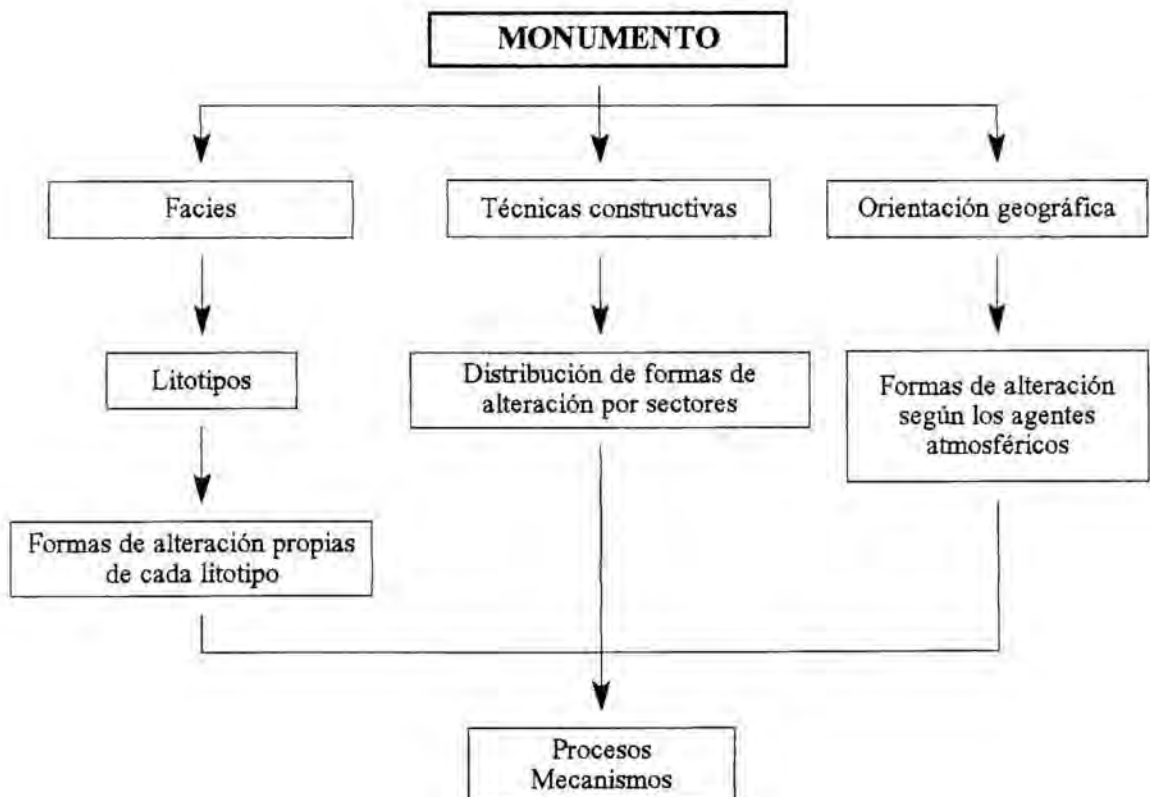


2.3 ESTUDIO DE LAS FORMAS DE ALTERACIÓN

Los "mapping" de las formas de alteración se ha realizado sobre fotografía y sobre el alzado arquitectónico de las fachadas, teniendo en cuenta la simbología y la terminología usada en numeroso trabajo (Esbert y Marcos 1983, Fitsner, 1990), convenientemente modificada para adaptarse a la realidad observada.

Este tipo de "mapping" esencial en un estudio de diagnosis, permite identificar las formas de alteración, los tipos de rocas más susceptibles al deterioro y permite localizar áreas de singulares características, debidas a la orientación y a las técnicas constructivas empleadas. La degradación es particularmente intensa en la Muralla Romana sector Paseo de San Antonio, y algunos sectores del Anfiteatro Romano

La recopilación documental sobre la historia de estos monumentos, complejos por su antigüedad y sus dimensiones y que presentan diversas fases constructivas, con reparaciones o restauraciones posteriores, permite comprender mejor la evolución del monumento, y es fundamental para entender la posible dependencia entre los materiales empleados y las importantes patologías generadas.



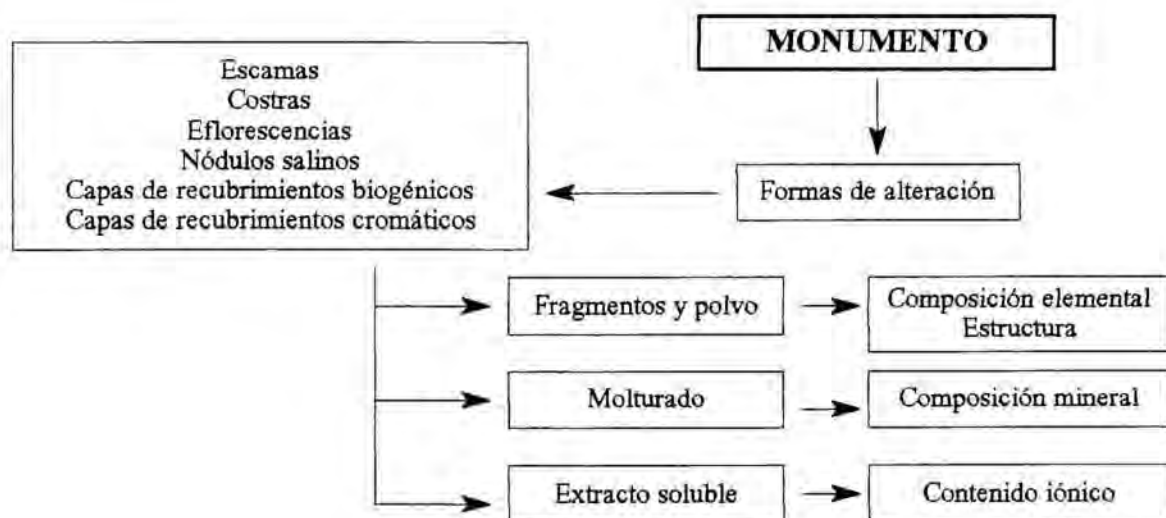
2.4 DETERMINACIÓN DE LOS COMPONENTES SALINOS DE NEOFORMACIÓN EN COSTRAS Y EFLORESCENCIAS

El "mapping" realizado en un edificio histórico, constituido con materiales rocosos debe ir seguido de un análisis de las formas de alteración y de las sales solubles presentes en la red porosa de la de la piedra (análisis de las extracciones acuosas y la difracción de rayos X). De este modo se ha podido determinar la composición de estas sales y su porcentaje, así como la mineralogía de las costras y de las eflorescencias.

Además, de acuerdo con los trabajos de investigación más recientes (Esbert, Marcos 1983, Trewin 1988), se ha realizado mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) un estudio de las formas de alteración más significativas.

El microanálisis con espectroscopía de rayos x (SDE) acoplado al MEB, ha permitido establecer con precisión la composición elemental y la estructura de costras y eflorescencias, pero también su morfología cristalina, sus asociaciones o paragénesis salinas y, en algunos casos, sus secuencias de cristalización.

Esta información, a escala microscópica, complementa la observación macroscópica del "mapping" y permite establecer mejor los mecanismos del deterioro, con lo que la diagnosis adquiere un valor científico más preciso.

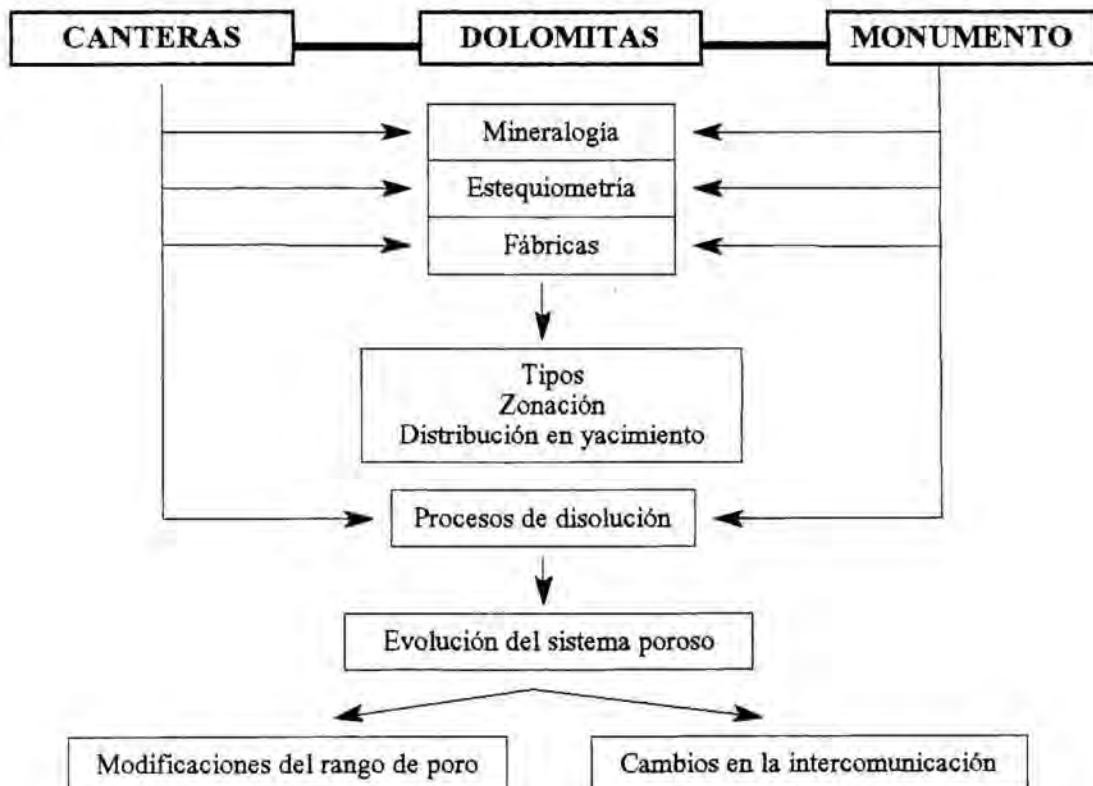


2.5 ESTUDIO DE LAS FÁBRICAS DOLOMÍTICAS Y SUS PROCESOS DE ALTERACIÓN

El estudio de los materiales y de las formas de alteración del monumento nos han permitido descubrir un caso singular de degradación acelerada en rocas carbonatadas que presentan diversos grados de dolomitización. Se trata de un importante fenómeno, que adquiere gran trascendencia en estas facies, por lo cual es objeto de especial atención en nuestro estudio.

La aplicación de diversas técnicas de microscopía (óptica y electrónica), así como las técnicas de análisis puntual (MEB+SDE), tienen como finalidad no solo establecer con precisión la mineralogía inicial de estas fábricas, sino, además, determinar la naturaleza intracristalina de estas dolomitas, producto de la diagénesis.

Mediante el estudio de la evolución del sistema poroso y de las modificaciones que han tenido lugar tanto morfológicamente (microscopía óptica y electrónica) como volumétricamente (porosimetría de mercurio) se ha buscado una comprobación y una explicación a la aceleración del proceso de deterioro, patente a partir de la puesta en obra de la roca y su exposición al ambiente urbano. Los mecanismos de destrucción cristalina modifican la red de vacíos y la textura petrológica general y marcan el nuevo comportamiento de la roca.



2.6 ESTUDIO DE LAS COSTRAS PERIFÉRICAS DE SILLAR Y DE COMPUESTOS CARBONATADOS DE NEOFORMACIÓN

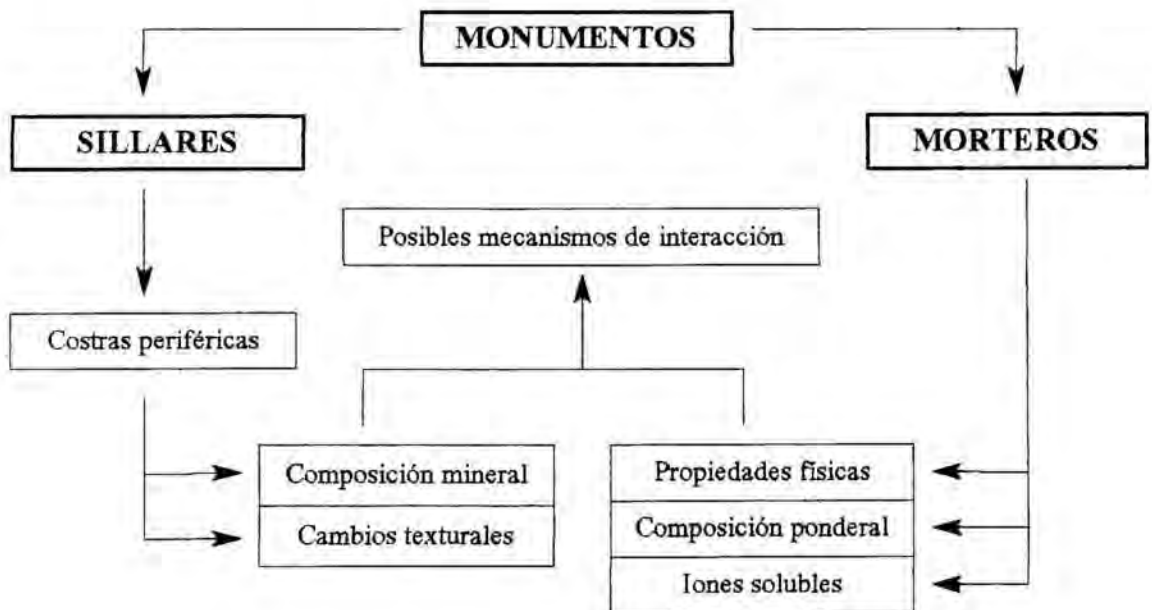
Las costras periféricas, observadas en los sillares de estos monumentos,, tienen unas características muy peculiares, ya que solo se producen cuando las calcisiltitas con fábrica dolomítica están en contacto con los morteros de las juntas del sillar.

El tipo de circulación de agua por el paramento, tanto en filtraciones como percolaciones es muy importante, para que se desarrolle este fenómeno de endurecimiento periférico en el sillar. Todo ello parecía indicar la existencia de un mecanismo singular de neoformación mineral.

Tras un muestreo selectivo de estas formas de alteración, se ha realizado un estudio mineralógico de las costras, del porcentaje calcita-dolomita y de las posibles variaciones estequiométricas de cada especie mineral.

También se ha intentado observar sus cambios texturales por medio de microscopía óptica y electrónica (MEB).

Por otra parte se han analizado los morteros de junta, se han determinado los diferentes tipos, así como su composición ponderal y la posible presencia de sales. Todo ello constituye un indicador de la durabilidad y de posibles interacciones químicas entre la piedra del sillar y los diferentes tipos de mortero.



Instrumental Utilizado

- Microscopio electrónico de barrido. (MEB)
S-120 Cambridge Instrument
JEOL-JSM 840

Con sistema acoplado de análisis puntual tipo SDE y detector de retrodispersados. Software AN10000 EDS (Link).
- Microsonda de electrones.
CAMECA. X50
- Catodoluminiscencia.
Sistema Technosyn Luminiscence model 8200. MKII-Nikon
- Porosimetría de mercurio
 - Porosímetro Serie 200 Carlo Erba
 - Porosímetro Serie 2000 WS Carlo Erba.
- Ensayos mecánicos-Compresión/Tracción.
Prensa Multitest de 20 T
- Ultrasonidos
New Sonicviewer-Modelo S217A-OYO Corporation.
- Cromatografía Iónica-HPLC
 - Metrolem 690 con detector conductivimétrico
 - Columna Hamilton (PRP-X100)
- Difracción de Rayos X
 - Difractómetro Siemens D. 500 (Tub. Cu)
 - Detector de Sc monocromador de grafito.
- Autoanalizador de Aminoácidos "Pharmacia LKB" Biotechnology alpha-plus serie TWO.
- Espectroscopio de Infrarojo (modelo MB-120 BOMEM)

Con microscopio acoplado (FTIR-Spectra- TECH)
- Sonda Termohigrométrica NOVASIMA MSI (MIK 3000)

3 ESTUDIO DE LOS MATERIALES Y LAS ÁREAS DE EXTRACCIÓN

3.1 INTRODUCCIÓN

Las canteras que hemos estudiado corresponden a explotaciones romanas, aunque luego hayan podido ser reutilizadas en épocas más modernas. Para poder tener una cierta garantía arqueológica y así localizar y describir estas canteras, se estableció un plan de trabajo de campo con la arqueóloga C. Benet, la cual estaba colaborando, por encargo del "Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya", en el "Inventari del Patrimoni Arqueològic" de Cataluña. Esto permitió una localización más exacta y una referencia histórica adecuada.

En este sentido, cabe citar desde los antiguos textos del siglo XVI, de Josep Iglesias y de Lluís Pons d'Icart (1573), en los que se citan los diferentes tipos de piedra que se obtienen de las montañas cercanas a Tarragona. Más cercanos están los trabajos realizados en el siglo pasado por Albiñana y otros (1849). Posteriormente, y a mediados de nuestro siglo, aparecen los estudios de B. Hernández Sanahuja y J. M. Torres (1946). Los más modernos han sido realizados por J. Massó sobre las Cantera del "Médol" (1987), por M. D. del Amo sobre "Els Munts" (1981), y el más general es de L. Merino y J. A. Muñoz, sobre las canteras de Tarragona (inédito). También nos han servido de referencia los esquemas y la información documental recogida por X. Dupré en la elaboración de su tesis monográfica sobre el "Arc de Berà", que fue utilizada en la elaboración del proyecto de restauración de este monumento, del arquitecto J. Costa, y en el cual colaboramos en el aspecto geológico y de diagnosis de la alteración (Amorós, 1994)

Pero la referencia más cercana a un estudio geológico de canteras romanas de Tarragona es la realizada por A. Alvarez y E. Bru (1984). En este sentido es especialmente interesante para nosotros la información recogida sobre "Las Pedreras del Acueducto" y "Les Coves de la Pedrera".

Esta información documental no era suficiente para poder conocer tanto el origen de los materiales de los monumentos estudiados como las causas de las formas de alteración observadas. Por eso nos planteamos un estudio geológico más profundo, de carácter especialmente estratigráfico y petrológico, de los yacimientos explotados por los romanos.

Los materiales que constituyen los sillares y elementos constructivos de la zona arqueológica y monumental romana de Tarragona, pueden clasificarse en dos grandes grupos petrológicos, que son las calizas cretácicas y los materiales correspondientes a las facies miocénicas.

Los materiales cretácicos no han sido estudiados aquí, porque en los monumentos romanos de Tarragona su uso en la obra de sillería ha sido muy limitado.

En cambio, las facies miocénicas constituyen la mayor parte de la obra de sillería (opus quadratum) y los procesos de alteración de estas facies miocénicas, claramente relacionados con la composición petrológica, inciden de manera determinante en el estado de deterioro observado.

Aunque han sido localizadas unas doce áreas de extracción, nos hemos centrado en las nueve más significativas (ver An-3/1 y An-3/2):

- "El Mèdol"
- "Mas del Marqués"
- "La Punta de la Creueta"
- "La Platja de L' Arrabassada"
- "Roda de Berà"
- "La Platja dels Capellans - Els Munts 1"
- "El Mas dels Arcs"
- "Les Coves del Llorito"
- "Les Coves de la Pedrera"

3.2 UNIDADES Y FACIES

La cantera "La platja del Capellans /Munts 1" pertenece a la Secuencia Depositional de Garraf (Langhiense / n.-8, Zonas Blow, Porta y Cívís 1990). El resto de las canteras corresponden a la Secuencia Depositional de Tarragona (Serravaliense inferior / n.-9 y 10, Zonas Blow) (Porta y Cívís 1990). Estos materiales constituyen, una secuencia deposicional en el sentido de Haq y otros (1987) y están relacionados con un determinado ambiente marino, caracterizado como una plataforma mixta carbonatada y siliciclástica (Cabrera y Calvet, 1990; Agusti y otros, 1990). Esta secuencia corresponde a un prisma deposicional en "onlap", formado en un periodo transgresivo, y que se dispone tanto sobre la plataforma carbonatada del Langhiense como sobre el sustrato mesozoico, erosionado posteriormente y dando lugar a una plataforma abrasiva, a veces intensamente carstificada.

Por otra parte, estos materiales reflejan la activa dinámica tectónica de distensión, con subsidencias diferenciales, así como los múltiples cambios eustáticos que en general se sucedieron en el Mediterráneo en este periodo. Todos estos factores explican su compleja estratigrafía, con importantes variaciones, tanto horizontal como verticalmente.

Esta Secuencia Depositional de Tarragona ha sido subdividida en cuatro unidades litoestratigráficas (Barnoles y otros, 1983):

- Unidad Vespella
- Unidad Ardenya
- Unidad Vilabella
- Unidad Renau

Según se desprende de la descripción y localización estratigráfica de estas unidades, las canteras estudiadas corresponderían a la Unidad Ardenya, sin descartar que algún tramo inferior o superior, de alguna de las mismas, pueda corresponder a otra unidad, ya que de hecho la Unidad Ardenya presenta un tránsito lateral y vertical a facies litorales (Unidad Vilabella) y restringidas (Unidad Renau). El conjunto sedimentario de estas tres unidades tiene un carácter granocreciente y somero, constituyendo un cortejo sedimentario de alto nivel de mar Hst (higstand system tracts) (Haq y otros, 1987).

Por otra parte, este grupo de canteras puede clasificarse de manera más simple, en facies diferentes, entendiéndose por facies un conjunto de estratos o series estratigráficas con unas características determinadas de composición mineral, restos fósiles y textura sedimentaria.

Hemos considerado mejor hablar de facies en sentido amplio que de litofacies, ya que este último término nos limita a una composición mineral y litológica muy determinada, que no es el caso de las áreas de extracción estudiadas.

Así pues estos yacimientos pueden clasificarse en dos grandes tipos de facies:

- Facies "calci-dolosilitita"
- Facies "calcarenita"

Facies tipo "calci-dolosilitita"

Se trata de sedimentos de carbonatos de carácter mixto, calcarenitas y calcisilitas, en general de grano fino, con un porcentaje variable, pero siempre inferior al 15%, de fragmentos de silicatos (fundamentalmente de cuarzo) y algún litoclasto; su fina matriz también contiene arcillas y microfragmentos de otros silicatos. Se observa algún grano rodado de glauconita.

Esta facies presenta, además, diversos grados de dolomitización o contenido en dolomita. El contenido en fósiles es en general escaso, con bivalvos, foraminíferos, briozoos, restos de algas y algún fragmento de equínido, pero puede presentar algún nivel de acumulación, especialmente de ostreidos, en forma de "lag deposit".

El conjunto de estos sedimentos ha sido atribuido a ambientes costero-neríticos o de estuario (T.Bc3 - Bc/s11-12) tanto en la cartografía geológica publicada (Hoja N-473 1: 50000 del IGME correspondiente a Tarragona), como en algunas tesis doctorales realizadas en el área, especialmente la de J. Trilla (1971), que estudió la cuenca del río Francolí desde el punto de vista hidrogeológico.

Facies tipo "calçarenita"

Son calizas composicionalmente muy puras (más del 80 ó 90 % de calcita), en general muy bioclásticas (lo que les da cierto carácter lumaquéllico), con porcentajes variables de matriz arenosa o limosa. Los componentes detríticos son, en general, mucho más escasos que en la facies anterior y no suelen pasar del 3 ó el 5 %, en general en forma de fragmentos de cuarzo. El tamaño de grano puede ser ocasionalmente mayor, conformando una brecha calcárea tipo "roundstone".

Esta facies "calçarenita" podría, posiblemente, subdividirse en dos tramos, atendiendo a su contenido faunístico con lo cual coincidiría con tres de las cuatro facies descritas por Barnoles y otros (1983). Preferimos no hacerlo ya que las diferencias son especialmente paleontológicas, lo cual escapa a la finalidad que persigue este estudio.

En la cartografía geológica antes indicada, esta facies se denomina facies calcárea arrecifal (T.Bc3 - Bc/11-12). Creemos que, según se desprende de los estudios más modernos, realizados en el registro sedimentario miocénico, sería más exacto asimilarla a diversos ambientes marinos costeros, especialmente a los de tipo "barra".

3.3 ESTUDIO ESTRATIGRÁFICO DE LAS CANTERAS

En este apartado se hace la descripción estratigráfica de cada una de las canteras mencionadas, estableciéndose y describiéndose las series más representativas. Todo ello orientado al conocimiento más preciso de la roca utilizada en cada monumento. Conocidas las rocas en el yacimiento y, simultáneamente en los monumentos, podrá establecerse la correspondencia entre ambas.

3.3.1 Cantera del "Mèdol"

Está situada en las proximidades del área de peaje del mismo nombre de la autopista A.7 Barcelona-Tarragona, en el paraje denominado "El Clot del Mèdol", próximo al "Mas d'en Casido", y dentro del término municipal de Tamarit. (An-3/1)

Se trata, sin ninguna duda, de la mayor explotación romana del área de Tarragona y una de las mejor conservadas, realizada totalmente a cielo abierto. Tiene dos áreas bien definidas: sur y norte.

El área sur es aquella donde se encuentra un monolito, testigo de la profundidad alcanzada durante los largos años de explotación, y tiene una forma pseudorectangular, de lados desiguales y líneas quebradas. Las dos paredes principales subparalelas, constituyen los antiguos frentes de extracción del material, y se orientan casi en dirección N-S, formando una cañada artificial. La altura de las mismas puede oscilar en torno a los 12-15m, siendo en general algo más alta en la pared este que en la oeste.

El área norte tiene un perímetro mucho más irregular y las paredes de los frentes de extracción giran bruscamente hacia el NW. Es una zona más estrecha y mucho menos profunda, situándose en un nivel topográfica y estratigráficamente superior, en parte debido al relleno de bloques y

cascores que elevan el nivel de la plaza. El acceso a este área, desde la zona sur, se realiza mediante una brusca pendiente, algo escalonada.

Las características petrológicas de ambas áreas mantienen algunos elementos comunes: composición mineralógica muy similar, carácter calcarenítico y bioclástico, tonos y colores parecidos, y en general bastante porosas. Pero, en realidad, la serie en sí no es tan homogénea como parece a simple vista, y hay variaciones notables de tamaño de grano, cementación y porosidad.

Además el área norte se sitúa, fundamentalmente, en el tramo superior de la serie, lo que conlleva que el material tenga diferencias significativas, ya que una gran parte de los estratos explotados tienen una composición mucho más arenosa y presentan frecuentemente laminaciones muy marcadas y de bajo ángulo.

Es posible que estas diferencias de calidad ya fueran advertidas por los romanos, que por ello concentrarían su explotación en el área sur. Por estas razones nuestros estudios estratigráficos y de caracterización petrofísica tuvieron como objetivo preferente la zona sur de la cantera, sin que por ello dejáramos de muestrear y caracterizar algunos puntos más dispersos e interesantes del área norte.

Desde el punto de vista estratigráfico se han levantado tres columnas estratigráficas, casi verticales, dos en la pared occidental del área sur (Series "Mèdol" 1 y "Mèdol" 2) y una en el área septentrional ("Mèdol" 3), situada en un nivel topográfico y estratigráfico más elevado. En conjunto las tres comprenden casi toda la serie explotada. Además, en la pared oriental, se realizó un muestreo sistemático mediante dos columnas paralelas (Series "Mèdol" 4 (SA1 - SA12) y "Mèdol" 5 (SA13 - SA20)), el cual permitiría un posterior estudio con microscopio petrográfico y, a su vez, una correlación detallada entre ambos frentes de explotación (An-3/3).

Serie "Mèdol" 1 (pared W)

(An-3/4)

Esta sucesión, de carácter biocalcarenítico, puede observarse en la pared occidental, y atendiendo al tamaño de los granos y sobre todo a los niveles de discontinuidad, la serie puede ser dividida en tres tramos (An-3/5). En efecto, el tramo inferior, de 3 a 5 m. de potencia, tiene un tamaño de grano algo más fino que el resto de la serie, conteniendo abundantes fragmentos de foraminíferos, bastantes bivalvos y algún resto coralino, así como briozoos y radiolas de equinidos.

El tramo medio, de 1.5 m. de espesor, que también está presente en la pared este de la cantera, es de grano más grueso que el anterior, masivo y bastante homogéneo y se sitúa entre dos niveles de discontinuidad, posiblemente de tipo "hardground". Tiene un carácter netamente calcarenítico, con una suave gradación cromática, dentro de la gama del rosa, aunque la base se halle algo rubefactada; presenta, además, pequeñas cavidades cársticas.

El tramo superior, de unos 5 m. de espesor, se sitúa sobre el segundo nivel de "hardground" y tiene en la base un fino nivel lutítico de unos 20 cm. Pero hay un cambio brusco y sobre este pequeño estrato basal, se desarrolla un conjunto sedimentario muy masivo y compacto, mucho más cementado que los tramos inferiores.

Estos dos últimos tramos contienen fragmentos de bivalvos (principalmente pectínidos), placas y radiolas de equinidos y escasos foraminíferos.

La porosidad móldica, producto de la disolución diferencial de algunos tipos de bioclastos, está muy desarrollada en toda la serie, aunque con diferente grado o intensidad. En algunos estratos los

poros están bastante vacíos, dando una elevada porosidad, pero en otros casos los poros están parcial o casi totalmente rellenos de cemento esparítico.

Serie "Mèdol" 2 (pared W)

(An-3/6)

Esta columna está realizada unos veinte metros más al norte de la columna anterior, pero dentro de la pared occidental, aunque con un pequeño desplazamiento lateral de unos cinco metros a media altura, para acceder a los niveles más altos de la serie. Igualmente tiene carácter calcarenítico.

Podemos distinguir los siguientes tramos:

El tramo inferior es muy similar al tramo medio de la columna "Mèdol" 1; tiene escasa potencia (unos 2 m.) y acaba con un nivel de "hardground", con una fuerte cicatriz erosiva. Este nivel de discontinuidad se corresponde con el segundo nivel de "Hardground" de la columna anterior. Por tanto, aquí no se observan los tramos más inferiores de la serie "Mèdol" 1, ya que estamos en una cota algo superior. Se nota, además, un ligero buzamiento de la serie de 8 a 10° hacia el WSW.

El tramo medio, que se corresponde al tramo superior de la columna "Mèdol" 1, está aquí mucho más desarrollado, con una gran potencia (casi 16 m.), y es de aspecto masivo, ya que apenas posee superficies de estratificación. Después de un pequeño episodio en el que aumenta la proporción de matriz micrítica y se reduce el porcentaje de bioclastos, se observa cómo la serie va adquiriendo, de forma más o menos gradual, una naturaleza arenosa, existiendo algún grano de cuarzo.

El tramo superior tiene una estructura más compleja. Se inicia con un primer nivel con laminación cruzada de bajo ángulo (los "foreset" buzan en torno a los 25°), muy marcada. A partir de aquí el tamaño de grano decrece algo, según se asciende, pero con fuertes oscilaciones, siendo en general muy arenosa la naturaleza de estos niveles.

La serie de esta cantera acaba en el área sur con varios niveles de base erosiva, con este tipo de laminación cruzada de bajo ángulo.

Serie "Mèdol" 3 (pared N)

(An-3/7)

Esta columna representa la parte más alta de la cantera. Presenta varios niveles de areniscas calcáreas, con laminación muy marcada, con un buzamiento de 30° E, pero que en su parte superior registra un cambio hacia el W (que podemos interpretar como una estructura del tipo "Herring bone". An-3/8.F-1). El conjunto tiene unos 5 m. de espesor. Por otra parte, estos niveles presentan una cicatriz erosiva y un claro carácter progradante; algunos bioclastos, especialmente los restos de equínidos (Scutellas), bastante enteros o poco fragmentados, se sitúan horizontales o muy paralelos a la laminación, por encima de los "foreset" (An-3/8.F-2). Este tramo podría relacionarse con la facies de dunas submarinas, ya identificada en las cercanías de la población de Ardenya, con claro carácter progradante; pero aquí, en la Cantera del "Mèdol", los componentes líticos son muy escasos y predomina siempre el carácter bioclástico.

La serie acaba, definitivamente, pasando a niveles masivos, de carácter bioclástico, de unos 3 m. de espesor, similares a los tramos iniciales, pero más bioturbados y con numerosos "burrows". Su contenido fosilífero es variado, con bivalvos y numerosos restos de Scutellas.

En conjunto, toda la serie que aflora en el "Mèdol" puede considerarse un modelo o "tipo" de la facies calcarenítica de la Unidad Ardenya. Sedimentariamente es bastante asociable con un ambiente carbonatado, tipo barra, que en la antigua bibliografía se denominaba facies arrecifal.

La pared E, cuyos niveles hemos estudiado mediante lámina delgada, presenta una clara correspondencia, al menos en general, con los niveles descritos en la pared W, desarrollándose, como es lógico, los dos niveles de "hardground", en ambos lados de la cantera aunque eso sí, a diferente nivel topográfico, a causa del buzamiento hacia el WSW) (An-3/3 y An-3/9).

3.3.2 Cantera Mas del Marqués

Se trata de un conjunto de explotaciones situado en el área del "Mas del Marqués", cercana al desvío que desde la carretera nacional CN-340, de Barcelona a Tarragona, conduce al camping Caledonia/Tamarit. Actualmente esta cantera se halla en la Urbanización "Platja de la Mora", que ha modificado notablemente la configuración original, lo cual dificulta en gran manera su estudio.

En realidad se trata de cuatro áreas de extracción a cielo abierto, bien definidas, tal y como refleja el trabajo sobre canteras romanas ya mencionado realizado para el "Inventari del Patrimoni Arqueològic" de Cataluña (C. Benet, 1991)), pero que nosotros hemos reordenado de una manera algo diferente, para simplificar su estudio estratigráfico. De esta forma se establecen las siguientes correspondencias (An-3/10):

Invent. Patrimoni Arqueològic	Cantera	Columnas estratigráficas
BASE		
CMM I I	CMM. 2	CM. 2
CMM I V	CMM. 3	CM. 3
		CM. 3+4
CMM I I I	CMM. 4 / CMM. 3'	CM. 4
TECHO		

La inversión de orden, realizada en las canteras CMM III y CMM IV, se debe a que su numeración no se corresponde con la lógica posición topográfica y estratigráfica. En cuanto a la pequeña cantera CMM. 3', no recogida en el inventario arqueológico, se ha incluido en nuestro trabajo por interés geológico, ya que es muy útil para establecer correlaciones estratigráficas dentro del área de explotación.

CMM.2

(An-3/11)

Situada en la parte inferior del valle; en ella se sitúan las paredes traseras de los jardines de la urbanización. Desde el punto de vista estratigráfico, los niveles de esta cantera son los más

parte por una casa. Correspondería, aproximadamente, al final de la serie CM.3 e inicio de la CM.4, o dicho de otra forma, sería la parte media de la sucesión CM3+4.

Presenta tres tramos muy distintos y diferenciados:

Una base arenosa y calcárea, con algo menos de 2 m. de espesor, con laminaciones de bajo ángulo dentro de una estratificación a gran escala, muy similar al tramo superior de la cantera del "Mèdol" (dunas submarinas). Está compuesta por pequeños fragmentos de bioclastos; su matriz es abundante y en conjunto la roca está poco cementada.

El tramo medio está constituido por un banco masivo de base erosiva, de unos 2 m. espesor, con carácter muy bioclástico cuyo tamaño de grano aumenta notablemente hacia el techo "roundstone", con matriz arenosa pero escasa, y mucha porosidad, tanto móldica como interparticular.

Finalmente, formando el techo de la serie, aparece una pequeña capa calcárea de 0.5 m. de espesor, arenosa y de gran tamaño de grano, también de tipo "roundstone", con cierto carácter brechoide; contiene algunos rodolitos y púas de equínido, con nódulos de limonita.

3.3.3 Cantera de "La Punta de la Creueta" - (Torre de los Escipiones)

(An-3/14)

Situada en el extremo nororiental de la "Platja Llarga" de Tarragona, en un pequeño cabo denominado "La Punta de la Creueta".

Esta explotación a cielo abierto, localizada a la orilla del mar, tuvo posiblemente algún nivel inferior de explotación que ahora se halla bajo el actual nivel de las aguas.

La cantera tiene un frente N-S, con un perímetro bastante rectangular. En ella se observa muy bien que hubo extracción de bloques de 180 x 100 x 50 cm., pudiéndose deducir cuales eran las técnicas de explotación.

En el frente se observan dos tramos, inferior y superior.

El inferior, calcáreo tiene abundante matriz micrítica, y un notable contenido fosilífero. Los restos de moluscos, con algunos ostreidos de gran tamaño, son muy frecuentes. También son numerosos los restos de equínidos (*Scutella*) bastante bien conservados y, posiblemente, algunos de ellos estén en posición de vida o con muy poco transporte, en contraste hay numerosos burrows y una importante bioturbación en la parte superior de este tramo.

La parte superior de la serie, con unos 2.5 m. de espesor, es más detrítica y bioclástica, con poca matriz micrítica, de claro carácter lumaquélico, con sedimentación masiva, y la ya descrita distribución de los bioclastos sin orientaciones preferentes. Los componentes también varían, los equínidos casi desaparecen y solo se observa algún fragmento aislado; de forma similar, disminuye la proporción de ostreidos. En cambio, aumenta la proporción de algas y foraminíferos, de forma notable, con algún rodolito aislado. Hay una elevada porosidad móldica bastante vacía, lo que le confiere un carácter muy poroso.

El cemento es esparítico, tipo "drusy", similar a lo observado en la cantera del "Mèdol". Pero su contenido en óxidos de hierro es superior, ya que se observan nódulos de limonita, y pátinas de óxidos de hierro en numerosos bioclastos.

parte por una casa. Correspondería, aproximadamente, al final de la serie CM.3 e inicio de la CM.4, o dicho de otra forma, sería la parte media de la sucesión CM3+4.

Presenta tres tramos muy distintos y diferenciados:

Una base arenosa y calcárea, con algo menos de 2 m. de espesor, con laminaciones de bajo ángulo dentro de una estratificación a gran escala, muy similar al tramo superior de la cantera del "Mèdol" (dunas submarinas). Está compuesta por pequeños fragmentos de bioclastos; su matriz es abundante y en conjunto la roca está poco cementada.

El tramo medio está constituido por un banco masivo de base erosiva, de unos 2 m. espesor, con carácter muy bioclástico cuyo tamaño de grano aumenta notablemente hacia el techo "roundstone", con matriz arenosa pero escasa, y mucha porosidad, tanto móldica como interparticular.

Finalmente, formando el techo de la serie, aparece una pequeña capa calcárea de 0.5 m. de espesor, arenosa y de gran tamaño de grano, también de tipo "roundstone", con cierto carácter brechoide; contiene algunos rodolitos y púas de equínido, con nódulos de limonita.

3.3.3 Cantera de "La Punta de la Creueta" - (Torre de los Escipiones)

(An-3/14)

Situada en el extremo nororiental de la "Platja Llarga" de Tarragona, en un pequeño cabo denominado "La Punta de la Creueta".

Esta explotación a cielo abierto, localizada a la orilla del mar, tuvo posiblemente algún nivel inferior de explotación que ahora se halla bajo el actual nivel de las aguas.

La cantera tiene un frente N-S, con un perímetro bastante rectangular. En ella se observa muy bien que hubo extracción de bloques de 180 x 100 x 50 cm., pudiéndose deducir cuales eran las técnicas de explotación.

En el frente se observan dos tramos, inferior y superior.

El inferior, calcáreo tiene abundante matriz micrítica, y un notable contenido fosilífero. Los restos de moluscos, con algunos ostreidos de gran tamaño, son muy frecuentes. También son numerosos los restos de equínidos (*Scutella*) bastante bien conservados y, posiblemente, algunos de ellos estén en posición de vida o con muy poco transporte, en contraste hay numerosos burrows y una importante bioturbación en la parte superior de este tramo.

La parte superior de la serie, con unos 2.5 m. de espesor, es más detrítica y bioclástica, con poca matriz micrítica, de claro carácter lumaquéllico, con sedimentación masiva, y la ya descrita distribución de los bioclastos sin orientaciones preferentes. Los componentes también varían, los equínidos casi desaparecen y solo se observa algún fragmento aislado; de forma similar, disminuye la proporción de ostreidos. En cambio, aumenta la proporción de algas y foraminíferos, de forma notable, con algún rodolito aislado. Hay una elevada porosidad móldica bastante vacía, lo que le confiere un carácter muy poroso.

El cemento es esparítico, tipo "drusy", similar a lo observado en la cantera del "Mèdol". Pero su contenido en óxidos de hierro es superior, ya que se observan nódulos de limonita, y pátinas de óxidos de hierro en numerosos bioclastos.

La serie acaba con un pequeño banco o capa de caliza bastante compacta y poco porosa, con una elevada concentración de rodolitos, distribuidos irregularmente. La base del estrato es ligeramente erosiva.

Es interesante hacer constar que sólo se ha explotado el tramo bioclástico superior, cuestión que fue comprobada con el "mapping" litológico de los monumentos estudiados en el área de Tarragona.

3.3.4 Cantera de "La Platja de L'Arrabassada"

(An-3/15)

Está situada en el extremo suroccidental de la playa del mismo nombre, en el término municipal de Tarragona, cercana a la "Punta Grossa". Se trata de una pequeña explotación a cielo abierto y a la orilla del mar.

La serie es muy simple y de escasa potencia. Consta de dos tramos muy diferentes.

La parte inferior es la típica caliza bioclástica, de unos 3 m. de espesor, de carácter calcarenítico, ya descrita en las canteras anteriores. Su contenido fosilífero también es parecido, con fragmentos de bivalvos (pectínidos especialmente), gasterópodos y equínidos. La fracción detrítica (granos de cuarzo) es bastante más abundante que en las otras canteras de facies calcarenita. La base tiene una cierta fracción arenosa que disminuye hacia el techo de la capa. La porosidad es móldica pero, a diferencia de otras canteras, los poros se hallan muy cementados (reellenos) por esparita ("drusy"). Además, el contenido en óxido de hierro es importante. En conjunto, pues, es mucho más compacta que las otras biocalcarenititas estudiadas.

El tramo superior está constituido por un nivel de arenas calcáreas, de unos 2 m. de espesor, sin fósiles pero con numerosos burrows y muy bien seleccionadas. La granulometría de la arena bien seleccionada y su textura, parecen ser indicativos de un posible ambiente de playa. Debido a la intensa bioturbación que ha tenido el sedimento no se pueden observar ni laminaciones ni estructuras significativas propias de este tipo de ambientes.

3.3.5 Canteras de "Roda de Berà"

(An-3/16)

Son dos explotaciones situadas en la urbanización "Ensanche Residencial" de "Roda de Berà", dentro del parque natural de "San Bertomeu".

La primera explotación (CRB. 1), es a cielo abierto, y es la más importante de las dos en cuanto a extensión y volumen extraído. Ocupa la vertiente S de un pequeño montículo. El frente de arranque tiene dirección SW-NE, con bancos escalonados que forman una amplia gradería.

La segunda explotación (CRB. 2) es menos extensa. Se sitúa en la vertiente opuesta del mismo montículo, en su cara N.

CRB. 1

(An-3/17)

La sucesión de esta cantera parece ser un conjunto bastante homogéneo, de unos 13 m. de espesor, compuesto por biocalcarenitas de grano fino, con abundante matriz micrítica, y con ciertos niveles más lutíticos. En la parte superior hay algún tramo de consistencia más arenosa. Sobre esta secuencia principal se observa un tramo muy pequeño, de menos de 20 cm. de espesor, de arenas con laminación cruzada de bajo ángulo, que se apoya sobre un pequeño banco de arenas calcáreas.

Los bioclastos tienen una distribución desigual, que podría ser debida a procesos sedimentarios denominados amalgamamiento, concentrándose en bolsadas.

Los componentes son fragmentos de foraminíferos, ostreidos, pectínidos y bivalvos en general. También hay fragmentos de briozoos (principalmente laminares). En la parte media parece haber una cierta bioturbación.

Finalmente la serie acaba con una pequeña capa arenosa de menos de 1m de espesor, con una suave cicatriz erosiva y con bastantes restos de equínidos y "burrows" de gran tamaño.

CRB. 2

(An-3/18)

Se compone de dos tramos bien diferenciados: inferior y superior.

El tramo inferior (9 m. de espesor) está algo más cementado por esparita que en la CRB. 1, pero sigue presentando un carácter biocalcarenítico, con una composición similar; contiene fragmentos de bivalvos y foraminíferos, y son más frecuentes los restos de equínidos. Este tramo acaba con unas areniscas limosas o lutíticas, que prácticamente son unas calcisiltitas, que alcanzan entre 1 y 2 m. de espesor.

El tramo superior (de algo menos de 3 m. de espesor) se inicia sobre una suave cicatriz erosiva, con un banco de aproximadamente 1 m. de espesor, muy similar a la parte superior de CRB. 1, aunque algo más calizo, con restos de bivalvos y equínidos bastante completos, y "burrows" de gran tamaño. A continuación se observan dos capas de calizas, separadas por finos niveles de lutitas que presentan varias cicatrices erosivas.

La correlación estratigráfica se puede establecer a partir de los niveles situados en la parte superior de ambas canteras, especialmente mediante este último nivel arenoso que contiene restos de bivalvos y equínidos (bastante enteros) y con grandes "burrows".

3.3.6 Canteras de "Els Munts 1 - Platja dels Capellans" y "Els Munts 2"

(An-3/19)

Según el inventario arqueológico ya aludido (C. Benet 1991) y el trabajo monográfico de M. D. del Amo (1981), son dos canteras situadas en el término municipal de Torredembarra: una en el área residencial "Els Munts" (Altafulla) y otra en la "Platja dels Capellans". Ambas son, desde el

punto de vista geológico, muy parecidas, y han sido explotadas a cielo abierto. La distancia entre ellas es alrededor de 2 o 3 Km.

La cantera de "Els Munts 2" es la mayor, estimándose el volumen extraído en 6385 m³, según M. D. del Amo (1981). La de la "Platja dels Capellans" es más modesta (unos 160 m³). No obstante es de resaltar la importancia de ambas como fuente de suministro de material en la obra romana tarraconense, tanto en la propia localidad para la construcción de la Villa del Munts, como en las obras monumentales de la ciudad de Tarraco.

La cantera de "Els Munts 1 - Platja del Capellans" es la de más fácil acceso y la mejor conservada, por lo cual centramos nuestro estudio sobre ella. Situada a la orilla del mar, en la punta meridional del Cap Gros, tiene un frente con dos escalones: el más próximo al mar, o inferior, de unos 50 m² y el superior, de algo más de 20 m².

El escalón inferior (y más amplio) sitúa su base de extracción entre 1.12 y 1.78 m. sobre el nivel del mar, con una suave inclinación hacia la playa. El segundo tiene una base de extracción más irregular, bastante quebrada, y que se sitúa entre 0.80 y 1.5 m. sobre el nivel del mar, según datos de la planimetría de M. D. del Amo (1981).

La base de la serie no es observable, ya que se encuentra bajo el actual nivel del mar. El primer nivel visible son unas capas de calizas arenosas, con abundante matriz, de algo menos de 1 m de espesor total. Por encima de estas capas se observan unas calizas de aspecto limoso, de grano muy fino, con intercalaciones de niveles más compactos y arenosos con concentración de bivalvos. El conjunto alcanza unos 4 m. de espesor. Después aparece un pequeño tramo arenoso de 1 m. de espesor. En este nivel de la serie se encuentran nódulos de limonita y óxidos de hierro en la matriz distribuidos de forma más irregular. El tramo superior, que constituye el techo de la cantera, es una caliza bioclástica de claro carácter lumaquélico, pero con abundante matriz limosa, de unos 2 m. de espesor, y que presenta cerca de su base una clara cicatriz erosiva.

Es especialmente significativa la concentración de foraminíferos en algunos niveles, y una textura tipo grainstone. También hay niveles de concentración de bivalvos (ostreidos). Además existen fragmentos de equínidos, briozoos y pectínidos, repartidos como bioclastos por todo el tramo inferior.

Son muy frecuentes los "burrows", que atraviesan las capas de sedimentos en todas direcciones. El tramo superior contiene una gran cantidad y variedad de restos fósiles-briozoos, pectínidos, gasterópodos y equínidos (*Scutella*) bastante enteros, con algún coral; los foraminíferos, en cambio, son escasos. El buen estado de conservación de los fósiles indicaría un escaso transporte, lo cual contrasta con las condiciones del tramo inferior que se sitúa por debajo de la cicatriz erosiva. También hay que mencionar la abundancia de finas vetas de carbonatos, que cortan la serie en varias direcciones, algunas subhorizontales, aunque la mayor parte sean oblicuas, entrecruzándose de forma irregular y siendo consecuencia de procesos posteriores de diagénesis.

3.3.7 Cantera de "Mas dels Arcs"

Se trata de tres áreas de extracción a cielo abierto, situadas en los alrededores de la masía Mas d'Angel, en el paraje "Mas dels Arcs".

La primera cantera (C. "Mas dels Arcs" 1) es la más próxima a "Mas d'Angel", apenas unos 30 m. antes de los restos del edificio de la masía. En el otro extremo de la finca, unos 100 m. hacia el SE, en el camino de "Mas Granell", se localizan las otras dos (C. "Mas dels Arcs" 2 y 3).

"Mas dels Arcs" 1 tiene un frente de explotación irregular, excavado bajo la superficie topográfica, lo que confiere un aspecto de socavón. Incluso es posible que haya existido una extracción mediante cueva o abrigo, hoy totalmente perdida. Las dimensiones pueden estimarse en unos 80 m. de longitud por 15 m. de ancho y unos 3 m. de profundidad.

"Mas dels Arcs" 2 es una cantera de la que se extrajo gran volumen, con un frente semicircular de 50 m. de radio, 15 m. de altura, que constituye un amplio anfiteatro esculpido en el lado norte del "Barranc dels Arcs".

Por el contrario, "Mas del Arcs" 3 es una pequeña explotación, muy cercana a la anterior, con un frente de apenas 2 m. de radio y la altura reducida (3.5 m.).

Las tres canteras han suministrado un gran volumen de material constructivo en época romana, aunque es muy difícil calcularlo, ya que los distintos frentes se hallan muy modificados, tanto a causa de la erosión como de una posible reutilización en épocas más recientes. No se realizó una correlación estratigráfica entre las distintas canteras, porque las dos primeras están muy separadas y entre ambas se observan bastantes cambios sedimentarios que, debido a las condiciones del afloramiento, no permiten realizar un estudio de campo completo.

C. "Mas dels Arcs" 1

(An-3/20)

Aunque la serie explotada en este punto sea de escasa potencia, ya que no alcanza los 3 m. de espesor total, es muy variada y tiene especial significado estratigráfico, pues presenta un claro cambio lateral, entre unos sedimentos de grano fino y carbonatados, con abundante matriz micrítica (similares a la parte alta del yacimiento de "les Coves de la Pedrera"), y otros de carácter más bioclástico y detrítico, con mayor tamaño de grano y que acaban superponiéndose. Esta parte superior está bastante cementada por esparita, y en ella se observa algún tramo con fina laminación.

En el tramo inferior de 1.5 m. de potencia, se encuentra intercalado un pequeño nivel carbonatado muy micrítico, de menos de 0.5 m. de espesor, que parece presentar algún resto de laminaciones, bastante difusas. Las otras capas de este tramo, más limosas, presentan restos de corales, rodolitos y nódulos de limonita, así como una cantidad importante de algas, foraminíferos, fragmentos de pectínidos y púas de equinidos. El conjunto parece algo bioturbado.

El tramo superior, integrado por las facies más detríticas, tiene un mayor contenido de fragmentos de bivalvos (pectínidos especialmente), y púas de equínido, con algún foraminífero, los rodolitos desaparecen progresivamente hacia el techo y no se observan restos de corales ni de algas. Como se indenta con el tramo inferior, su espesor es variable pero oscila entre 1.2 y 2.6 m.

C. "Mas dels Arcs" 2 y C. "Mas dels Arcs" 3

(An-3/21 y An-3/22)

La cantera C. "Mas dels Arcs" 3 es muy similar a la 2, dada su proximidad, por lo que no se observan especiales diferencias y por eso se describe una sola columna estratigráfica.

Presentan dos tramos bien diferenciados: uno inferior (3-4 m. de espesor), bastante lutítico, y otro superior (13-14 m. de espesor), bastante bioclástico y de aspecto algo arenoso pero

carbonatado, similar al tramo superior de la primera cantera aunque de grano más fino; la cementación es mayor que en el tramo superior, y siempre de tipo esparítico. El contacto entre ambos tramos es una cicatriz erosiva.

Los fragmentos de bivalvos, especialmente pectínidos, se encuentran presentes en toda la serie; en la parte inferior se concentran los restos de algas. Los foraminíferos disminuyen notablemente o desaparecen en el tramo superior; por el contrario aumenta la presencia de ostreidos, y los fragmentos de equínidos se sitúan en la zona media.

3.3.8 Canteras de "Les Coves del Llorito"

Esta denominación corresponde a una serie de canteras en las que el material era extraído en cuevas, conocidas popularmente con el nombre en catalán de "Les Coves del Llorito", todas ellas situadas en la base del cerro donde se sitúa la Ermita de Ntra. Sra. de Loreto, pocos kilómetros al NNE de Tarragona, y cercanas al término denominado "La Bulladera". Conocemos solamente tres de ellas, a las que hemos accedido para su estudio; con toda seguridad existían otras más, que han desaparecido a causa de hundimientos y la correspondiente actividad humana.

Hay que hacer notar que en el Inventario Arqueológico de Cataluña aparecen además de estas canteras de facies miocénicas, otras próximas que explotaron las calizas cretácicas de denominación "Santa Tecla". Por eso, dada la importancia que han tenido estas rocas del Mioceno en la construcción de la ciudad romana de Tarragona, consideramos que la denominación "El Llorito" debe respetarse y reservarse únicamente para la facies miocénica. De esta forma se evitan confusiones en la caracterización del material y en los estudios arqueológicos y de restauración.

En dicho inventario sólo se describen dos cuevas, la CL 1 y la CL 2. de las facies calci-dolosilita. La CL 3, que nosotros describiremos, probablemente no esta inventariada, y también pertenece a la misma unidad estratigráfica que las otras dos

Las tres cuevas se sitúan a diferente nivel topográfico, pero explotan prácticamente el mismo nivel estratigráfico. Esto se debe al ligero buzamiento de la serie, en dirección NW. Para evitar el hundimiento del techo de la cueva, los romanos emplearon la técnica de explotación con pilares.

La cueva A (columna Llorito 1), que denominamos CL2, está situada en el nivel topográfico más bajo. Tiene una altura de 4-5 m., con una entrada de unos 5 metros de ancho, que se estrecha hacia el interior, con un perímetro muy irregular; el fondo de la pared frontal no se encuentra a más de 7 m. de la angostura de entrada. A diferencia de las otras dos canteras, no posee pilares de explotación.

La cueva B (columna Llorito 2), que denominamos CL 1, es más grande y más alta, con 7 metros de altura, unos 9 metros de anchura y 8 de profundidad, tiene dos pilares que sostienen parte del techo. Además tiene bastantes recovecos, lo que le confiere un perímetro bastante irregular.

La cueva C (columnas Llorito 3 y Llorito 4), que denominamos CL 3, es de difícil acceso y está casi oculta por los desplomes. Es la cueva que está más alta topográficamente. Su amplitud es de unos 6 metros y su altura oscila entre los 6 y los 7 metros, pero tiene poca profundidad (apenas 4 metros); su perímetro es más regular y pseudorectangular. En esta última cueva también hay un pilar.

La cueva central B es la que presenta mayor potencia estratigráfica (An-3/23), con lo cual permite el mejor estudio. Por eso la escogimos como base de referencia de las otras dos canteras subterráneas. Se trata de una serie muy compleja en la que podemos diferenciar tres Tramos también presentes en la cueva C. En la cueva A sólo se observa el Tramo inferior.

Cueva A. El Llorito 1 (CL. 2)

(An-3/24)

La mayor parte de la sucesión estratigráfica presente en las paredes de la cueva (4.5 m. de espesor) está compuesta por calcisiltita. En su parte inferior (4 m. de espesor), prácticamente no hay restos fósiles observables a "visu", y sólo se detecta algún nivel aislado de concentración de ostreidos. Hacia el techo, los restos fósiles son más frecuentes (bivalvos, tanto pectínidos como ostreidos, y gasterópodos).

A unos 4 m. del suelo de la cueva aparece un nivel milimétrico de concentración de carbonatos. Por encima de este nivel los sedimentos presenta unas finas laminaciones y aumenta el tamaño del grano, siendo algo más arenosos y de un espesor total de 0.5 m. , son más numerosos los restos de "burrows".

Cueva B. El Llorito 2 (CL. 1)

(An-3/25)

En este lugar la serie alcanza su máxima potencia visible, (13 m.), y además se pueden observar las tres unidades características (An-3/26).

El Tramo inferior (Tramo 1), es muy similar a la sucesión estratigráfica que existe en la cueva A; tiene un espesor de 5.5 m.

El Tramo intermedio (Tramo 2) es muy compleja, pero podríamos dividirla en dos pequeños subtramos: El inferior (A), se desarrolla sobre una cicatriz erosiva (D), muy pronunciada, y está compuesta por calcisiltitas blancas, que hacia arriba pasan a calizas arenosas y finalmente a unas calizas de grano fino muy compactas y dolomitizadas, de colores ocre. Su espesor varía lateralmente, de forma irregular, entre 0.20 m. y 1 m. El subtramo superior (B) es la de naturaleza más compleja de la serie, presentando una acusada cicatriz basal; su espesor muy irregular, es siempre inferior o igual a 0.5 m., presentando los estratos un cierto aspecto "aboudinado".

En toda este Tramo intermedio se observan laminaciones centimétricas, muy contorneadas, de composición carbonatada ("convoluted beds"), con algunos nódulos de la misma composición. Todas estas estructuras se desarrollan en una matriz de calcisiltita blanca. Debido al lixiviado de esta matriz, el conjunto tiene un aspecto cavernoso. Hemos interpretado estas estructuras como producto de deslizamientos sinsedimentarios tipo "Slump".

La unidad superior (Unidad 3) forma el techo de la cueva y se compone de una biocalcarenita bastante cementada y de escasa matriz. Hay un elevado contenido fosilífero, con moluscos diversos (ostreidos, pectínidos y gasterópodos) y abundancia de equínidos (Scutella). Destaca la abundancia de burrows. El espesor de esta unidad 3, o tramo superior, oscila entre 5 y 6 m. Su base es también erosiva y más arenosa que la anterior.

Cueva C. El Llorito 2 y 3 (CL. 3)

(An-3/27, An-3/28 y An-3/29)

En general las dos columnas realizadas aquí se asemejan a la observada en la cueva B, pero con las siguientes diferencias:

El Tramo inferior (Tramo 1) tiene un espesor que oscila entre los 3.5 y los 5 m. Presenta "ripples" en su parte superior, además de finas laminaciones. Otra diferencia es el mayor contenido fosilífero, con ostreidos, y algún tramo con rodolitos.

El Tramo intermedio (Tramo 2) tiene un espesor variable (entre 1 y 1,5 m) y presenta los dos subniveles descritos anteriormente, pero no son tan marcadas las laminaciones tipo "convoluted bed". En cambio se observan numerosas marcas de corriente ("flute marks") y varios microcanales alargados, de textura muy fina y compacta de color marrón (An-3/30).

El Tramo superior (Tramo 3) tiene una gran concentración de "burrows" y una intensa bioturbación. También abundan los equínidos y son frecuentes los rodolitos. Su espesor es mucho menor que en las otras cuevas, pues está afectado por el nivel de erosión cuaternario y el efecto del suave buzamiento, ya mencionado; no sobrepasa, en consecuencia, 1.5 m. de potencia.

El nivel blanco milimétrico de concentración de carbonatos, descrito en la cueva A, está presente en la unidad inferior de todas las cuevas, pero puede haber más de uno. Por eso, la correlación entre las distintas columnas la establecemos a partir de la base del Tramo intermedio (Tramo 2), de carácter erosivo (An-3/23).

La extracción de material de construcción, en época romana, se centró exclusivamente en las calcisiltitas del Tramo inferior.

3.3.9 Canteras "Les Coves de La Pedrera"

Se trata de un conjunto de explotaciones que en su día fueron mayoritariamente subterráneas. Algunas de ellas aún conservan este carácter; otras tienen aspecto de abrigo (CCO1.1) o de cantera convencional, al haberse derrumbado parcial o totalmente su techo.

Se sitúan en las vertientes occidental y meridional de un pequeño grupo de colinas, denominado "Sant Pere Sescelades", próximo a la ciudad de Tarragona, en el lado oriental de CN-240 (Tarragona-Lérida), y en las inmediaciones de su paso bajo la Autopista A-7, al sur de ésta.

Estas canteras junto con las Canteras del Acueducto estudiadas por A.Alvarez (1984) constituyen una importante zona de explotación que suministró abundante material para construir los más importantes monumentos de la ciudad romana. Las Canteras del Acueducto no se han estudiado estratigráficamente, pero sus niveles inferiores coinciden con los tramos superiores de las

Coves de la Pedrera, lo que es de gran interés petrológico tal y como comentaremos en las descripciones en lámina delgada.

Se distinguen cuatro áreas de extracción: CCO1, CCO2, CCO3 y CCO4, alineadas de norte a sur paralelas al trazado de la carretera CN-240. La primera (CCO1) está en el extremo norte del área. Por el contrario, la CCO4 es la más meridional y alejada de la autopista (An-3/31).

Las canteras CCO1.1 y CCO1.2, al unir sus frentes lateralmente dan lugar a un gran talud artificial que corta la vertiente sur del Sant Pere Sescelades, lo cual se traduce en un aparente frente único de explotación y una gran explanada central. Aunque al menos parcialmente fueran excavadas en cueva, en la actualidad tiene todo el aspecto de una explotación a cielo abierto.

El área de extracción CCO2.1 se sitúa en la misma vertiente, un poco más al sudoeste y separada de las anteriores por un espolón, resto de la primitiva superficie del terreno y consecuencia de ambas excavaciones. La cantera en sí, esta en una cota ligeramente más alta que aquellas, constituye un abrigo artificial ya que su techo, fuertemente inclinado hacia el avance, coincide con un plano de falla inversa (6/46).

La explotación subterránea, que denominamos CCO 2.2, en su tiempo poseía dos niveles bien comunicados. El superior, hoy casi impracticable a causa de los continuos derrumbes, comunicaba con el extremo sur de la CCO. 1; el inferior es el que permite el acceso actual, mediante una pequeña entrada situada en un plano topográfico mucho más bajo y próximo a la CN-240.

Al lado de la anterior, más hacia el sur, hay otra pequeñísima cantera, sin comunicación alguna, que denominamos CCO2.2 bis.

En el mismo grupo de colinas, y todavía más al sur, en un nivel más elevado, se localizan dos canteras más, cuyos frentes están orientados hacia la pequeña vaguada donde se sitúa el acceso a la autopista. La primera (CCO 2.4) es una explotación a cielo abierto, con un frente de planta quebrada, de unos 10 m. de largo y pequeña altura (4 m.).

La otra CCO 2.3, la más alejada de la autopista es decir, la más meridional, es una cantera subterránea de notables dimensiones pero que no podemos precisar, dado el grado de deterioro de la misma, con pilares, y actualmente de escasa altura (1.5 m.) a causa de los rellenos y desplomes.

Además de la situación en planta (An-3/31) de todas estas canteras, podríamos situarlas en altura en tres niveles topográficos: el nivel superior lo ocuparían la CCO2.4 y CCO2.3, el segundo nivel estaría constituido por CCO1.1, CCO1.2 y CCO2.1, aunque con un cierto escalonamiento descendente hacia el norte, siguiendo el suave buzamiento general de la serie en esa dirección. Finalmente el nivel inferior lo ocupan la CCO2.2 y CCO2.2 bis.

Para caracterizar y situar estratigráficamente a estos yacimientos, se han levantado tres columnas estratigráficas. (An-3/32):

- Columna Les Coves 1: Realizada en el extremo N del área. Fundamentalmente representa la serie que se observa en la cantera CCO1.1.
- Columna Les Coves 2: Está situada en la zona central, tras el espolón artificial. Corresponde a las canteras CCO2.1 y CCO2.2, aunque no recoge toda la potencia que sería visible en la cueva inferior, debido a las dificultades de acceso que ésta presenta, en buena medida ocupada por bloques.
- Columna Les Coves 3: Situada en el extremo sur de la vertiente oeste, se ha realizado sobre la vertical de la cueva CCO2.2 bis. Comprende la serie completa; en ella se puede observar tanto el techo como la base del tramo de las dolosilitas, objetivo principal de su antigua explotación.

Columna "Les Coves" 1

(An-3/33)

La mayor parte de la altura de la cantera, está formada por un gran paquete de dolomías de grano fino, que denominaremos dolosilitas, muy masivas, de baja densidad y muy porosas, de color blanco grisáceo u ocre, que en conjunto tienen unos 7 m. de espesor y que podemos subdividir en dos tramos.

En el primer tramo (inferior) con unos 5 m. de potencia, de base lutítica se detectan algunos nódulos arenosos irregulares y, algo más arriba, algún pequeño canal de finas gravas redondeadas y arenas, mal clasificadas y de composición calcárea.

El segundo tramo tiene unos 2 m. de espesor. Se inicia con una cicatriz erosiva y en él se observa algún pequeño "slump" y olistolitos arenosos de tamaño decimétrico.

El límite superior de este segundo tramo es un contacto irregular y algo ondulado, que parece corresponder a un nivel festoneado ("scaloped surface") de origen cárstico. Esta interpretación se ve reafirmada por la presencia de laminaciones carbonatadas onduladas y de color marrón oscuro, que cortan la serie y que consideramos corresponden a espeleotemas. Además encontramos arcillas rosadas, intercaladas de forma dispersa y asociadas a estas laminaciones, que han sido frecuentemente descritas en la series estratigráficas de los paleocarst.

Por encima de esta superficie festoneada, hay un pequeño paquete de arenas calcáreas, bastante bien seleccionadas, porosas y poco cementadas, de color marrón claro. Contienen algún pequeño nódulo carbonatado. Esta capa pasa gradualmente a un sedimento micrítico marrón, que tiene alguna microgeoda de calcita relacionada con procesos de disolución. Este conjunto superior de estratos, que forma el escarpe de la cantera, apenas presenta fósiles y tiene en conjunto unos 2 m. de potencia.

Los primeros metros, esto es en el tramo inferior de la serie de aspecto limoso y puramente dolosilítico, contiene pocos fósiles, en forma de pequeños fragmentos y nódulos, pero a medida que se asciende (hacia el techo) aumenta la proporción, aunque en general no es elevada. Se trata de fragmentos de foraminíferos, algún coral y sobre todo, restos de algas (nódulos dolomíticos blancos de grano muy fino) y rodolitos.

Es muy importante destacar que, ya a nivel macroscópico, (observación en cantera), se detectan los cambios de composición y cemento. En efecto, hacia la parte superior del tramo dolosilítico se pasa de una textura granulada y fina, intensamente dolomitizada, a otra mucho más arenosa y compacta, de aspecto cementado y poco poroso. Este paso es gradual, aunque a simple vista puede observarse, con bastante detalle, el cambio de textura, sobre todo a partir del contacto irregular y fuertemente festoneado de la parte alta de la cantera.

Columna "Les Coves" 2

(An-3/34)

Se observa un tramo basal masivo de dolosilita de 2 m. de espesor, con bastantes rodolitos y fragmentos de algas; además hay restos de foraminíferos y corales. Pero, a diferencia de la columna anterior, este tramo dolosilítico es menos visible debido al desnivel topográfico entre ambas canteras. Esto provocó, posiblemente, su explotación subterránea (Coves 2. 2). Además parece existir un cierto acuñaamiento hacia el sur del afloramiento, que también explicaría la disminución de potencia de este tramo.

Después de este paquete y de una pequeña intercalación de calizas micríticas, de 0.5 m. de espesor, se observa hacia el techo una calcarenita con nódulos calcáreos irregulares, que acaba con una pequeña capa donde también se concentran nódulos calcáreos de menor tamaño; el espesor del conjunto de estas capas está próximo a los 2 m.

Le sigue hacia el techo un conjunto de estratos calcáreos de espesor variable que alcanza una potencia total de 2.5 m., con numerosos nódulos arenosos. También se observan pequeñas microgeodas de calcita. Todo esto hace pensar que las arenas estén rellenando poros preexistentes tipo "vug". Estas capas finalizan con una superficie carstificada, más marcada que la descrita en la otra columna ("Les Coves" 1).

También aquí se observa, por encima de esta superficie, un paquete de arenas calcáreas, bien clasificadas, poco cementadas y porosas de color beige, con nódulos carbonatados, que suelen

contener restos de cangrejos y alcanzan 1 m. de espesor. El espesor total de la serie observable es esta cantera es de 7.5 m.

Hay que señalar que en este yacimiento se aprecia claramente como las arenas que rellenan los poros de los niveles infrayacentes al carst, son muy similares a las que constituye el tramo suprayacente, lo que confirma la idea de relleno de una porosidad preexistente tipo "vug" o de disolución.

Columna "Les Coves" 3

(An-3/35)

Aquí podemos observar casi toda la serie miocénica que aflora en esta zona de canteras, cuyo espesor total esta en torno a los 12 m. y que podemos subdividir en tres tramos:

- Un tramo inferior, de unos 2 m. de espesor, constituido por calizas bioclásticas con algún nivel de ostreidos y abundantes restos de pectínidos y gasterópodos
- El tramo medio, que ha sido objeto de explotación, se inicia con una suave cicatriz erosiva sobre las que se disponen unas calcarenitas de colores amarillentos, de 2 a 2.5 m. de espesor. En ellas se nota un descenso progresivo de los componentes bioclásticos. Estos sedimentos pasan lateralmente y hacia el techo a unas dolosiltitas de grano fino, de colores ocre o blanquecinos, que alcanzan más de 5 m. de espesor. Apenas se observan fósiles, excepto restos de algas; en cambio, se ven algunos pequeños nódulos de glauconita. Como en las otras columnas este tramo medio presenta en su parte superior pequeños "slumps", con olistolitos decimétricos. También aparece en su techo una cicatriz que, a diferencia de las otras dos columnas estratigráficas, no parece estar carstificada, sino que es simplemente una superficie erosiva.
- El tramo superior, de 3 m. de espesor, se inicia con unas arenas calcáreas, bien clasificadas, que tienen nódulos calcáreos equivalentes o muy similares a las ya descritas en las otras dos columnas, pero que a diferencia de aquellas, aquí pasan gradualmente a una calcarenita muy litoclástica, con un rápido aumento de tamaño de grano. Finalmente, en el techo, pueden observarse marcas de corriente (tipo "flute marks").

Observaciones generales sobre el afloramiento:

- La base de esta serie es poco visible, al hallarse cubierta por derrubios, parece que el nivel de calizas con bancos de ostreidos constituye en todos los casos el nivel inferior. Como se puede observar en el corte adjunto (An-3/32), estos sedimentos miocénicos rellenan una vaguada, posiblemente una antigua bahía (Trilla 1971).
- La secuencia sedimentaria que aquí aflora tiene dos tipos de contactos basales (An-3/32):

- En el extremo sur, la serie es menos potente y está en contacto directo, mediante una superficie de discordancia erosiva, con el zócalo mesozoico. Sobre esta superficie se observan unas brechas fluviotorrenciales de escasa potencia y distribución irregular.
 - En la zona central del afloramiento, que es donde se alcanza el máximo espesor, el contacto basal es también discordante y erosivo, pero entre el zócalo mesozoico y la sucesión propiamente dicha existen unos depósitos versicolores que corresponden a un paleosuelo laterítico mioceno, tipo LST ("lowstand systems tract") (Haq y otros 1987, Cabrera y otros 1991).
- El contacto entre la facies calcarenita, (Canteras del Acueducto) y el conjunto estratigráfico inferior de la facies calci-dolosilita, (canteras de "les Coves de la Pedrera") mediante una discordancia erosiva (An-3/36.F-1 y F-2), que parece estar carstificada en algunos puntos "scalloped surface".
El aspecto erosivo de esta discontinuidad, concuerda con el carácter somerizante y grano creciente que tiene los sedimentos superiores de la facies calci-dolosilita.

3.3.10 Comentarios sobre el estudio estratigráfico de canteras

Al no existir una cartografía detallada y actualizada del Mioceno de Tarragona, nos es difícil establecer una correlación estratigráfica entre todas las canteras estudiadas. Pero podemos, no obstante, apuntar una serie de observaciones que creemos interesantes:

- La facies calcarenítica en contra de lo aducido en la cartografía oficial (hoja del IGME n. 473 1: 50000), que considera a ésta de carácter arrecifal, corresponde al tramo superior de la serie miocénica que aflora en Tarragona y se superpone a la facies calci-dolosilita. Esta correlación estratigráfica coincide con la descrita por Barnoles y otros (1983), y con los esquemas publicados en el I Congreso Español del Terciario (CONGET-Vic 1991).
- También, en el congreso citado, se describe el contacto directo de la Unidad Ardenya sobre el zócalo Mesozoico (An-3/37). Nosotros lo hemos observado, concretamente en dos áreas: "La Platja de l'Arrabassada" (descrita en la parada C-3 del CONGET. 1991) y en "Les Coves de la Pedrera"; aunque en esta última cantera gran parte del sustrato está constituido por un latisol tropical miocénico, ya citado (An-3/32). Pero en ambos lugares, lógicamente, los contactos son de carácter diferente, ya que la cantera de la "Platja de l'Arrabassada" se puede asimilar a la facies calcarenítica bioclástica, con clara similitud petrográfica con la cantera del "Mèdol"; en cambio "Les Coves de la Pedrera" pertenecen claramente a la facies calci-dolosilita. Así descrito, parece obvio deducir que existe un hiato erosivo, debido a la topografía del terreno, y que ésta, a su vez, depende de procesos tectónicos.
Así se explicaría que en distancias relativamente cortas, y de forma brusca, varíe la litología miocénica. También sería lógico pensar que esta actividad tectónica haya creado distintos niveles de subsidencia, condicionando las paleocorrientes y el ambiente sedimentario, como ya

ha sido indicado en la bibliografía (Trilla, 1977, Barnoles, Calvet, 1983).

- Se ha observado en el área más cercana a Tarragona (concretamente en "Les Coves de la Pedrera y en "Les Coves del Llorito"), que hacia la parte superior de la sucesión calcisiltítica hay una clara somerización y una reactivación tectónica (con "slumps"). Aparece así una línea de acusada discontinuidad, generalmente de carácter erosivo, que parece estar carstificada localmente en "Les Coves de la Pedrera".
- La facies calcarenítica ha sido la más activamente explotada, tanto en intensidad como en extensión, y es la que presenta mayor diversidad litológica.
- En definitiva, se pueden establecer cuatro grupos litológicos (A, B C y d) en la facies calcarenítica, atendiendo a la composición petrográfica, al lugar que ocupan en la sucesión miocénica y las canteras explotadas:
 - Tipo "Mèdol", calcarenitas masivas, bastante porosas (porosidad tipo móldico), con gran cantidad de fragmentos de moluscos y escasa proporción de componentes detríticos. Las proporciones de cemento esparítico pueden variar, pero siempre hay una cierta cantidad de óxidos de hierro, aunque puede ser muy variable de un sitio a otro, incluso dentro de la misma serie. Lo componen las siguientes canteras:
 - "El Mèdol"
 - "Mas del Marques"
 - "La Punta de La Creueta"
 - "La Platja de l'Arrabassada"
 - Tipo "Mas dels Arcs ". Está constituido por las capas superiores de la serie miocénica que aflora tanto en "Les Coves de la Pedrera" como en "Les Coves del Lorito", sobre la facies calci-dolosiltita. Además hay que añadir a este tipo las series de las canteras del "Mas dels Arcs", aunque estén bastante alejadas, ya que tienen parecidas características petrográficas y presentan claras correlaciones estratigráficas con "Las Canteras del Acueducto". Estas correlaciones se observan especialmente en la cantera del "Mas dels Arcs" 1, y se deben a que todas estas series están situadas dentro de una antigua y extensa bahía, según las interpretaciones paleogeográficas realizadas por anteriores estudios geológicos sobre el Mioceno de la cuenca del río Francolí (Trilla 1977).
Son arenosas, de tamaño de grano más fino que el tipo "Mèdol", en algún caso marcadamente bioclásticas; es frecuente la presencia de bioclastos de algas y algún nivel con rodolitos. La proporción y tipo de cemento varían notablemente de una cantera a otra, lo que indica una evolución diagenética bastante diferenciada. Las principales canteras son:
 - Canteras del Acueducto

- "Mas dels Arcs"

- Tipo "Roda de Berà", representado exclusivamente por la cantera del mismo nombre. Dado el alejamiento de las áreas ya descritas, además de otros factores geológicos, esta cantera tiene unas características singulares. Es de naturaleza arenosa fina y homogénea, esto le da un aspecto similar a las calcarenitas procedentes del "Mas del Arcs", pero su contenido en bioclastos es más escaso y variable, con importante presencia de briozoos y foraminíferos. Su grado de cementación es irregular y varía con el nivel estratigráfico tanto en la cantera CRB1 como en la CRB2. Solo corresponde a este tipo la cantera de "Roda de Berà".
- Tipo "Els Munts". Por razones similares al caso anterior sus características son algo singulares. También son arenosas, pero el tramo más explotado que es el inferior, tiene unas claras diferencias con los otros tipos descritos, ya que puede definirse como un "grainstone" de foraminíferos, con escaso cemento y proporciones variables de matriz limosa. Además la serie presenta unas vetas de esparita que cortan los estratos y dan un aspecto diferente a las rocas de esta cantera.

- Las facies Calci-dolosilitita presentan dos tipos bien diferenciados: "Les Coves del Llorito" y "Les Coves de la Pedrera".

Ambas tienen un aspecto limoso o de arena fina, con escasos restos fósiles, pero tienen diferencias notables.

"Les Coves de la Pedrera" presentan un color más blanquecino, son poco densas y microporosas, y bastante homogéneas. Contienen frecuentemente restos de algas, pero escasos fósiles y fragmentos de cuarzo.

"Les Coves del Llorito" son generalmente más amarillentas, con tramos limosos y otros más arenosos; el contenido de cuarzo y fragmentos detríticos es mucho mayor y apenas se observan restos de algas.

Como luego veremos en los siguientes apartados además de estas características, presentan notables diferencias mineralógicas y de desarrollo de fábricas de dolomita, que indican condiciones diagenéticas bastante distintas.

Pero pesar de todas estas diferencias, tienen suficientes características comunes y similares para considerarlas dentro de una misma facies, especialmente por su carácter "siltoso" y el contenido y tipo de fábricas dolomíticas, que indican que existen evidentes similitudes sedimentarias y conexiones entre sus diferentes ambientes diagenéticos.

3.3.11 Clasificación estratigráfica de las canteras romanas miocénicas de Tarragona

Visto lo que antecede y teniendo en cuenta la clasificación estratigráfica más recientes, las canteras se distribuyen de la forma que muestra el cuadro siguiente:

MIOCENO MEDIO	LANGHIENSE SERRAVELLIENSE INFERIOR	U. SD. TARRAGONA	U. ARDENYA: FACIES CALCARENITA	GRUPO A	C. "ELS MUNTIS" - "Platja dels Capellans"
					C. "MÈDOL"
					C. "PLATJA DE L'ARRABASSADA"
				GRUPO B	C. "PUNTA DE LA CREUETA" (TORRE. ESCIPIONES)
					C. "MAS DEL MARQUES"
					C. "MAS DELS ARCS"
				GRUPO C	C. "RODA DE BERÀ"
					C. DE "LES COVES DEL LLORITO" (FÀBRICAS DOLOMITICAS)
				U. ARDENYA: FACIES CALCI-DOLOSILTTA	C. DE "LES COVES DE LA PEDRERA" (FÀBRICAS DOLOMITICAS)

TABLA 3.1: clasificación estratigráfica de las canteras romanas de Tarragona de edad miocénica

3.4 ANÁLISIS PETROGRÁFICO Y MINERALÓGICO DE LAS FACIES, CONSECUENCIAS CROMÁTICAS

3.4.1 Descripción petrográfica

Este apartado comprende el estudio, con microscopio petrográfico de los materiales de las distintas canteras descritas en el cuadro An-3/38.

Facies tipo "A" CALCARENITA

Cantera del "Médol"

Se han observado numerosas muestras de distintos puntos y, sobre todo, de dos columnas: "Médol" 5. SA13-SA20 (de la pared Este) y "Médol" 1 (de la pared Oeste). Casi todas estas muestras pertenecen a los tramos inferior y medio de la explotación, la cual está representada, fundamentalmente, por la columna "Médol" 1 ya que en ella se sitúa la mayor parte del material explotado en el área Sur. La descripción se hace siempre de base a techo de la serie.

LCM. 1A

(An-3/39.F-1)

Textura tipo "packstone". El tamaño de los bioclastos es menor que en los tramos superiores de la serie. Los fragmentos de foraminíferos son abundantes (*Amphistegina* y *Heterostegina*), con púas de equínidos y algún resto de coral. También hay fragmentos de briozoos y de bivalvos en general.

La porosidad, de tipo móldico, está muy desarrollada, dando un porcentaje de poros vacíos elevado. La proporción de cemento es pequeña.

LCM. 1B

(An-3/39.F-2)

Textura tipo "packstone", con abundante matriz. El tamaño de los bioclastos es bastante mayor que en la muestra anterior. Aparecen fragmentos de bivalvos (pectínidos y algún ostreido); hay

también púas de equínido. En cambio, los foraminíferos y los fragmentos de cuarzo detrítico son escasos.

Destaca la elevada porosidad móldica, cuyos poros están parcialmente rellenos por una fase de tipo "uneven drusy" (cemento drúsico irregular), que no se desarrolla completamente, por lo que muchos poros están bastante vacíos.

LCM. 1C

Textura "packstone". Como en el caso anterior, son los fragmentos de bivalvos los componentes mayoritarios, junto con algún gasterópodo. Los briozoos son abundantes; en cambio, los foraminíferos son escasos (solo *Heterostegina*). Hay pocos granos subredondeados, de cuarzo detrítico. También se ve algún fragmento rodado de glauconita.

Las cavidades móldicas están completamente rellenas por cemento tipo "drusy". También hay una fase tardía, de cemento por óxidos de hierro, que se sitúa a nivel intrapartícula y en fisuras.

LSA. 19

(An-3/40.F-1)

Textura tipo "packstone". La roca aparece integrada, fundamentalmente, por bioclastos, en su mayor parte bivalvos (pectínidos), con algún gasterópodo disperso; también hay foraminíferos (rotálidos) y peloides. Los poros son del tipo móldico y "vug", lo que confiere a esta roca una elevada porosidad. La porosidad "vug" se desarrolla sobre la matriz y sobre la porosidad móldica. El cemento de tipo "drusy" rellena parcialmente los poros de tipo móldico. También existe un cemento secundario de óxidos de hierro, que ocupa fisuras, espacios intrapartícula y cavidades de foraminíferos.

LSA. 17

Textura tipo "packstone". Aunque tenga ciertas similitudes con la muestra anterior, varían algunos componentes o bioclastos. Así, por ejemplo, hay un mayor porcentaje de foraminíferos (*Amphistegina* y *Heterostegina*); hay algún peloide y algunos restos de algas (muy mineralizadas). Sin embargo, los bivalvos siguen siendo mayoritarios.

La porosidad, tanto móldica como "vug", está muy desarrollada, dominando la primera.

LSA. 16

Textura tipo "wackstone", con porcentaje de matriz abundante. Aumenta la presencia de foraminíferos, aunque las *Heterosteginas* son escasas, siendo los rotálidos más abundantes. También es importante la presencia de briozoos ramosos y laminares. El cemento "drusy" rellena parcialmente los poros de tipo móldico, destaca la abundancia de óxidos de hierro como cemento intrapartícula.

LSA. 15

(An-3/40.F-2)

Textura tipo "wackstone". Es muy similar a LSA-16, con abundante matriz micrítica, lo que también le hace similar a LCM. 1B, pero con mayor proporción de cemento de óxidos de hierro, dada su mayor proximidad estratigráfica al segundo nivel de discontinuidad o "hardground".

LSA. 14

Textura "wackstone", con abundante matriz micrítica. Se detecta un cambio importante de textura y composición, respecto al tramo inferior, pero también respecto al mismo nivel estratigráfico de la pared oeste (LMC. 1C). En efecto, se observa el paso de una litología (similar a la descrita en los niveles inferiores), a otra de granulometría mucho más fina, donde predomina la matriz micrítica. La porosidad móldica se reduce notablemente.

También se detectan cambios en la composición de los bioclastos, ya que son los "pelets" y los intraclastos los componentes mayoritarios.

Estas diferencias indican un cambio lateral de tipo sedimentario en el tramo medio de la sucesión de la cantera, entre las dos paredes de la cantera, y por tanto en el sentido Este-Oeste.

Cantera Mas del Marques

Los tramos inferiores de la serie correspondiente a la columna CM.2 y parte inferior de la CM.3+4, son muy similares a las descritas en la cantera del "Médol", por lo que no se describen en lámina delgada.

LCMMVII

(An-3/41)

Esta lámina corresponde a los tramos superiores de la columna CM.3+4 (Cantera CMM4 y CMM3), que tiene características petrológicas diferentes. En efecto, la textura es de tipo "packstone", aunque con algún nivel de mayor tamaño de grano que puede considerarse "rudstone". La matriz es fina, abundante y bastante arcillosa (6, 2% de arcillas según los resultados de la difracción de rayos x. ; ver capítulo 7).

Los bioclastos son muy abundantes y de gran diversidad. Hay fragmentos de bivalvos bastante completos y algún gasterópodo (An-3/41.F1); se observan también restos de corales, escamas y dientes de pez (An-3/41.F2), y algún peloide. Los foraminíferos (*Heterostegina* y rotálidos) y diversos tipos de briozoos, son frecuentes. Además hay fragmentos de cuarzo subredondeados (proporción inferior a 3 %).

La porosidad móldica está muy desarrollada, llegándose a interconectar los poros por disolución de la matriz, y creándose de esta manera una porosidad "vug", con poros de gran tamaño, o cavernosa. Por otra parte, el cemento "rim" apenas llega a recubrir las paredes de los poros, por lo que éstos están muy vacíos. Todos estos factores producen, como resultado, una textura muy porosa.

Cantera "La Platja de L'Arrabassada"

LCRAB. 1

(An-3/42)

La textura es tipo "packstone". La roca está integrada por fragmentos de bivalvos y algún gasterópodo (An-3/42.F-2), también hay briozoos y algún foraminífero (rotálidos). La fracción detrítica es importante, con granos de cuarzo subredondeados.

La porosidad móldica es muy abundante, pero están parcialmente rellena por cemento "uneven drusy", drúsico irregular de gran tamaño (esto es, los cristales del cemento tienen un diámetro superior a lo observado en las otras canteras), lo que da un aspecto a la roca de bien cementada.

Cantera "La Punta de la Creueta" (Torre de los Escipiones)

LCPES. 3 y LCPES. 5

(An-3/43.F-1 y F-2)

La textura es tipo "wackstone", aunque en algún tramo, con componentes de gran tamaño, podría ser considerada tipo "floatstone". La matriz es fina y abundante (An-3/43.F-1).

Destaca la abundancia de moluscos especialmente ostréidos de gran tamaño y otros fragmentos de bivalvos; también son abundantes las placas y púas de equínidos. Igualmente aparecen briozoos y foraminíferos (*Amphistegina* y *Heterostegina*), que localmente pueden ser muy abundantes; se observan, asimismo, algas coralinas y rodolitos; los fragmentos detríticos, de cuarzo, son escasos.

Es importante señalar que a pequeña escala se detecta la presencia de cambios texturales bruscos, producidos por bioturbación, lo cual da lugar a áreas pseudocirculares con bordes festoneados y que contienen pequeños fragmentos de bioclastos (principalmente de foraminíferos) y abundante matriz micrítica (An-3/43.F-2).

La porosidad es de tipo móldico, pero no está muy extendida, con poros bastante vacíos y apenas rellenos por una fase de cemento tipo "rim". Además existe algo de porosidad tipo "vug".

Cantera de "Roda de Berà"

En las dos canteras estudiadas (CRB. 1 y CRB. 2) apenas se observan diferencias notables en cuanto a componentes, pero sí se detectan dos tipos de texturas (LCRB.1.1 y LCRB2.2), que se diferencian por el grado de cementación.

La textura tipo LCRB1.1 (An-3/44.F-1), es poco cementada y bastante porosa.

La textura tipo LCRB2.2 (An-3/44.F-2) presenta, en cambio un mayor porcentaje de cemento, aunque de carácter muy variable; además su distribución, tanto en horizontal como en vertical, es irregular. A veces tiene un carácter noduloso y en otros casos son bandas más compactas de aspecto similar a una veta, y que cortan la estratificación. Esta cementación es la causante de una notable reducción de la porosidad y condiciona el comportamiento hídrico y la alterabilidad, como

veremos en el capítulo 6. Su origen es algo confuso, pero puede ser debido a varios factores, tales como resto de rizocreciones, producto de exposiciones aéreas y subaéreas posteriores a la formación del depósito, o a "lag deposit" sedimentarios, fisuras rellenadas por vetas, y en general a una cementación selectiva durante la diagénesis.

Podemos establecer por lo tanto la siguiente distribución por canteras:

- Cantera CRB1: Texturas tanto del tipo LCRB1.1 como LCRB2.2, con variación irregular, tanto horizontal como verticalmente.
- Cantera CRB2: Inicialmente también presenta ambos tipos, pero con un predominio algo mayor del tipo LCBR2.2 en el tramo inferior.

Salvo estas diferencias de cementación, ambas texturas son similares, de tipo "wackstone" y con las características que seguidamente se describen.

Los bioclastos se distribuyen de forma irregular y son abundantes en determinados niveles, aunque su proporción pueda disminuir bruscamente, tanto lateral como verticalmente. El hecho de estar muy fragmentados, explica que esta roca posea una granulometría bastante fina, y sea de consistencia arenosa.

Los foraminíferos (miliólidos y *Amphistegina* An-3/44.F-1)) son muy frecuentes, así como los briozoos del tipo laminar. También se observan fragmentos de bivalvos, púas de equínidos (An-3/44.F-2) y algas coralinas; localmente los peloides pueden ser abundantes.

La estructura de los briozoos favorece la existencia de una microporosidad esquelética o intrapartícula, bastante desarrollada y parcialmente rellena por cemento "rim". A nivel general, la porosidad tipo "vug" es la más frecuente.

Es interesante señalar, además, la presencia de cristales euhédricos de dolomita zonada, similares al tipo "Llorito" (ver "fábricas dolomita", capítulo 4), pero muy escasos y dispersos, y que se sitúan en la parte alta de las series CRB. 1 y CRB. 2 (An-3/44.F-2). Esta observación concuerda cualitativa y cuantitativamente con los resultados de difracción de rayos x, que dan un porcentaje de 0, 5 % de dolomita.

Cantera "Els Munts" 1 - "Platja dels Capellans"

En esta cantera aparecen dos tipos de texturas claramente diferenciadas. En la parte inferior y media de la serie, correspondiendo a las calcarenitas y calizas limosas, es de tipo "packstone-grainstone"; en las calizas de la parte superior, es de tipo "wackstone".

LCPC. 1 Y LCPC. 2B

(An-3/45.F-1)

Textura tipo "packstone - grainstone", con algo de matriz limosa y con bioclastos muy abundantes, en general de pequeño tamaño, ya que los foraminíferos de talla pequeña son el componente principal. Se trata de *Heterosteginas* y *Amphisteginas*, aunque también se observan rotálidos y orbitolinas. Además hay numerosos fragmentos de bivalvos y gasterópodos, escamas de pez, púas de equínidos y algún briozoo.

La porosidad es abundante tanto, intrapartícula (foraminíferos vacíos) como interpartícula. El cemento es muy escaso, de microesparita dispersa, que rellena principalmente los poros interpartícula.

LCPC. 2A

(An-3/45.F-2)

Textura tipo "wackstone", con abundante matriz micrítica y menos cantidad de bioclastos que en el caso anterior. Se observa una variación en la proporción de componentes, siendo escasos los foraminíferos y más abundantes los fragmentos de bivalvos; así mismo hay briozoos y púas y placas de equínidos, de gran tamaño, y algún grano de cuarzo subredondeado.

La porosidad es móldica e interpartícula, pero hay más proporción de cemento que en la anterior textura. La fase cementante es de tipo "drusy", bastante equigranular ("even drusy"), la cual rellena, de forma incompleta, los poros móldicos. Además hay una importante fase de cemento por óxidos de hierro, especialmente localizada (como en los otros casos descritos), en los poros intrapartícula (especialmente en los briozoos y algas coralinas).

Canteras del "Mas del Arcs"

LCMAR. 1

(An-3/46.F-1)

Textura tipo "mudstone". Corresponde a un pequeño tramo calcáreo micrítico de la base de la columna M. Arcs. 1 (An-3/20). Presenta unas laminaciones internas que macroscópicamente parecen estructuras estramotolíticas, pero vistas con microscopio no parecen de origen algal. Podrían interpretarse como estructuras sedimentarias atípicas, tipo "estromatactis" (Reijers, Hsü, 1985); esto es, espacios abiertos de fondo plano y superficie ondulada, rellenas de sedimento interno y/o calcita esparítica. No se observan restos fósiles y tiene abundante cemento microesparítico. La porosidad es de tipo "vug", con poros de pequeño tamaño.

LCMAR. 2

(An-3/46.F-2)

Textura tipo "wackstone-packstone", con abundante matriz micrítica.

Corresponde al tramo calcarenítico superior de la columna "M. Arcs" 1 (An-3/20), que es muy similar a la que se observa en la mayoría de las láminas delgadas del resto de las canteras de esta denominación, lo que confirma la descripción estratigráfica.

Los bioclastos se distribuyen irregularmente, estando constituidos por fragmentos de bivalvos, algas coralinas y algún resto de coral. Asimismo, hay abundantes peloides y algún foraminífero (orbitolinas, rotálidos y *Heterostegina*).

Se observan fragmentos de cuarzo subredondeados y de glauconita, poco abundantes.

La porosidad, que es de tipo "Vug" (poros de contorno irregular), parece que se debe a la evolución de una porosidad móldica inicial, cuyos poros se han interconectado o agrandado por disolución de la matriz.

Hay también algo de microesparita dispersa (posiblemente correspondiente a una fase inicial de cemento, no desarrollada) que se halla rellenando parcialmente restos de bioclastos disueltos. También hay cemento de óxidos de hierro, que rellena espacios intrapartícula.

Cantera del Acueducto

LCAC. 1.2

(An-3/47)

Aunque no se ha estudiado estratigráficamente esta cantera, sus niveles inferiores coinciden con los tramos superiores de "Les Coves de la Pedrera". Presentan además unas características texturales y tipos de cementos muy significativos que permiten explicar mejor la evolución diagenética y la sucesión de diversos tipos de cementos carbonatados y fábricas dolomíticas que componen la facies calci-dolosilita (ver capítulo 4). Por este interés petrográfico se ha estudiado en lámina delgada las rocas de este yacimiento.

Textura tipo "wackstone - packstone". Bioclastos abundantes, algunos casi enteros. Hay bivalvos y gasterópodos, algas coralinas (An-3/47.F-1), peloides, briozoos y algún rodolito; también se observan fragmentos de cuarzo (An-3/47.F-2) y nódulos de limonita.

La porosidad es escasa, de tipo móldico (localizada principalmente en los restos de moluscos), con poros de gran tamaño y aspecto cavernoso.

Existe un cambio gradual de la cementación. Así, en la parte inferior de la serie hay cemento microesparítico, no muy desarrollado, siendo la porosidad elevada. En la parte superior de la serie es esparítico de gran tamaño, tipo "blocky", que forma un mosaico continuo. Como veremos en el capítulo 4 este tipo de cemento es similar al que se encuentra en los tramos superiores de "Les Coves del Llorito".

Facies Calci-dolosilita

Canteras "Les Coves del Llorito"

LCLZ. 1 Y LCLZ. 2

(An-3/48)

Tiene una composición mixta silíceo-carbonatada, mezcla de micrita con arcillas y cuarzo de grano muy fino. La roca puede definirse como calcisilita y/o calcarenita con abundantes

componentes detríticos heterométricos. La textura podría definirse como "grain-supported", en la mayoría de la sucesión estratigráfica (An-3/48.F-1).

Se observan numerosos granos de cuarzo, subredondeados a subangulosos, con algún cristal de feldespato y micas (biotita); también hay algún mineral pesado (apatito) (An-3/48.F-2).

Los bioclastos son poco abundantes, aunque localmente pueden estar más concentrados; hay fragmentos de bivalvos, púas de equínido y, con frecuencia, foraminíferos bentónicos con algunos planctónicos (*Amphisteginas* y *Heterosteginas*, muy fragmentadas).

En muchos niveles de estas canteras se observa, en lámina delgada tratada con tinción selectiva de la calcita, la presencia de abundantes cristales no teñidos de dolomita euhédrica (An-3/49.F-1). Además, en otras láminas tratadas con este mismo tipo de tinción, se observa que hay cristales de microdolomita (A2) no teñidos (An-3/49.F-2). La naturaleza mineral de estos cristales fue confirmada por los resultados de difracción de rayos x, como veremos en el apartado siguiente. Estas fábricas las estudiaremos en detalle en el capítulo 4.

La porosidad es abundante y con poros de pequeño tamaño, predominantemente de tipo interpartícula, que se desarrolla entre los diferentes componentes del sedimento. Además hay una fracción importante de porosidad intrapartícula, debida a las cavidades de foraminíferos, y móldica (de aspecto rómbico) que podría ser debida a la disolución preferencial de las dolomitas euhédricas, como comentaremos en los capítulos 4 y 9.

Canteras de "Les Coves de la Pedrera"

Desde el punto de vista petrográfico, la serie de estas canteras es muy compleja, pudiéndose distinguir tres tramos-inferior, medio y superior - que seguidamente pasamos a caracterizar.

LCCO. 1

(An-3/50)

Tramo inferior (Canteras CCO 1.1 y CCO 2.2)

Se trata de una dolosilita, compuesta mayoritariamente por microcristales de dolomita subhedrales de un tamaño entre 5µm y 10µm (An-3/50.F-1), y algún cristal euhédrico más grande, entre 40µ y 50µm, de carácter zonado (An-3/50.F-2). No se observan restos fósiles. La porosidad es elevada, principalmente interpartícula por lo cual los poros son muy pequeños, y hay algún poro tipo "vug".

LCCO. 2

(An-3/51.F-1)

Tramo medio. (Canteras CCO 1.1, CCO 1.2 y CCO 2.1)

En la serie se observa, en sentido ascendente, el paso de una dolosilita a una calcisilita bastante bioclástica, ya que hay una disminución progresiva de dolomita hacia el techo de la serie. Se observan abundantes fragmentos de algas coralinas y algunos rodolitos (An-3/51.F-1). También hay briozoos y algún fragmento de foraminíferos (Rotálidos y *Amphisteginas*); los peloides localmente pueden ser abundantes; hay fragmentos de cuarzo subanguloso.

La porosidad es también abundante, de tipo interpartícula y "vug".

LCCO. 3

(An-3/51.F-2)

Tramo superior. (Canteras CCO 3 Y CCO 4.) (Equivalente al tramo inferior de CAC.1)

La textura sedimentaria primaria, al presentar estos niveles un alto grado de recristalización, apenas puede reconocerse. Se trata de una esparita sacaroidea, constituida por cristales anhedrales y heterométricos, a veces de gran tamaño, tipo "blocky". Por otra parte, los restos fósiles son esencialmente moluscos, con disminución de los bivalvos y una mayor abundancia de gasterópodos. También es importante la presencia de restos de algas rodofíceas y nódulos de limonita. La porosidad, escasa, es de tipo móldico o "vug", con poros de gran tamaño.

Conclusiones

Facies Calcarenítica:

Presenta en general una porosidad móldica muy desarrollada, a veces acompañada de porosidad "vug", que indica procesos de disolución más tardíos, con lo cual incluso pueden disolverse fases de cemento drusy. La porosidad interpartícula tiene una menor incidencia, en general, y la intrapartícula se sitúa preferentemente, en las cavidades de briozoos, de foraminíferos y de las algas rodofíceas.

Las fases de cemento son también bastante parecidas. Hay una fase principal, de cemento tipo drusy con desigual desarrollo; también hay una recristalización parcial de la matriz micrítica, con microesparita de neoformación, sin llegar nunca a formar un mosaico continuo. Finalmente existe una fase de cemento tardío de óxidos de hierro localizados preferentemente, en los poros intrapartícula y de fisuración.

Facies Calci-dolosilitita:

Tiene unas variaciones locales muy fuertes, tanto por diferentes contenidos de dolomita como de tipos de fábricas.

Se trata de un sedimento carbonatado, con abundantes componentes detríticos, escasos fósiles, y una matriz fina algo siliciclástica.

Hay micrita, especialmente en los niveles de base, pero con microesparita y microdolomita. Además hay cristales euhédricos de dolomita. Todos estos tipos de componentes o fábricas tienen una distribución muy irregular y compleja, que describiremos en el capítulo siguiente (Capítulo 4).

La porosidad es abundante, con poros de pequeño tamaño, en general de tipo interpartícula entre los cristales de dolomita. También hay algo de porosidad "vug". En Las "Coves del Llorito",

esta porosidad acompaña en algunos casos a un tipo de porosidad móldica de morfología rómbica, debida a disolución preferencial del núcleo de estos cristales de dolomita euhédrica.

CANTERA	MUESTRA	CUARZO	ARCILLA	GOETHITA	CALCITA	DOLOMITA
"MÉDOL"	CMY-2	0	0	0	100	0
"MAS DEL MARQUES"	CMM-IV-AYI	1	6	0	93	0
"PUNTA DE LA CREUETA"	CPES-X.4	1	0	1	98	0
"RODA DE BERÁ"	CRB-1.X	0.5	0	0	99	0.5
"ELS MUNTS"	MUNTS-1.A	1	0	0	99	0
"EL MAS DEL ARCS"	MARC-2.2	1	0	0	99	0
"LES COVES DEL LLORITO"	CL2-Y.2	11	0	0	69	19
"LES COVES DE LA PEDRERRA"	CC0-1.1	0.5	0	0	4.5	95
CANTERAS DEL ACUEDUCTO	CAC-2B	0.6	0	0.4	99	0

- Contenido mineral expresado en tanto por ciento en peso.
- Componentes mayoritarios.

DIFRACTOMETRO: SIEMENS D. 500

Tub. Cu

K Cu=1, 5405 Å. 40 Kv 20 mA.

detector de Sc. monocromador de grafito

step 0. 05-3 seg.

Instituto Ciencias de la Tierra, Jaime Almera (CSIC)

TABLA 3.II: Análisis semicuantitativo, mediante difracción de rayos X, de los principales componentes mineralógicos de los materiales de cantera

3.4.2 Composición mineral

Para determinar con precisión los distintos componentes minerales de estas rocas, se llevó a cabo un muestreo selectivo en los estratos más característicos de cada serie. Sobre tales muestras se hicieron análisis de los minerales considerados mayoritarios, mediante técnicas de difracción por rayos x, de carácter semicuantitativo, empleando patrones estandarizados.

Después de la observación en lámina delgada, y la realización de numerosas difracciones simples de exclusivo carácter cualitativo, los minerales seleccionados para este análisis semicuantitativo fueron: calcita, dolomita, cuarzo, arcillas y goethita, lo que permite trabajar sobre una composición porcentual bastante representativa y precisa (tabla 3.II).

De los resultados se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- La calcita y/o la dolomita son en todas las muestras los componentes mayoritarios, confirmándose así el carácter carbonatado de estas facies.
- El contenido en dolomita solo es significativo en: "Les Coves del Llorito" Y "Les Coves de la Pedrera".
- En "Les Coves del Llorito" la dolomita es un componente principal, pero no mayoritario, con un porcentaje próximo al 20%
- En "Les Coves de la Pedrera", el tramo inferior de aspecto limoso es una dolomía, con más del 90% de dolomita.
- El porcentaje de cuarzo, de origen detrítico, es muy variable según el yacimiento. En general es muy minoritario, ya que no excede prácticamente del 1%. Solo las calcisiltitas de "Les Coves del Llorito" presentan un porcentaje considerable (11%), lo que confirma el carácter mixto y siliciclástico de este sedimento.
- El contenido en arcillas cuantitativamente es inapreciable o muy poco significativo, aunque hemos de recordar que el poder de resolución de la espectrometría por rayos x, especialmente para las arcillas, es bajo si no se trabaja sobre muestras orientadas. Por ello establecimos una vía específica, para determinar con mayor precisión la fracción arcillosa, tal como se describe en el apartado siguiente. La única excepción a este bajo contenido es la cantera del "Mas del Marqués", con una importante matriz limo-arcillosa, que es del 6.2 %.
- El porcentaje en goethita, es también escaso y muy desigual. Constituye, como hemos observado en lámina delgada, el cemento secundario de óxidos de hierro, que se sitúa en los poros interpartícula e intrapartícula, especialmente en las cámaras de los briozoos y foraminíferos. Aun así, este pequeño porcentaje es el responsable directo de las variaciones cromáticas observadas en todas las series, en una gama que va del amarillo al marrón claro, con tonos anaranjados y a veces con aureolas o manchas rojizas, producto de una concentración local de este mineral.
La cantera de "La Punta de la Creueta" tiene un porcentaje bastante significativo, casi del 1%, lo que se corresponde bastante bien con una coloración marronácea más intensa, la presencia de aureolas y pequeños núcleos de tonos rojizos, así como la presencia de otros pequeños nódulos marronáceos de óxidos de hierro.

Podríamos pues clasificar las facies miocénicas estudiadas, según su contenido mineral, en tres grupos:

- Calizas muy puras, con más del 90% de calcita, contenido escaso de cuarzo (no excede del 1%) y escaso porcentaje de arcillas, salvo concentraciones locales. También presentan un contenido en goethita muy variable, muchas veces apenas detectable, como cemento secundario, pero que marca las variaciones cromáticas en este tipo de rocas. (Biocalcarenitias)
- Sedimentos mixtos siliciclásticos, con predominio de los carbonatos, donde la calcita no excede en general del 70 %, un contenido significativo de dolomita, en torno al 20% (dolomitización)

parcial), y un porcentaje considerable de cuarzo detrítico, del orden del 11%. (Calcsiltitas parcialmente dolomitizadas)

- Dolomías muy puras, con más del 90% de dolomita, algo de calcita y un pequeño porcentaje de cuarzo detrítico que no alcanza el 1%. (Dolosiltitas)

Determinación de la fracción arcillas

Los análisis convencionales semicuantitativos por difracción de rayos x, no dieron resultados significativos en cuanto arcillas se refiere. Por otra parte es necesario saber cualitativamente qué tipo de arcillas están presentes en estas facies, ya que pueden ser las responsables del hinchamiento y de la consecuente disgregación de la roca y, en definitiva, de la patología existente.

En series de carácter carbonatado existe un procedimiento de ataque ácido controlado, previa molturación, para la elaboración de las muestras orientadas, de la siguiente forma:

- Ataque ácido, que consiste en la digestión de 10 gr. de muestra, en una solución de 10 ml. de ácido clorhídrico diluido al 10%, controlando que el Ph sea superior o igual a 5, a temperatura ambiente, durante 10 a 15 días, hasta que prácticamente deje de tener efervescencia.
- Centrifugación del residuo ácido, a 3000 r.p.m., durante 30 minutos.
- Pipetear y precipitar sobre portas cristalinos circulares, para la realización de las muestras orientadas. Se empleaban 3 portas por muestra.
- De las tres muestras así obtenidas, una se satura con etilenglicol, otra se calcina a 500 C° y la tercera se deja sin tratar.

El ataque ácido tiene como objetivo eliminar al máximo la fracción carbonatada para concentrar, en el residuo ácido el mayor porcentaje silíceo arcilloso posible, pero sin que se dañe la estructura cristalina de las arcillas (Ph >5).

El centrifugado selecciona mecánicamente una fracción del residuo ácido, que pueda contener esmectitas. La velocidad y el tiempo se basa en una aplicación de la ley de Stokes, tras varios estudios experimentales (Galehouse, 1971, Thorez, 1975).

Los Tratamientos de glicolado y calcinado, sobre muestras orientadas, detecta cambios significativos en el espectro para determinar las especies presentes de minerales de arcilla.

El tratamiento glicolado permite detectar esmectitas, y otras arcillas susceptibles de hinchamiento, por el efecto expansivo que producen en la red cristalina y el desplazamiento consiguiente de las líneas del espectro. La calcinación, en torno a los 500 grados centígrados, produce el colapso de determinadas estructuras cristalinas y la consiguiente desaparición de ciertas líneas espectrales características. En nuestro caso permite distinguir entre caolinita y clorita, por la eliminación o no de la línea de 7 Å.

Para la identificación de carácter cualitativo, hemos seguido las claves habituales (Thorez, 1975, Brindley, 1980).

Los resultados obtenidos son los siguientes (tabla 3.III):

- La eliminación de la fracción carbonatada casi nunca es total y, lógicamente, hay un enriquecimiento en dolomita, como consecuencia de su menor reactividad con los ácidos.
- También aumenta el contenido, en el residuo ácido de los componentes silíceos (cuarzo y feldespatos).
- Las rocas de las facies calcareníticas, que asociamos a la variedad petrográfica de las calizas muy puras, tienen un contenido, apenas perceptible de arcillas de mineralogía muy similar, con predominio de la illita y casi siempre con algo de caolinita.
Dentro de estas calizas, la mineralogía de "La Punta de la Creueta" es algo diferente, pues presenta clorita en vez de caolinita.
- Las dolomías muy puras, tipo "Les Coves de la Pedrera", también presentan un contenido muy escaso de illita y caolinita, pero también es posible que haya algún tipo de interestratificado (illita-moscovita ?).
- En los sillares de la muralla romana (sector Paseo de San Antonio) siempre se hallan presentes las mismas arcillas que hay en "Les Coves del Llorito", entre ellas palygorskita. Dado que la palygorskita procede exclusivamente de las calcisiltitas de "Les Coves del Llorito", queda suficientemente claro cual fue el origen de la roca de dichos sillares.

CANTERA	MUESTRA	NORMAL	GLICOLADA	CALCINADA
"COVES DEL LLORITO"	CL3	DOL/Q/CAL ILL/K-CI PALY	ILL K-CI	ILL DESAPARECE Línea 7 A. -> K
	CL2.1	DOL/Q/CAL ILL/K-CI PALY	ILL/FEL K-CI	ILL DESAPARECE Línea 7 A. -> K
	CL2.5	Q/FEL ILL PALY	ILL/FEL	ILL
"COVES DE LA PEDRERA"	CC01.	DOL/Q/FEL ILL/K-CI INT (ILL-MOSC)	ILL/FEL K/CI	ILL DESAPARECE Línea 7 A. -> K
"EL MÈDOL"	CM-1	CAL/Q ILL/K-CI	ILL K/CI	ILL DESAPARECE Línea 7 A. -> K
"LA PUNTA DE LA CREUETA"		CAL/Q ILL/K-CI	ILL K-CI	ILL NO DESAPARECE Línea 7 A. -> CI

CANTERA	MUESTRA	NORMAL	GLICOLADA	CALCINADA
"ELS MUNTS"	A-II	CAL/Q ILL/K-CI	ILL K/CI	ILL DESAPARECE Línea 7 A. -> K
"MAS DEL MARQUES"	CMM-VII	CAL/Q ILL/K-CI	ILL K/CI	ILL DESAPARECE Línea 7 A. -> K
MURALLA ROMANA SECTOR PASEO SAN ANTONIO	M2	Q/DOL/FEL Y/ILL/K-CI PALY	ILL K-CI PALY	ILL DESAPARECE Línea 7 A. -> K
	M1	DOL/Q/ILL K-CI/PALY SMECT	ILL K-CI/PALY PALY/SMECT	ILL DESAPARECE Línea 7 A. -> K

MINERALES NO ARCILLOSOS DEL RESIDUO ACIDO

- CAL: Calcita
- DOL: Dolomita
- Q: Cuarzo
- FEL: Feldespato
- Y: Yeso
- HAL: Halita

MINERALES DE ARCILLA DEL RESIDUO ACIDO

- ILL: Illita
- K: Kaolinita
- CI: Clorita
- PALY: Palygorskita
- SMECT: Esmectita
- INT (ILL-MOSC): Interstratificados Illita-Moscovita

DIFRACTOMETRO: SIEMENS D. 500

Tub. Cu

K Cu=1, 5405 Å. 40 Kv 20 mA.

detector de Sc. monocromador de grafito

step 0. 05-3 seg.

Instituto Ciencias de la Tierra, Jaime Almera (CSIC)

TABLA 3.III: Determinación de la mineralogía arcillosa en las facies miocénicas (difracción de rayos x)

CANTERA	MUESTRA	CÓDIGO	COLOR
"MÈDOL"	CMX	7.5	YR-7/6
	CMY	2.5	YR-6/3
"MAS DEL MARQUES"	CMM	10	YR-8/4
	CMMY	2.5	YR-8/4
"PUNTA DE LA CREUETA"	CPES	2.5	YR-6/3
"PLA DE L'ARRABASADA"	CARAB	2.5	YR-6/3
"RODA DE BERÀ"	CRB1/CRB2	10	YR-8/3
"ELS MUNTS"	MUNTS.VII	2.5	Y-8/4
"MAS DEL ARCS"	M. ARCS.2	10	YR-8/3
CANTERAS DEL ACUEDUCTO	CAC.1	7.5	YR-8/2
"COVES DEL LLORITO"	CL3.A	2.5	Y-8/3
	CL2.A	2.5	Y-7/6
"COVES DE LA PEDRERA"	CCO1.1	5	YR-8/2
	CCO.3	2.5	Y-8/2

- Los códigos de color se han establecido sobre muestra fresca de cantera, siguiendo la tabla de colores Munsell de suelos (1992).

TABLA 3.IV: Características cromáticas de los materiales de cantera

3.4.3 Características cromáticas de los materiales de cantera

Por su interés arqueológico y en restauración se ha analizado el color de estos materiales de cantera mediante la carta de colores Munsell para suelos (1992) (tabla 3.IV).

Los materiales de cantera presentan en conjunto tres tonalidades diferentes: amarillo pálido a veces con tonos marrones; amarillo rojizo; ocre o beige muy claro.

El "Mèdol" según el nivel presenta dos tipos de coloraciones, el amarillo pálido, de tonos marrones (muestra CMX), que es el más frecuente, y otro de color amarillo rojizo, que corresponde a niveles mucho más localizados y generalmente próximos a los niveles de "hardground" (muestra CMY).

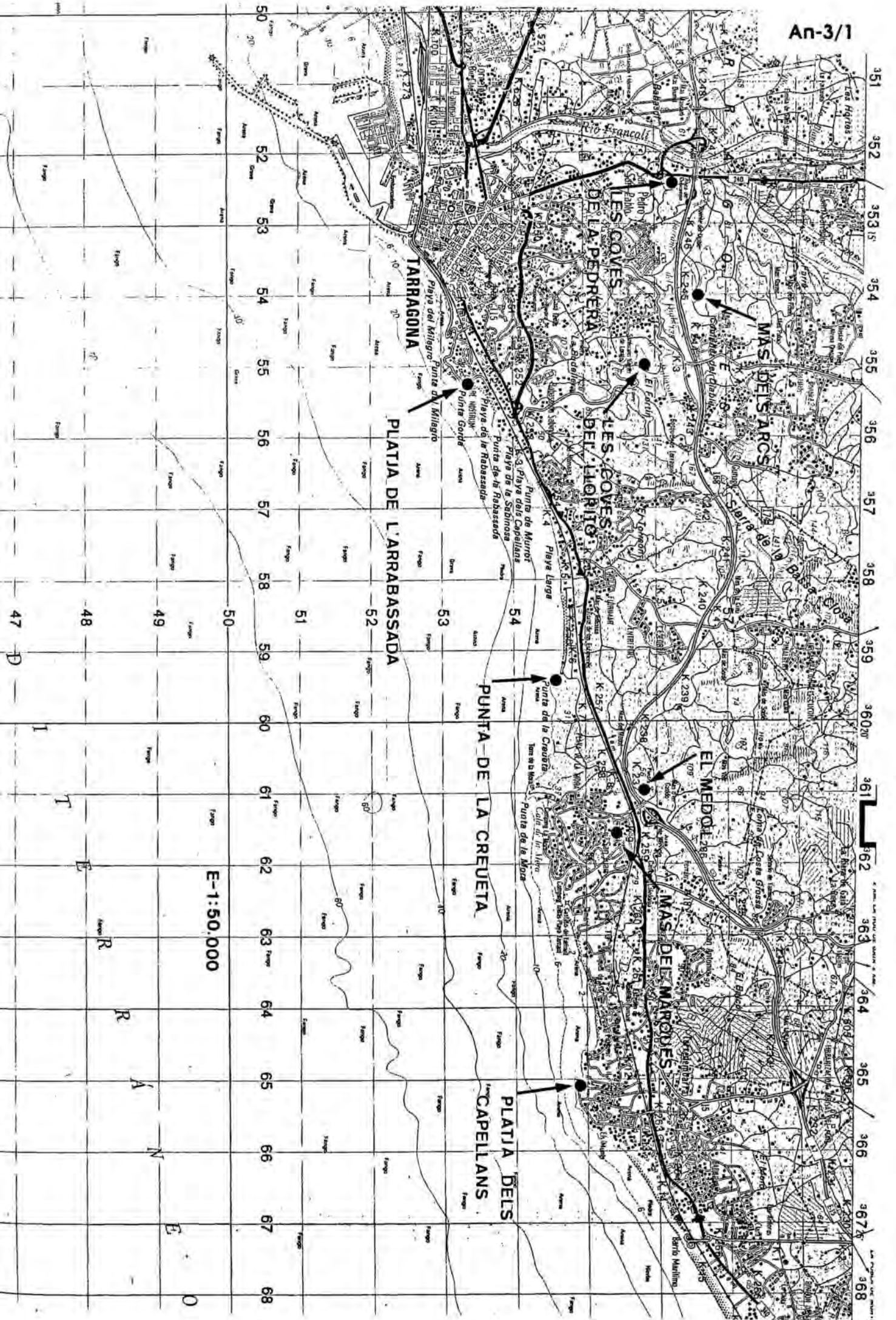
"La Punta de la Creueta" y La "Platja de l'Arrabassada", adquieren colores similares a los del "Mèdol", pero con tonos más rojizos.

El tramo medio de Mas del Marques (muestra CMM) y las dos canteras de Roda de Berà, tienen colores parecidos, dentro de la gama del amarillo pálido, siendo Roda de Berà algo más blanquecina. En cambio "Els Munts" ("Platja dels Capellans") tiene tonos más amarillentos o más fuertes, similares a los del tramo superior de la cantera Mas del Marques (muestra CMMY).

En "Les Coves del Llorito" también es el amarillo pálido el dominante. En el nivel inferior de la serie, Tramo 1 (muestra CL2. A) hay tonos más intensos, pero en los niveles superiores y más dolomitizados (Tramo 1 y 2 de la cueva C, muestra CL3. A) hay, en cambio tonos más tenues o claros.

"Les Coves de la Pedrera", presenta colores amarillos muy claros (CCO. 3) pero en algunos niveles pueden existir tonos rosados (CCO1. 1).

Las coloraciones y tonalidades de estos sedimentos no son función directa de sus componentes minerales mayoritarios (calcita y /o dolomita, cuarzo) ni tampoco de su fracción arcillosa. En muchos sedimentos, el color se debe a los óxidos de hierro (goethita, hematites), diseminados en la matriz micrítica o presentes como cementos secundarios tardíos. A veces el color puede proceder de la alteración de nódulos de óxidos de hierro de origen diagenético, generalmente asociados a glauconita, y que, localmente, pueden ser más abundantes en alguna cantera.



E-1:50.000

R

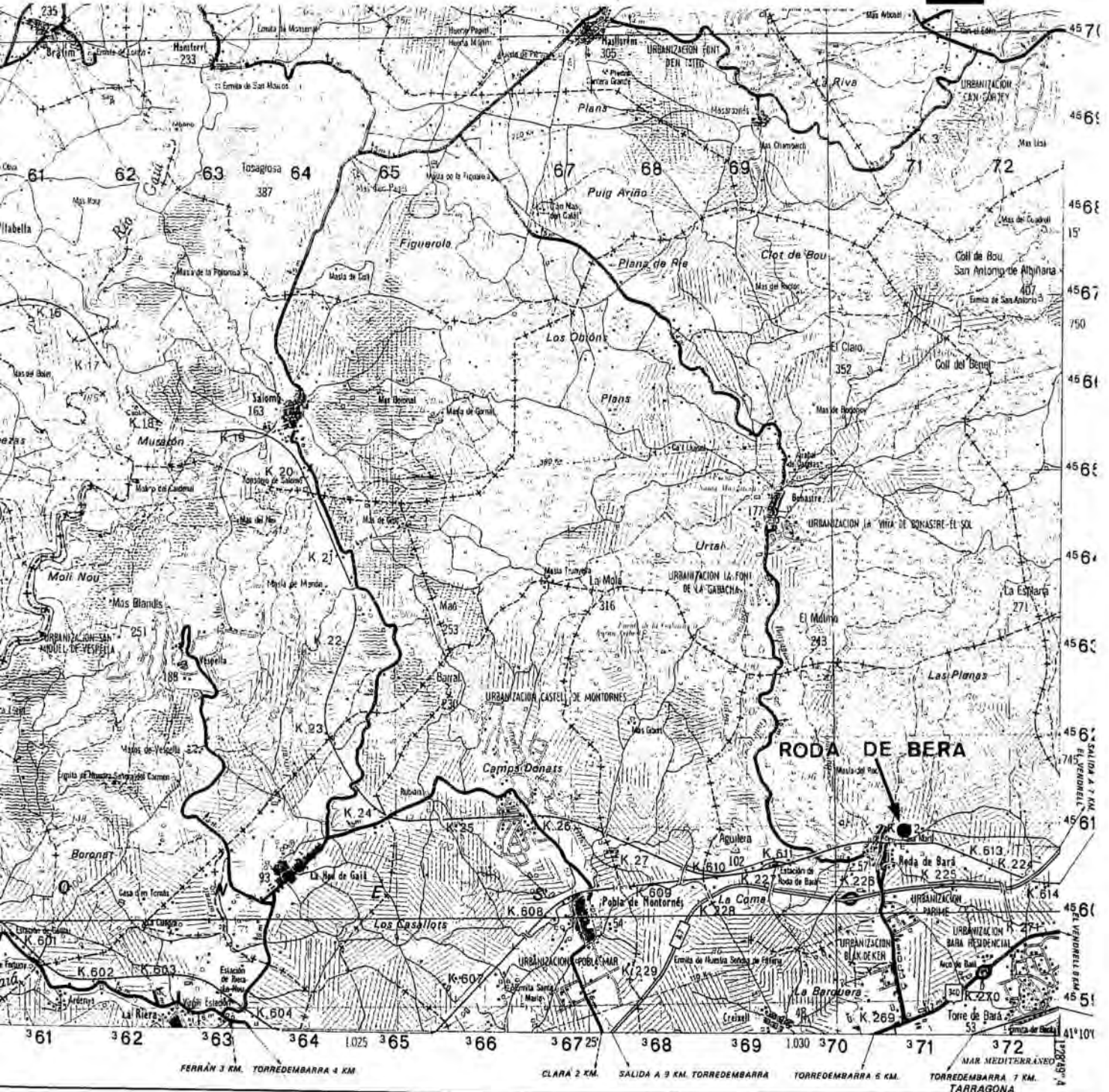
R

A

N

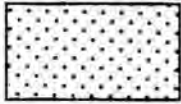
E

0

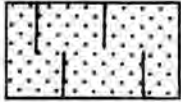


E- 1:50.000

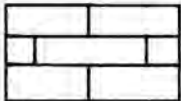
LITOLOGÍA



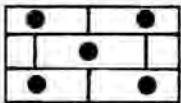
ARENISCA (SANDSTONE)



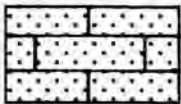
ARENISCA CALCAREA (CALCAREOUS SANDSTONE)



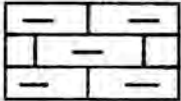
CALIZA (LIMESTONE)



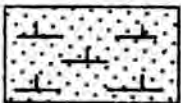
CALCARENITA BIOCLASTICA (BIOCLASTIC LIMESTONE)



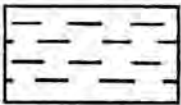
CALIZA ARENOSA (SANDY LIMESTONE)



CALIZA LIMOSA (SILTY LIMESTONE)



CALCISILTITAS (CALCISILTITE)



LUTITAS (CLAY)



BRECHA CALCAREA (CARBONATE BRECCIA)



CONGLOMERADO (CONGLOMERATE)

CONTENIDO FOSILÍFERO

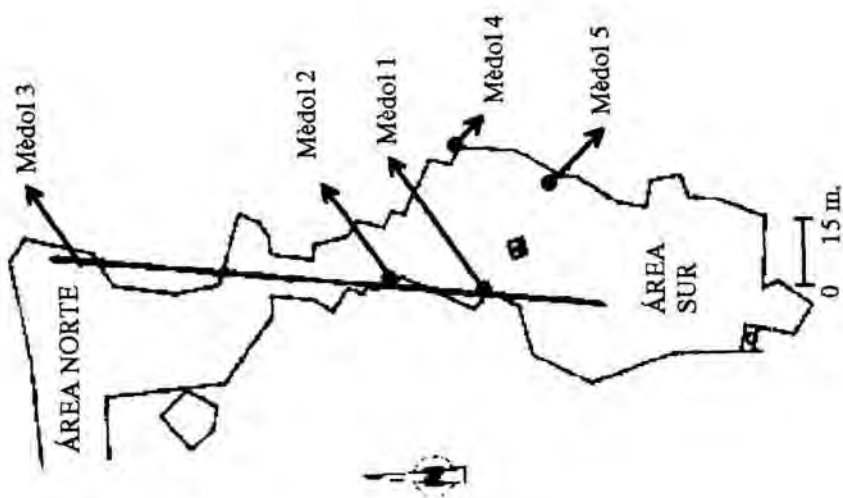
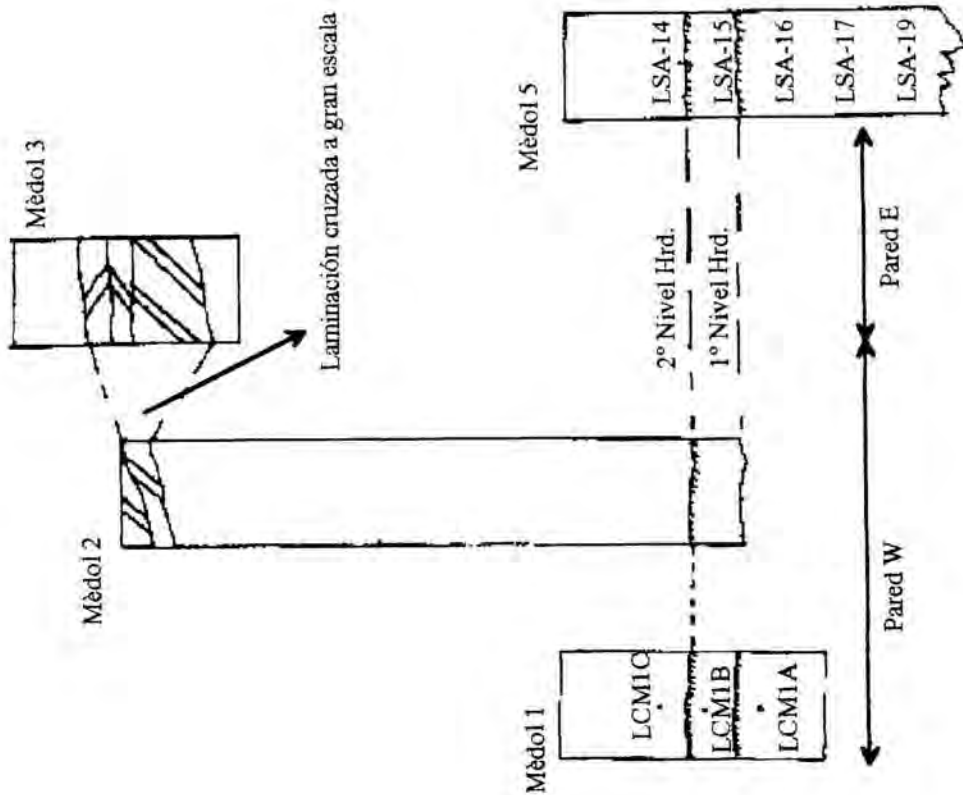
Y	BRIOZOOS	⊕	CORALES
Ⓐ	EQUÍNIDOS (gen.)	Λ	EQUÍNIDOS (puas)
☁	EQUÍNIDOS (scutella)	⊗	FORAMINIFEROS (gen.)
Ⓐ _{tr.}	HETEROESTIGINAS	⌘	ALGAS CORALINAS
Ⓐ	GASTERÓPODOS	⌒	LAMELIBRANQUIOS(gen.)
Ⓐ	OSTREIDOS	⌘	LAMELIBRANQUIOS (pectinidos)
⌘	FRAGMENTOS		

ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS

⌘	RIPLES	≡	LAMINACIÓN PLANAR
Ⓐ	SLUMPS	⌘	LAMINACIÓN CRUZADA
⌘	HARDGROUND	⌘	ESTROMATOLITO (Boundstone)
⌘	BIOTURBACIÓN (gen.)	⌘	SUPERFICIE CARSTIFICADA
⌘	BIOTURBACIÓN (burrows)	⌘	SUPERFICIE FESTONEADA
⌘	ESPELEOTEMAS CÁRSTICOS	⌘	CICATRIZ EROSIVA
⌘	PEQUEÑOS CANALES ARENOSOS		

OTROS COMPONENTES

⌘	NIVEL DE CONCENTRACIÓN DE BIVALVOS
⌘	NIVEL DE CONCENTRACIÓN DE OSTREIDOS
⊗	FRAGMENTOS LÍTICOS
Ⓐ	CALCITA
Ⓐ	GLAUCONITA
Ⓐ	QUARZO
Ⓐ	LIMONITA
Ⓐ	RODOLITOS
Ⓐ	NIVEL MILIMÉTRICO DE CARBONATOS ("Datum")
Ⓐ	DOLOMITA ENHÉDRICA ZONADA
Ⓐ	DOLOMITIZACIÓN
Ⓐ	NÓDULOS CALCÁREOS IRREGULARES
Ⓐ	NÓDULOS ARENOSOS IRREGULARES
Ⓐ	OLISTOLITOS



COLUMNA: EL MEDOL 1

ESQUEMA DE LA EXPLOTACION:

COORDENADAS:

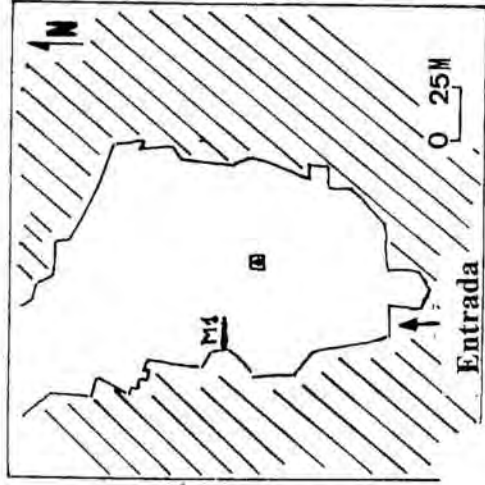
X: 1° 20' 32"

Y: 41° 08' 25"

LOCALIDAD: TARRAGONA

TIPO DE EXPLOTACION:

Cantera a cielo abierto



Escala: 1/100.

UNIDAD	COLOR	POTENCIA (M)	LITOLOGIA	FOSILES		OBSERVACIONES
				TERRIGENOS	CARBONATOS	
UNIDAD ARDENYA		11				
		10				
		9				
		8				
		7				
		6				
		5				
		4				
		3				
		2				
		1				

HARD GROUND

HARD GROUND



Serie Mèdol 1

HR1, HR2: Niveles de discontinuidad

C: Cavidades càrsticas

LCM 1A: Tramo inferior

LCM 1B: Tramo medio

LCM 1c: Tramo superior

COLUMNA: EL MEDOL 2

ESQUEMA DE LA EXPLOTACION:

COORDENADAS:

X: 1° 20' 32"

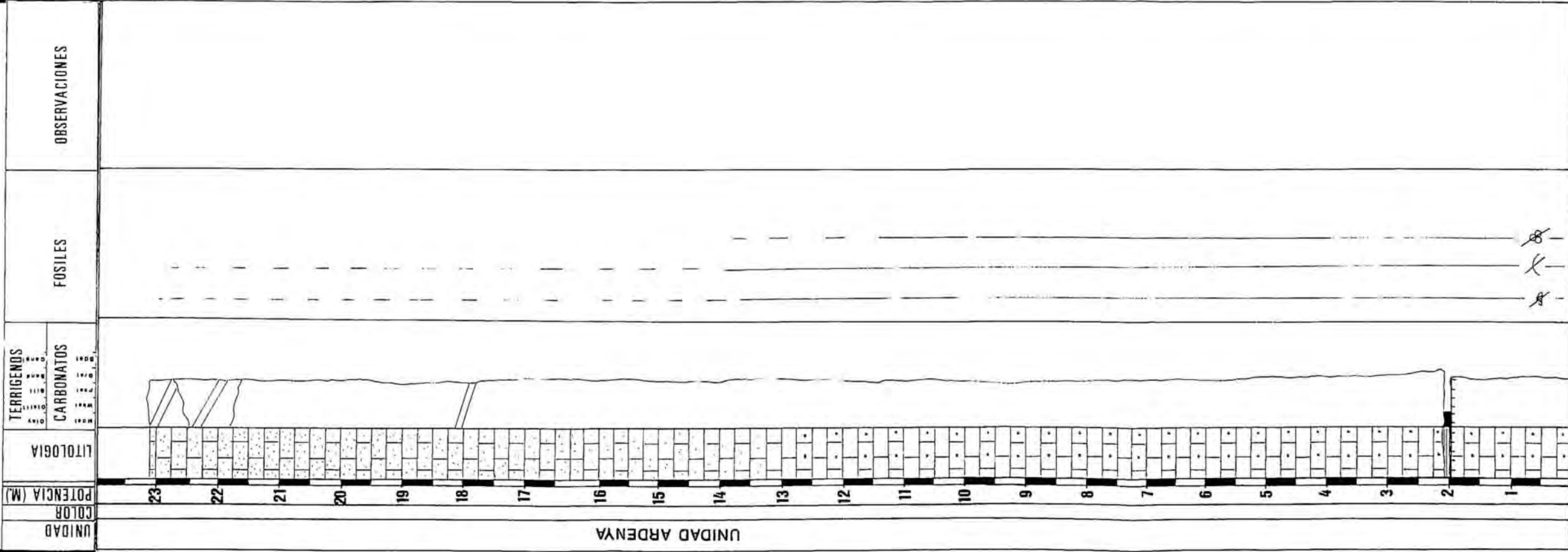
Y: 41° 08' 25"

LOCALIDAD: Tarragona

TIPO DE EXPLOTACION:

Cantera a cielo abierto

Escala: 1/100.



COLUMNA: EL MEDOL 3

ESQUEMA DE LA EXPLOTACION:

COORDENADAS:

X: 1° 20' 32"

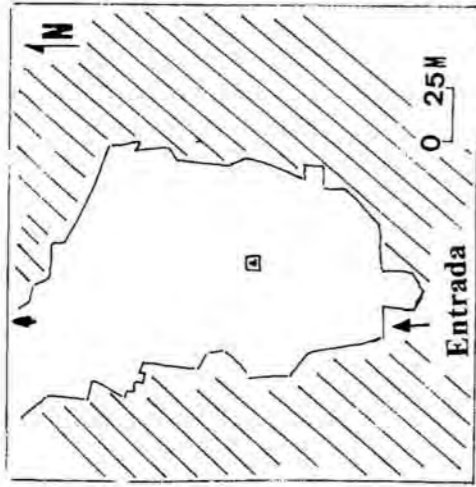
Y: 41° 08' 25"

LOCALIDAD: Tarragona

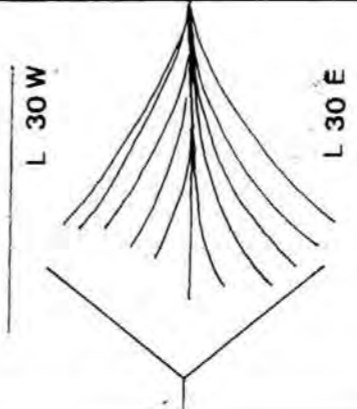
TIPO DE EXPLOTACION:

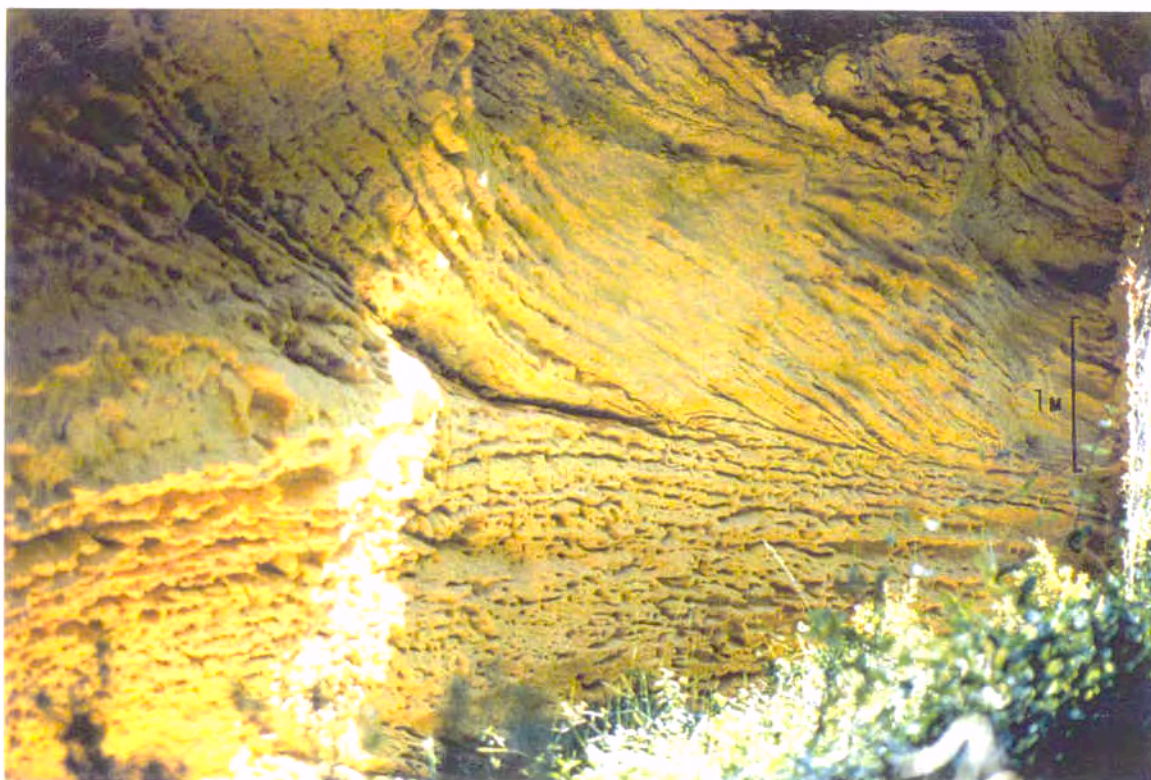
Cantera a cielo abierto

Escala: 1/100.

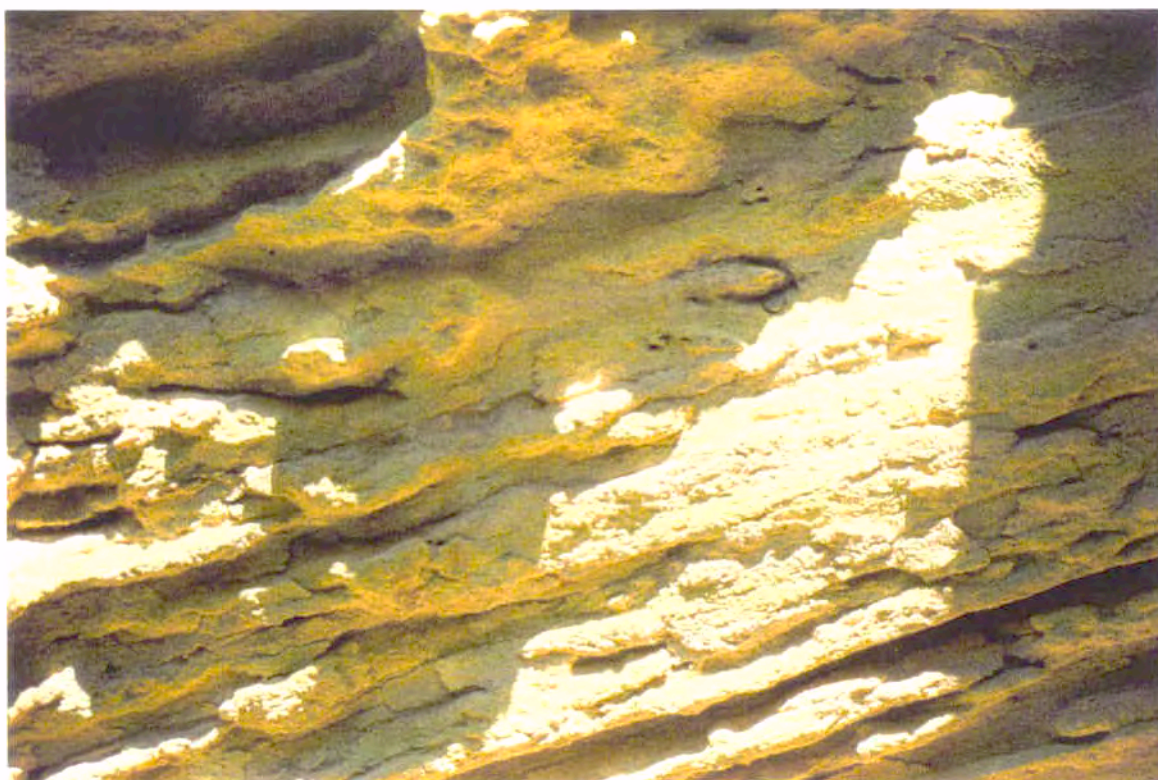


UNIDAD	POTENCIA (M)	LITOLOGIA	TERRIGENOS	CARBONATOS	FOSILES	OBSERVACIONES
U N I D A D	9					
A	8					
R	7					
D	6					
E	5					
N	4					
Y	3					
A	2					
D	1					





An-3/8.F-1 Estratificación cruzada a gran escala. "Dunas Submarinas"



An-3/8.F-2 Detalle de los "Foreset" de bajo ángulo de buzamiento y "Scutellas" en disposición horizontal o paralela



Serie Mèdol 4 (SA1-SA12)

Cantera "El Mèdol"

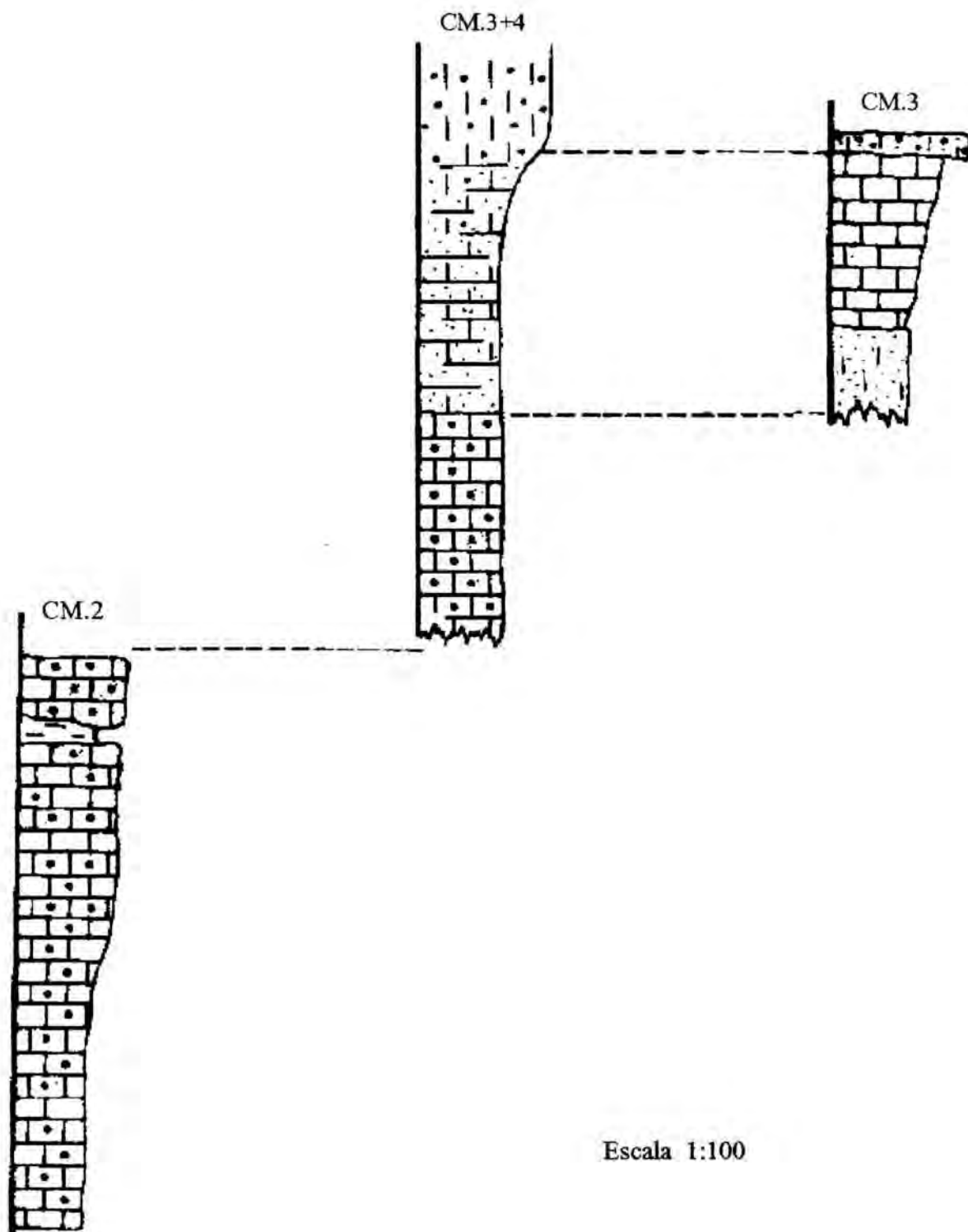


Serie Mèdol 5 (SA13-SA20)

Escala aproximada 1:100. Pared E, àrea Sur
HRD 1 y HRD 2 son niveles de hardground

CORRELACIÓN COLUMNAS "MAS DEL MARQUÉS"

N — S



Escala 1:100

COLUMNA: MAS DEL MARQUÉS 2.

ESQUEMA DE LA EXPLOTACION:

COORDENADAS:

X: 1° 21' 04"

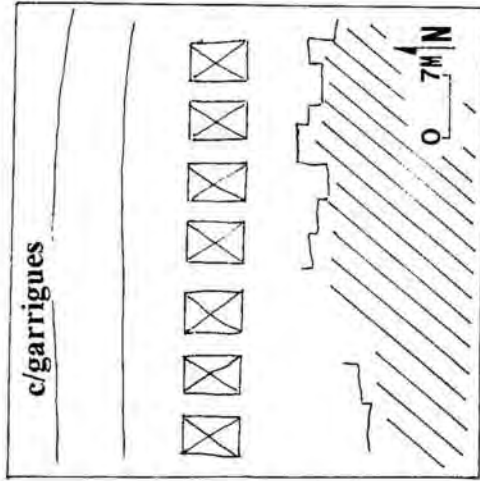
Y: 41° 08' 14"

LOCALIDAD: Tarragona

TIPO DE EXPLOTACION:

Cantera a cielo abierto

Escala: 1/100.



UNIDAD	COLOR	POTENCIA (M.)	LITOLOGIA	TERRIGENOS	CARBONATOS	FOSILES	OBSERVACIONES
UNIDAD ARDENYA		9 8 7 6 5 4 3 2 1					

COLUMNA: MAS DEL MARQUÉS 3+4

ESQUEMA DE LA EXPLOTACION:

COORDENADAS:

X: 1° 21' 10"

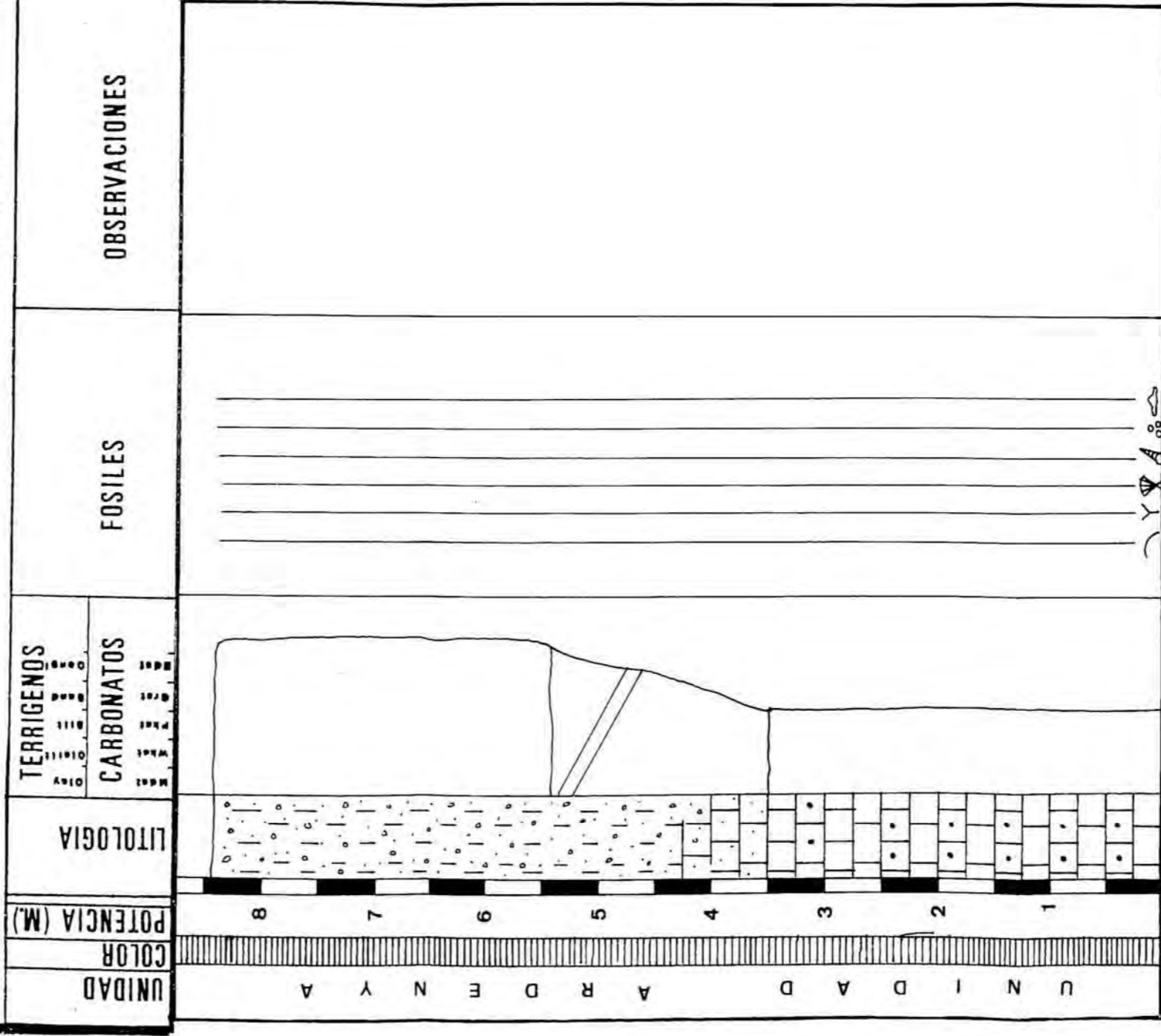
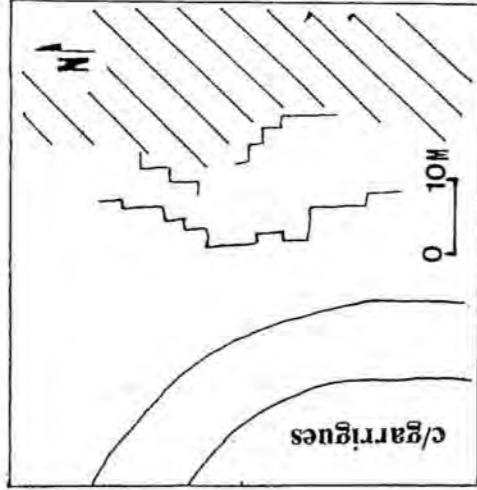
Y: 41° 08' 22"

LOCALIDAD: Tarragona

TIPO DE EXPLOTACION:

Cantera a cielo abierto

Escala: 1/50



COLUMNA: MAS DEL MARQUÉS 3.

ESQUEMA DE LA EXPLOTACION:

COORDENADAS:

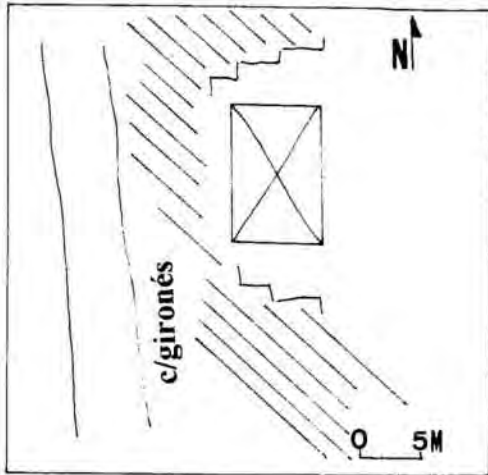
X: 1° 21' 06"

Y: 41° 08' 19"

LOCALIDAD: Tarragona

TIPO DE EXPLOTACION:

Cantera a cielo abierto



Escala: 1/100.

UNIDAD	COLOR	POTENCIA (M.)	LITOLOGIA	TERRIGENOS	FOSILES	OBSERVACIONES
				Clay Calcit Silt Sand Congl.		
				CARBONATOS		
				Mstl Wket Pkrl Gral Bstl		
UNIDAD ARDENYA		5				
		4				
		3				
		2				
		1				

COLUMNA: LA PUNTA DE LA CREUETA (ELS ESCIPIONS)

ESQUEMA DE LA EXPLOTACION:

COORDENADAS:

X: 1°19' 28"

Y: 41° 07' 47"

LOCALIDAD: TARRAGONA

TIPO DE EXPLOTACION:

Cantera a cielo abierto



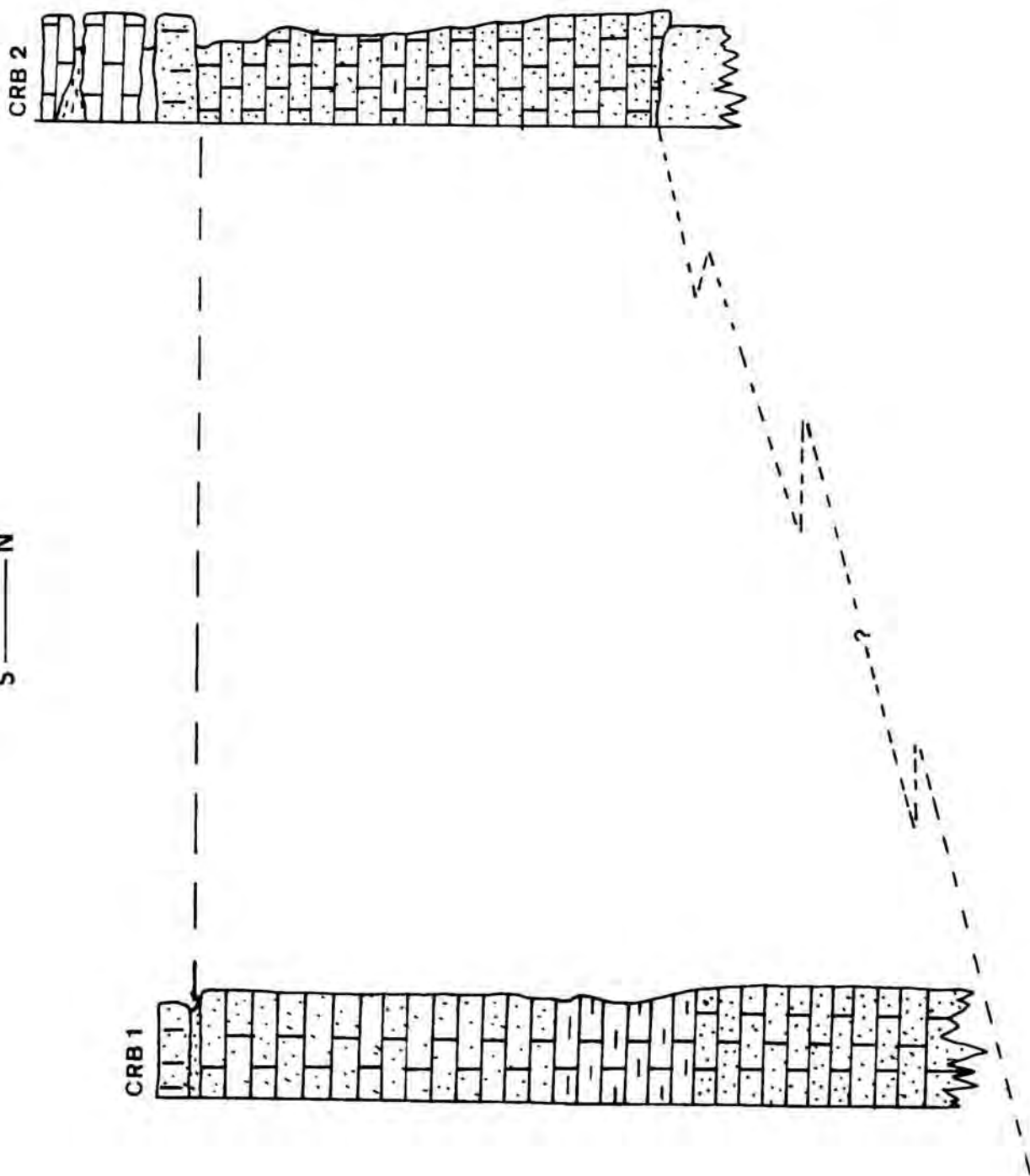
Escala: 1/100.

UNIDAD	COLOR	POTENCIA (M.)	LITOLOGIA	TERRIGENOS	FOSILES	OBSERVACIONES
				Clay Clayst Silt Sand Congl		
				CARBONATOS		
				Mdol Wket Pkrl Gral Bdst		
UNIDAD ARDENYA		6	[Lithology: thin bedded, slightly wavy]		[Fossils: small curved lines]	
		5	[Lithology: thin bedded, slightly wavy]		[Fossils: small curved lines]	
		4	[Lithology: thin bedded, slightly wavy]		[Fossils: small curved lines]	
		3	[Lithology: thin bedded, slightly wavy]		[Fossils: small curved lines]	
		2	[Lithology: thin bedded, slightly wavy]		[Fossils: small curved lines]	
		1	[Lithology: thin bedded, slightly wavy]		[Fossils: small curved lines]	

E 1:100

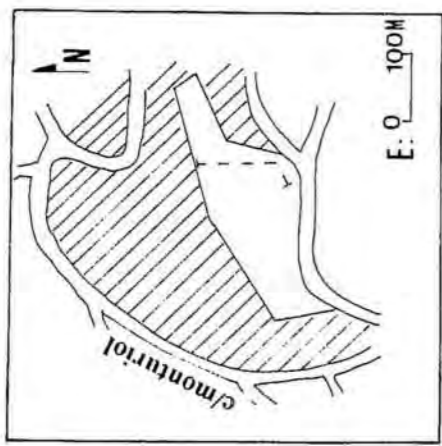
CORRELACIÓN COLUMNAS RODA DE BERÁ

S ——— N



COLUMNA: RODA DE BERA 1

ESQUEMA DE LA EXPLOTACION:



COORDENADAS:

X: 1° 27' 47"

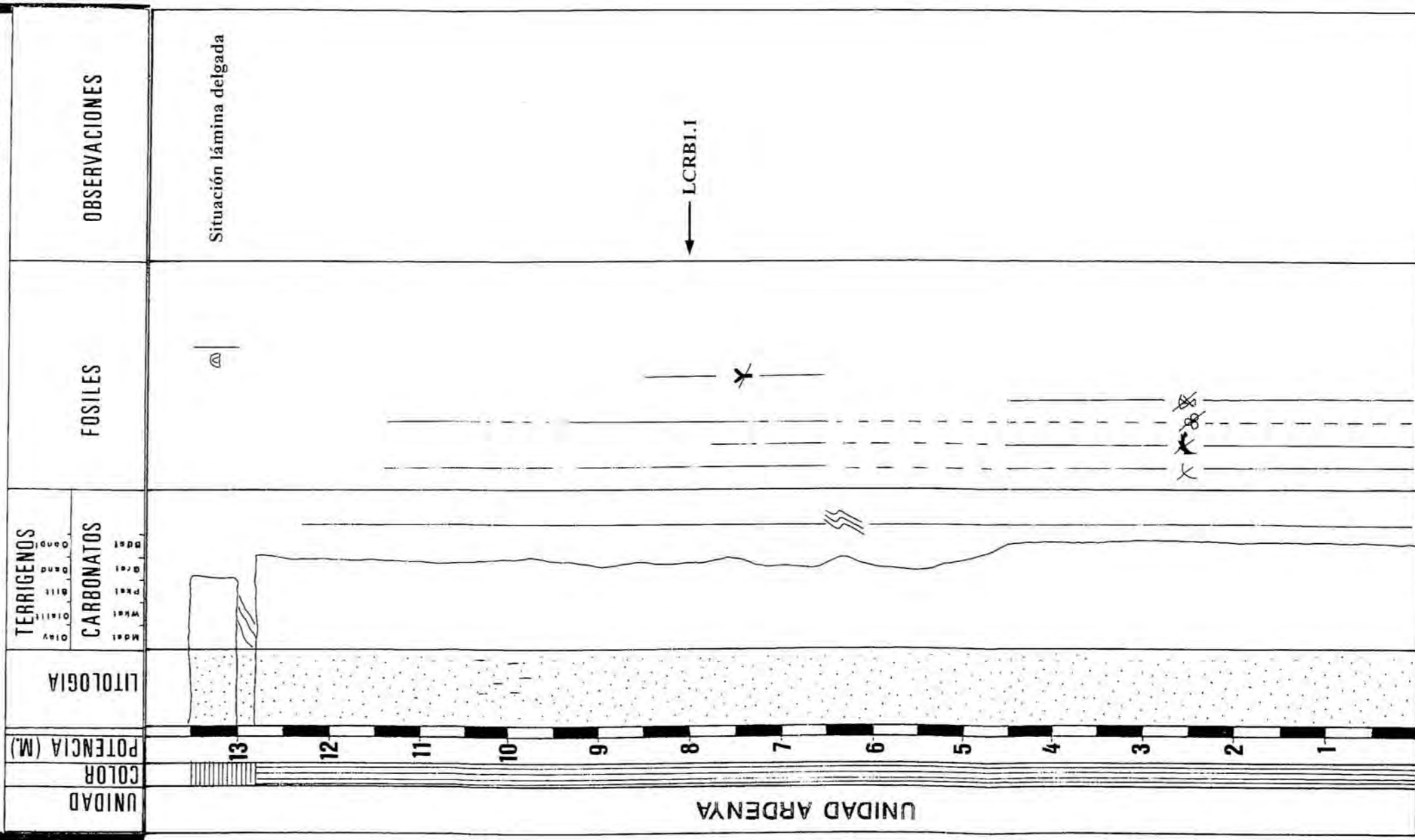
Y: 41° 11' 31"

LOCALIDAD: Roda de Berà.

TIPO DE EXPLOTACION:

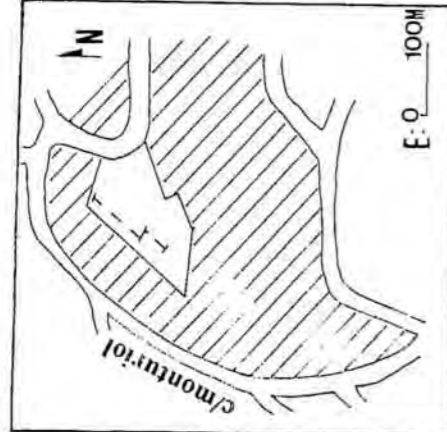
Cantera a cielo abierto

Escala: 1/100.



COLUMNA: RODA DE BERA 2.

ESQUEMA DE LA EXPLOTACION:



COORDENADAS:

X: 1° 27' 47"

Y: 41° 11' 33"

LOCALIDAD: Roda de Berà.

TIPO DE EXPLOTACION:

Cantera a cielo abierto

Escala: 1/100.

UNIDAD	COLOR	POTENCIA (M.)	LITOLOGIA	FOSILES		OBSERVACIONES
				TERRIGENOS	CARBONATOS	
UNIDAD ARDENYA		13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1			<p>Situación lámina delgada</p>	

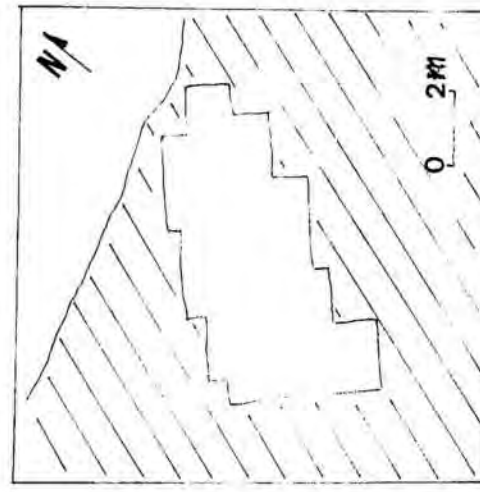
COLUMNA: ELS MUNTS1

ESQUEMA DE LA EXPLOTACION:

COORDENADAS:

X: 1° 23' 30"

Y: 41° 07' 47"



LOCALIDAD: ALTAFULLA

TIPO DE EXPLOTACION:

Cantera a cielo abierto

Escala: 1/100.

UNIDAD	COLOR	POTENCIA (M)	LITOLOGIA	FOSILES		OBSERVACIONES
				TERRIGENOS	CARBONATOS	
S.D. GARRAF/LANGHIENSE						
		8			Y	
		7			Y, A, B, C, D, E	Situación Lámina Delgada
		6				
		5				
		4				
		3				
		2				
		1				
						LCPC2A
						LCPC2B
						LCPC-1

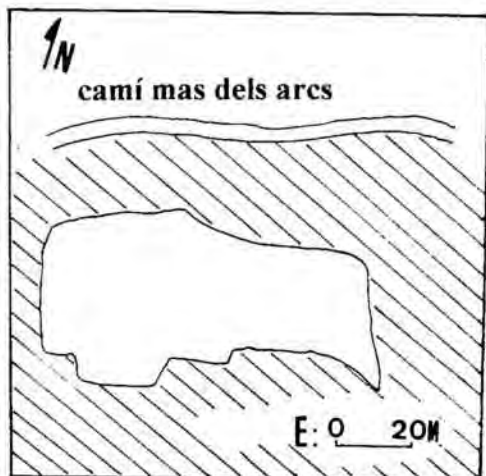
COLUMNA: MAS DELS ARCS 1.

ESQUEMA DE LA EXPLOTACION:

COORDENADAS:

X: 1° 15' 16"

Y: 41° 06' 34"



LOCALIDAD: Tarragona

TIPO DE EXPLOTACION:

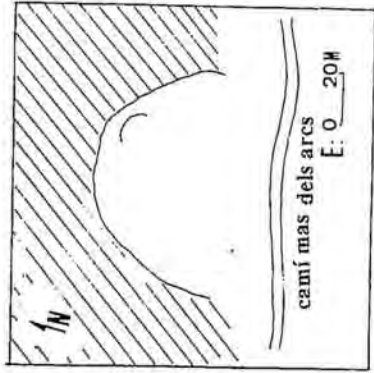
Cantera a cielo abierto

Escala: 1/100.

UNIDAD	COLOR	POTENCIA (M.)	LITOLOGIA	TERRIGENOS	FOSILES	OBSERVACIONES
				Clay Glsilt Silt Sand Cong		
				CARBONATOS		
				Mast Whit Pkt Grt Bdot		
UNIDAD ARDENYA		3 2 1				Estromatrolitos o estructura tipo "Estromatoctis"

COLUMNA: MAS DELS ARCS 2.

ESQUEMA DE LA EXPLOTACION:



COORDENADAS:

X: 1° 15' 13"

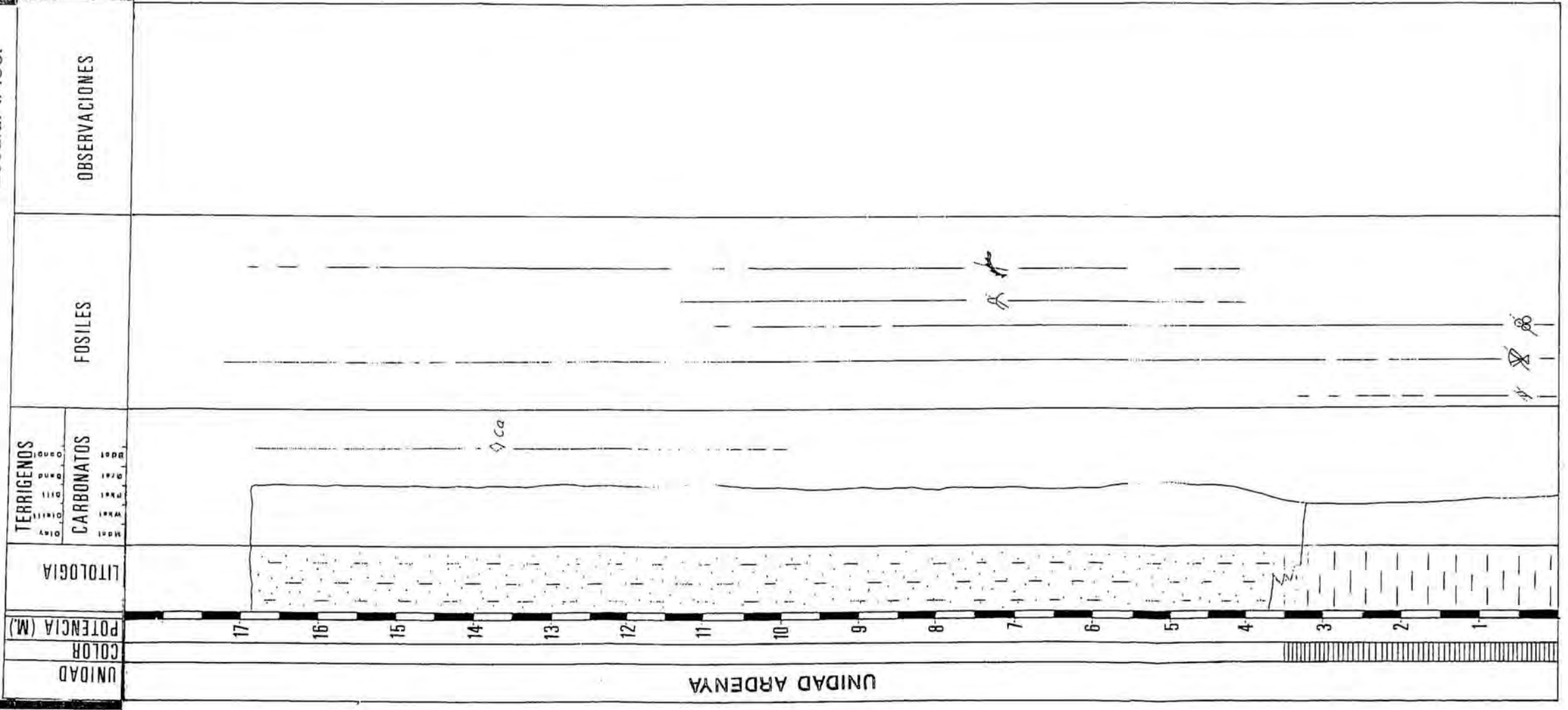
Y: 41° 09' 09"

LOCALIDAD: Tarragona

TIPO DE EXPLOTACION:

Cantera a cielo abierto

Escala: 1/100.



COLUMNA: MAS DELS ARCS 3.

ESQUEMA DE LA EXPLOTACION:



COORDENADAS:

X: 1° 15' 15"

Y: 41° 09' 08"

LOCALIDAD: Tarragona

TIPO DE EXPLOTACION:

Cantera a cielo abierto

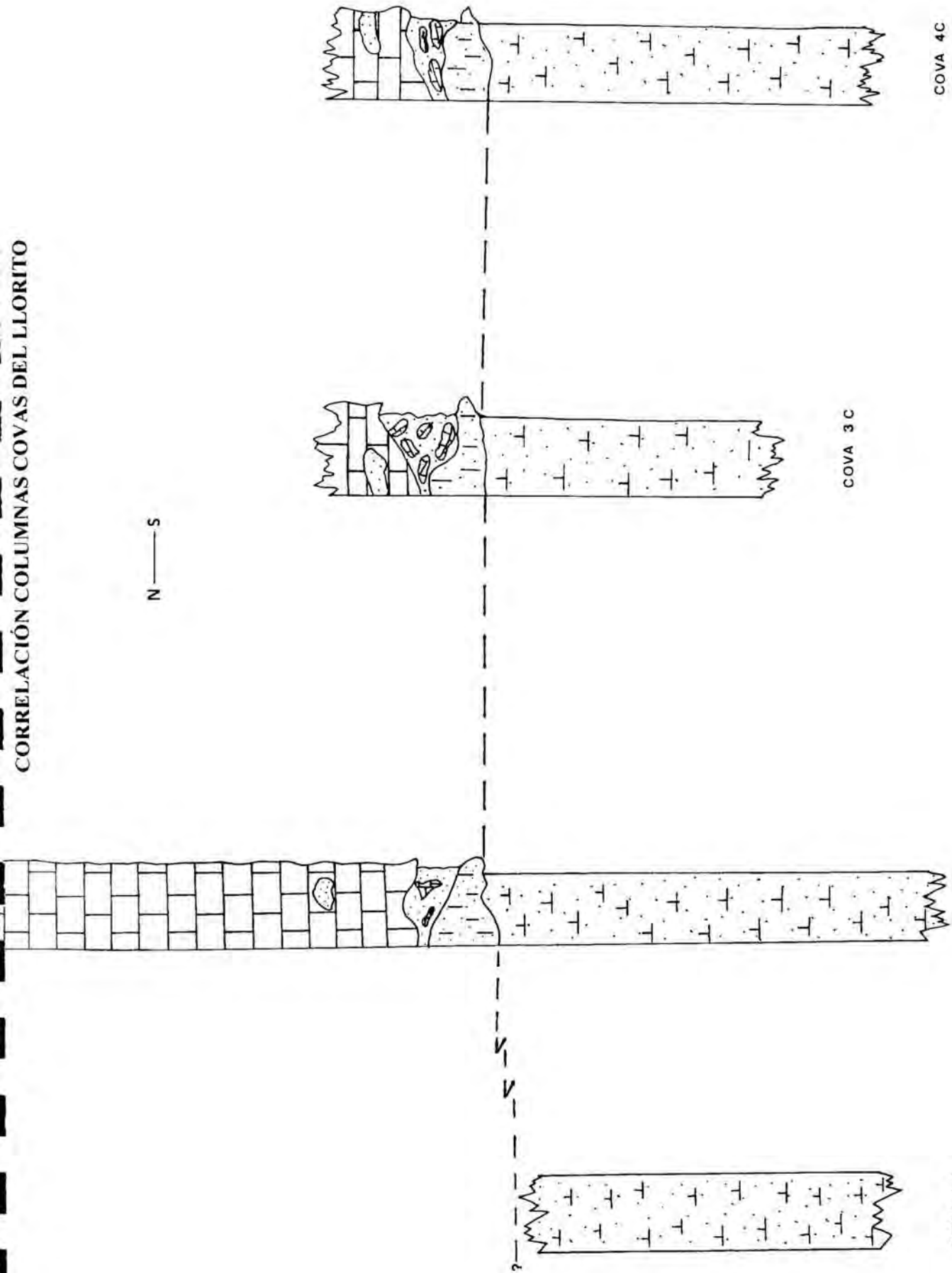
Escala: 1/100.

UNIDAD	COLOR	POTENCIA (M.)	LITOLOGIA	TERRIGENOS	FOSILES	OBSERVACIONES
				Clay Silt Sand Congl.		
				CARBONATOS		
				Mast Wket Phel Brel Bgat		
UNIDAD ARDENYA		4				
		3				
		2				
		1				

E. HORIZONTAL 1:500
E. VERTICAL 1:5000

CORRELACIÓN COLUMNAS COVAS DEL LLORITO

N — S



COVA 4C

COVA 3C

COVA 2B

COVA 1A

COLUMNA: EL LLORITO 1. (Cova A)

ESQUEMA DE LA EXPLOTACION:

COORDENADAS:

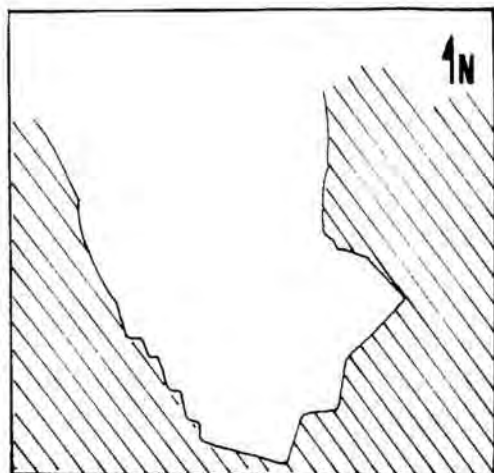
X: 1° 16' 19"

Y: 41° 08' 31"

LOCALIDAD: Tarragona.

TIPO DE EXPLOTACION:
Explotacion interior.

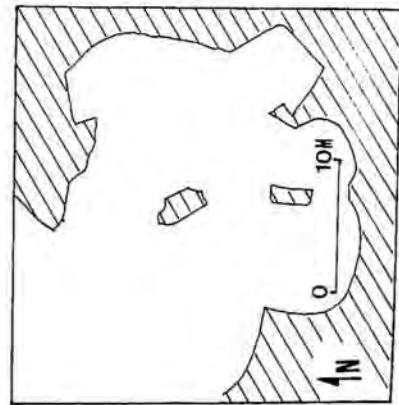
Escala: 1/100.



UNIDAD	COLOR	POTENCIA (M.)	LITOLOGIA	TERRIGENOS	FOSILES	OBSERVACIONES
				CARBONATOS		
UNIDAD ARDENYA		5		Clay Silt Sand Gravel Cobble		
		4		Mssl Whol Phol Gral Bost		
		3				
		2				
		1				

COLUMNA: EL LLORITO 2. [Cova B]

ESQUEMA DE LA EXPLOTACION:



COORDENADAS:

X: 1° 16' 22"

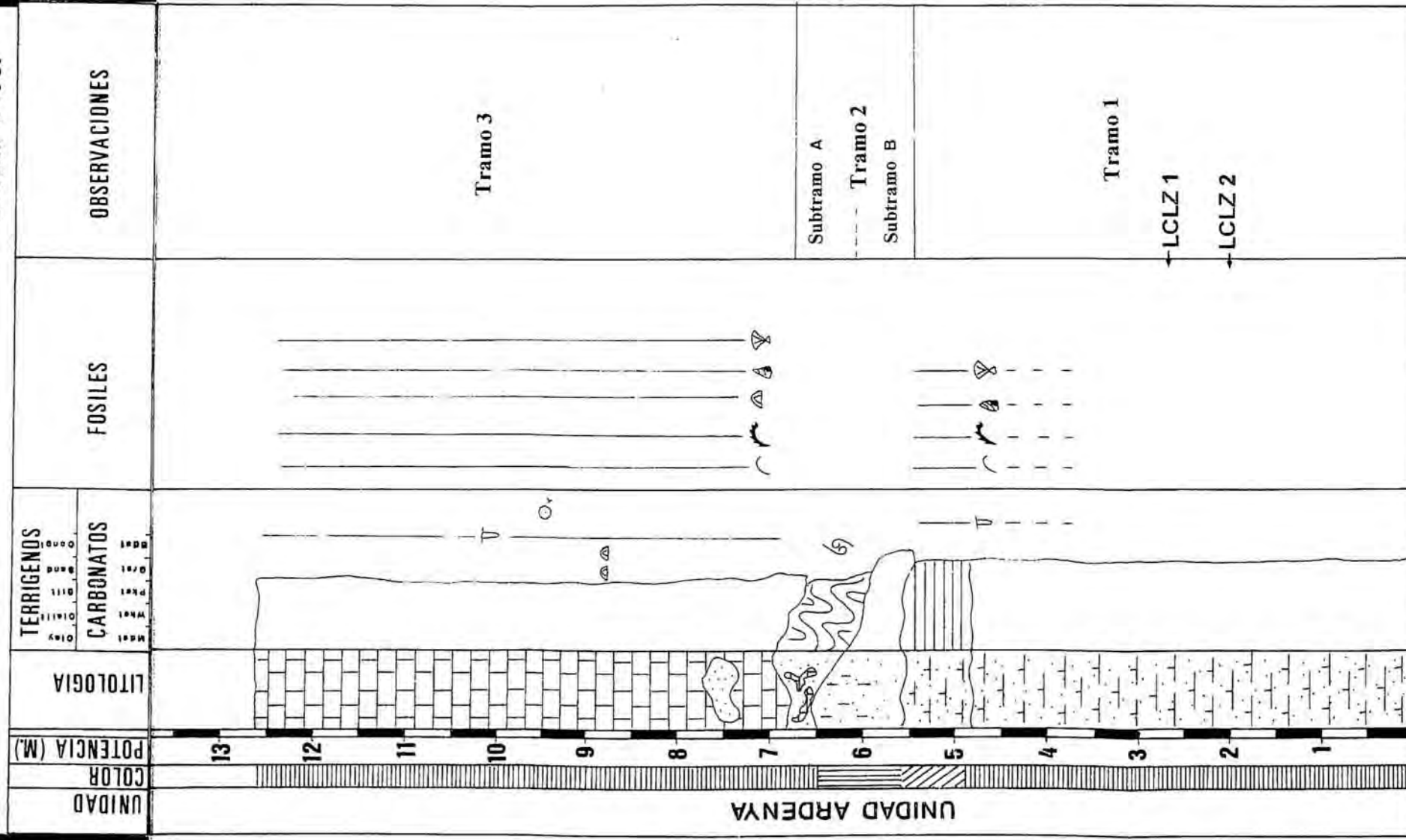
Y: 41° 08' 06"

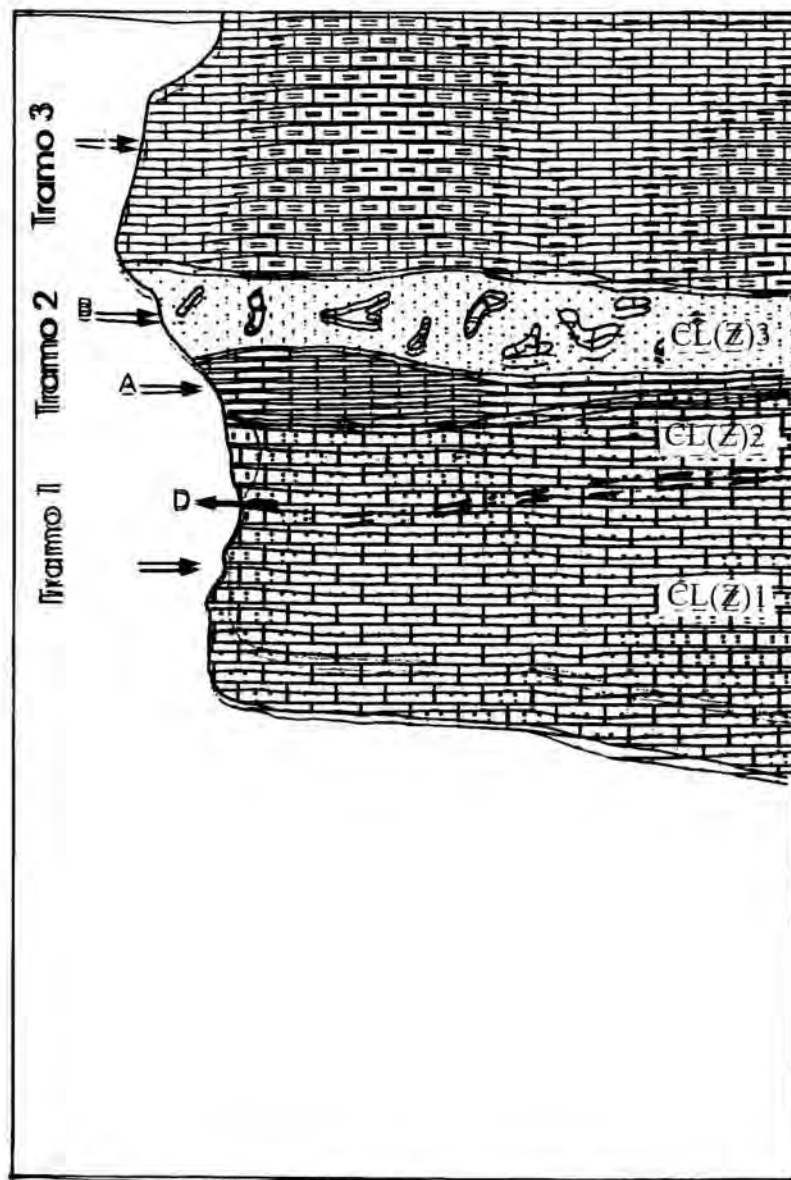
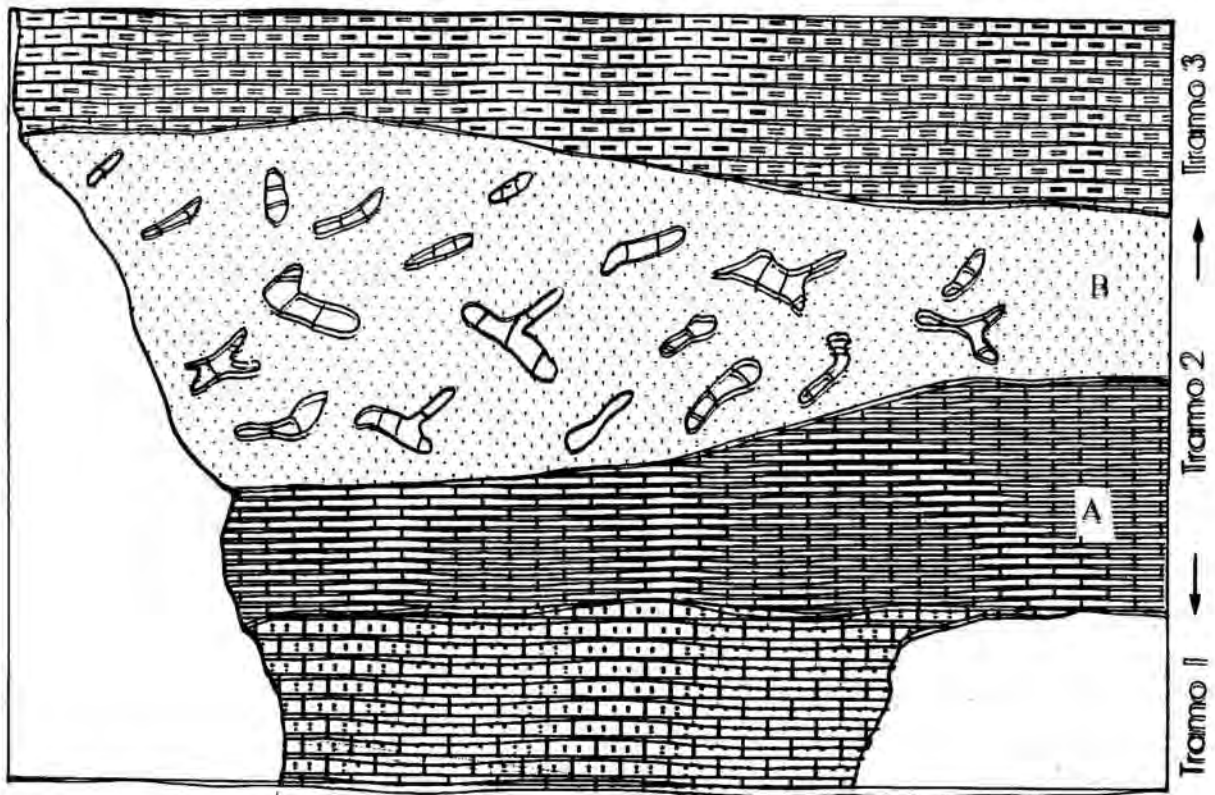
LOCALIDAD: Tarragona.

TIPO DE EXPLOTACION:

Explotacion interior.

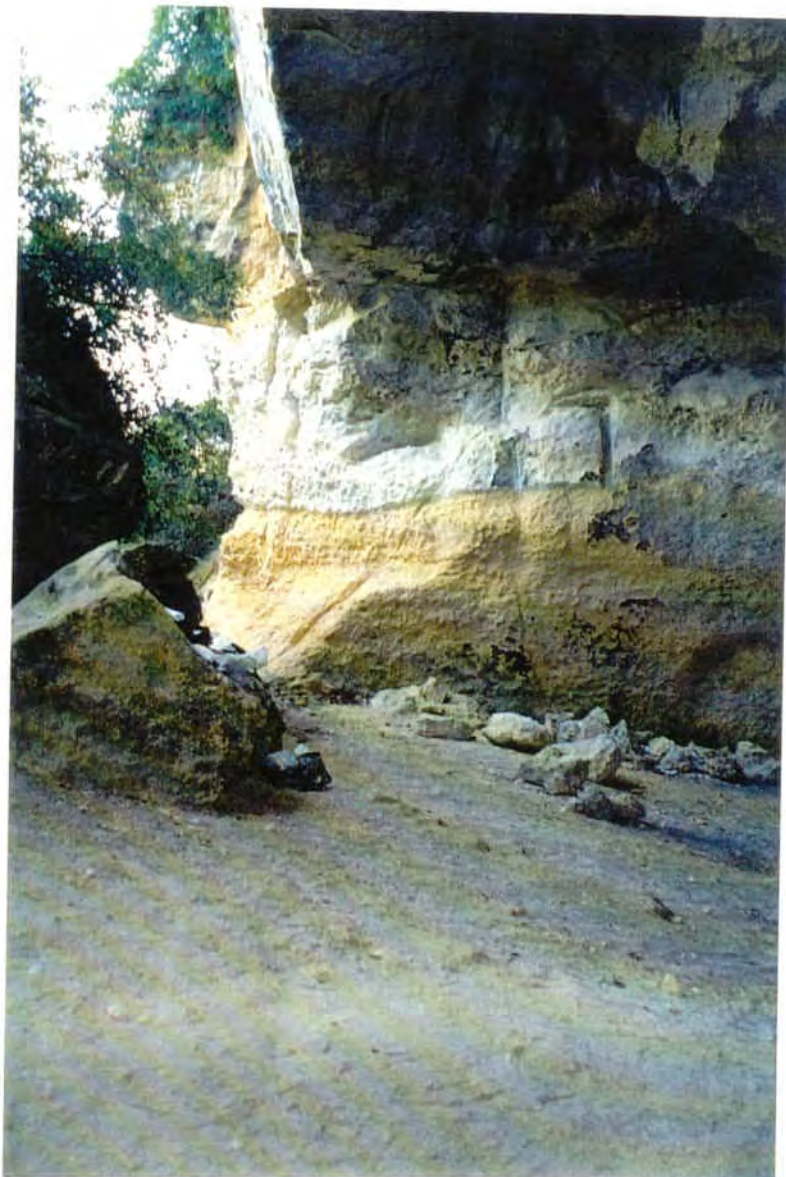
Escala: 1/100.





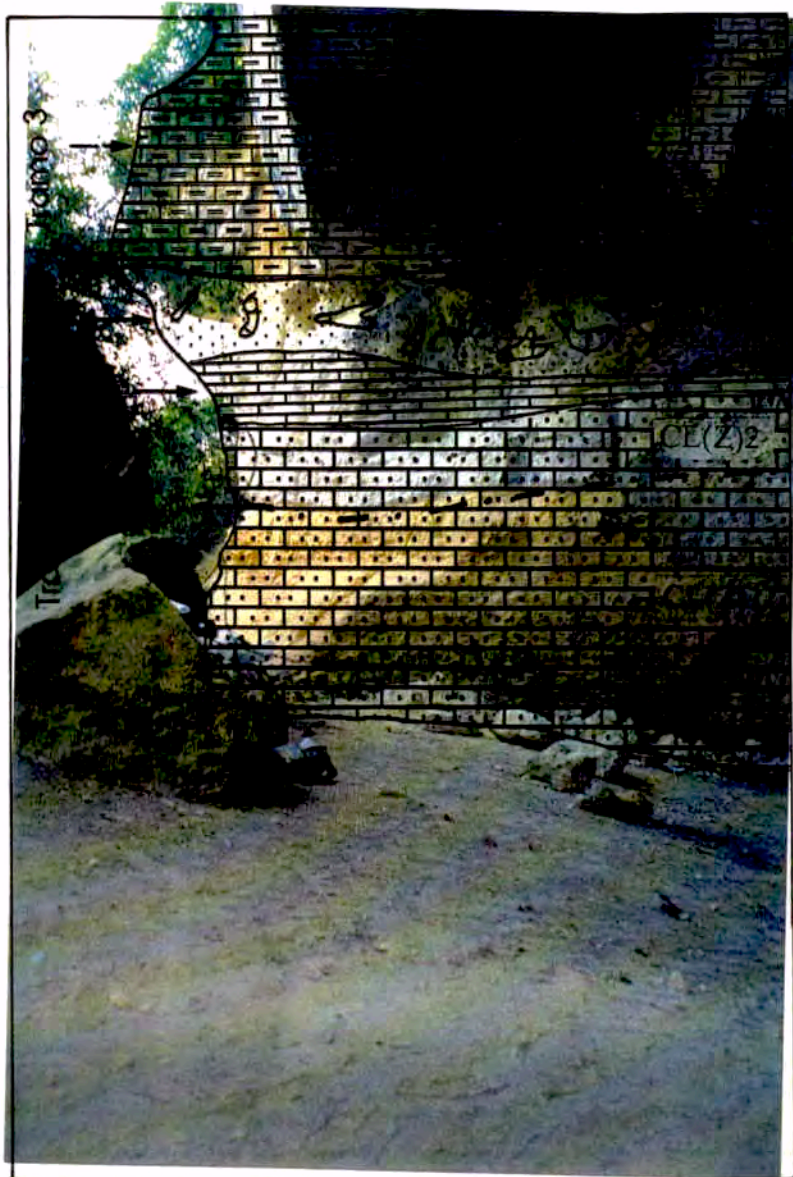


Les Coves del Llorito (Cova B)





Les Coves del Llorito (Cova B)



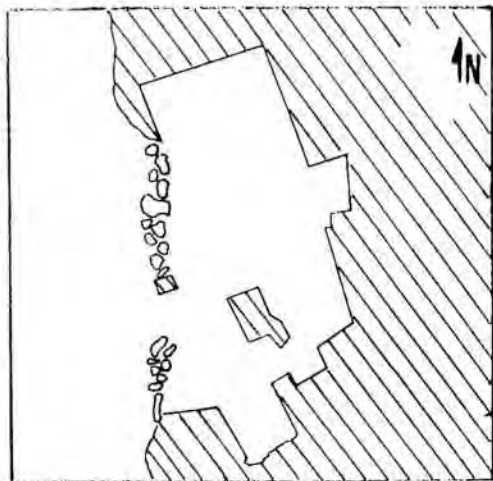
COLUMNA: EL LLORITO 3 (Cova C)

ESQUEMA DE LA EXPLOTACION:

COORDENADAS:

X: 1° 16' 20"

Y: 41° 08' 03"



LOCALIDAD: Tarragona.

TIPO DE EXPLOTACION:
Explotacion interior.

Escala: 1/100.

UNIDAD	COLOR	POTENCIA (M.)	LITOLOGIA	TERRIGENOS	FOSILES	OBSERVACIONES
				CARBONATOS		
				Clay Siltite Silt Sand Congl.		
				Mast Wast Plast Grot Sbst		
UNIDAD ARDENYA		5				Tramo 3
		4				Subtramo A --- Tramo 2 Subtramo B
		3				
		2				Tramo 1
		1				

COLUMNA: EL LLORITO 4. (Cova C)

ESQUEMA DE LA EXPLOTACION:

COORDENADAS:

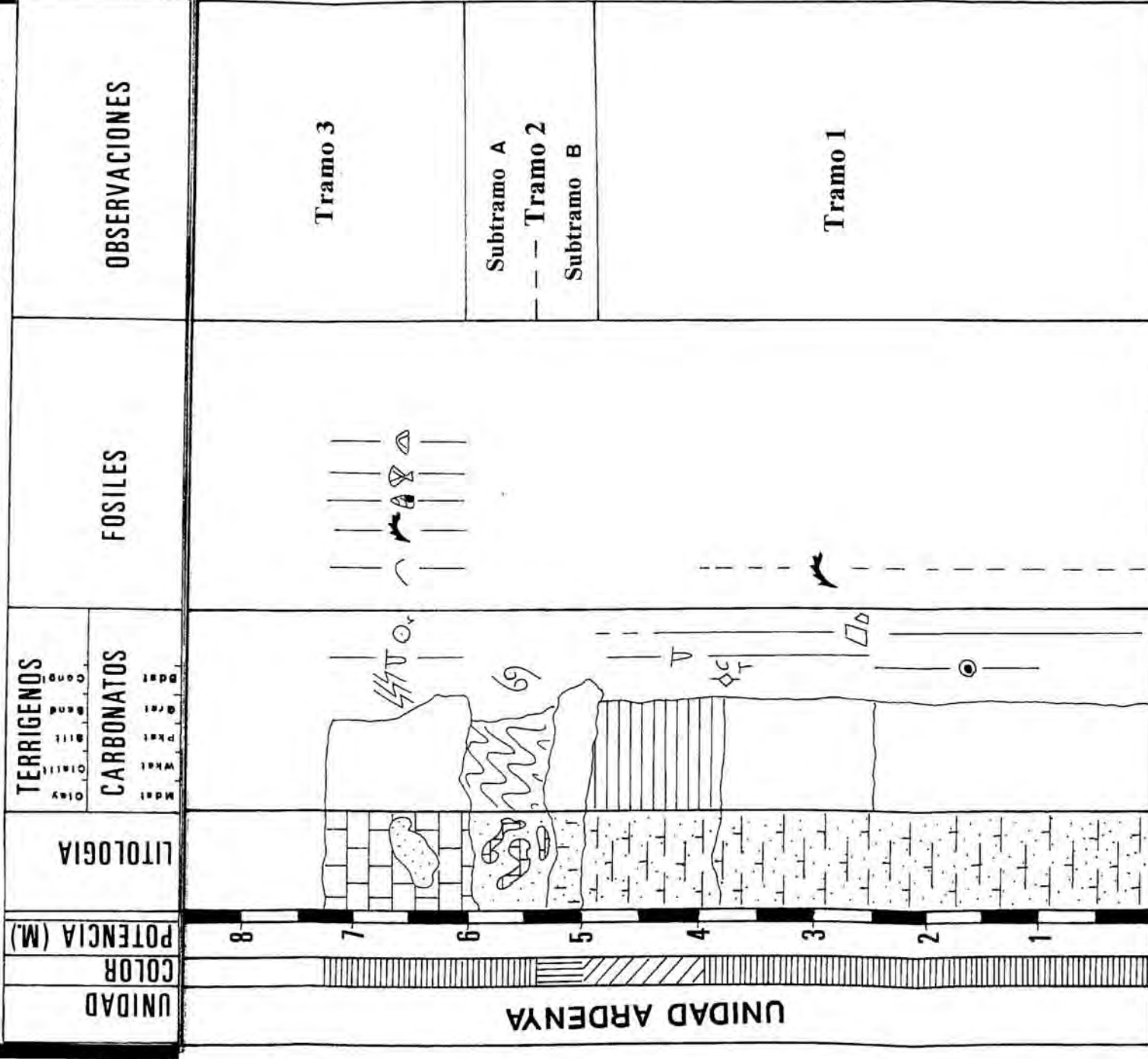
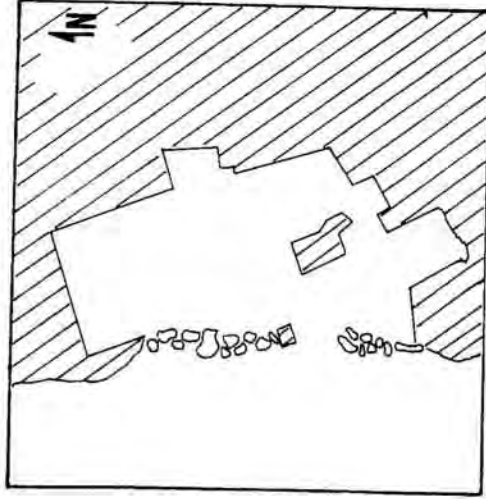
X: 1° 16' 20"

Y: 41° 08' 03"

LOCALIDAD: Tarragona.

TIPO DE EXPLOTACION:
Explotacion interior.

Escala: 1/100.



UNIDAD ARDENYA

TERRIGENOS

CARBONATOS

LITOLOGIA

POTENCIA (M.)

COLOR

UNIDAD

OBSERVACIONES

FOSILES

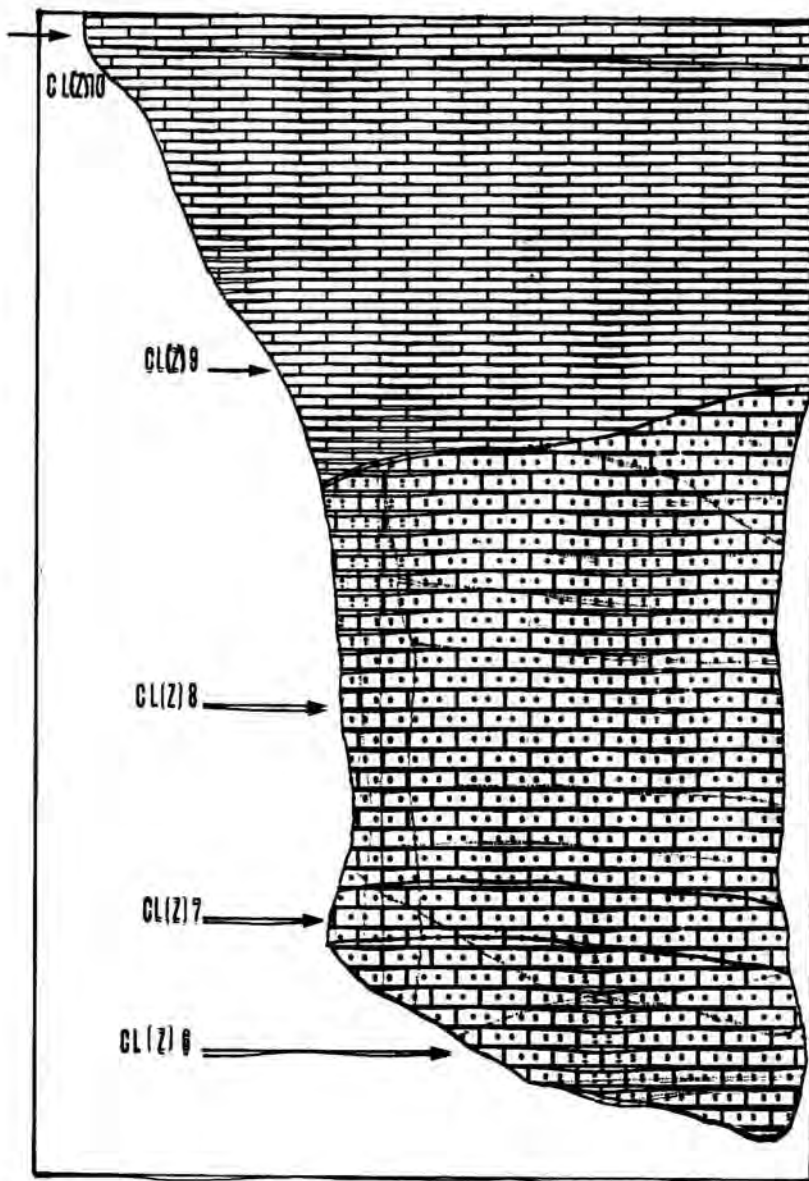
Tramo 3

Subtramo A

Tramo 2

Subtramo B

Tramo 1





Tramo 3

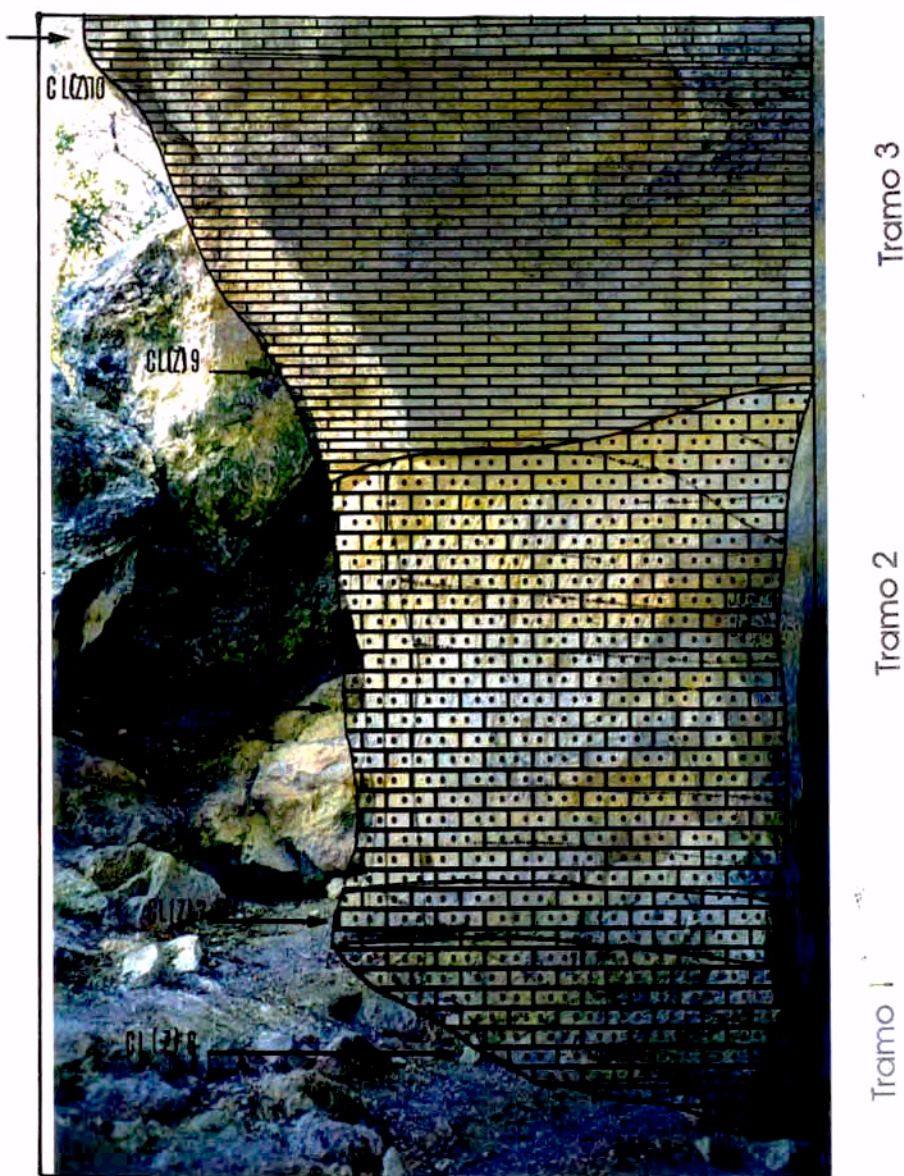
Tramo 2

Tramo 1

Les Coves del Llorito (Cova C)

Puntos de estudio en lámina delgada:

CL (Z) 6		Facies calcisiltita	
CL (Z) 7			
CL (Z) 8			
CL (Z) 9		Facies calcarenita	



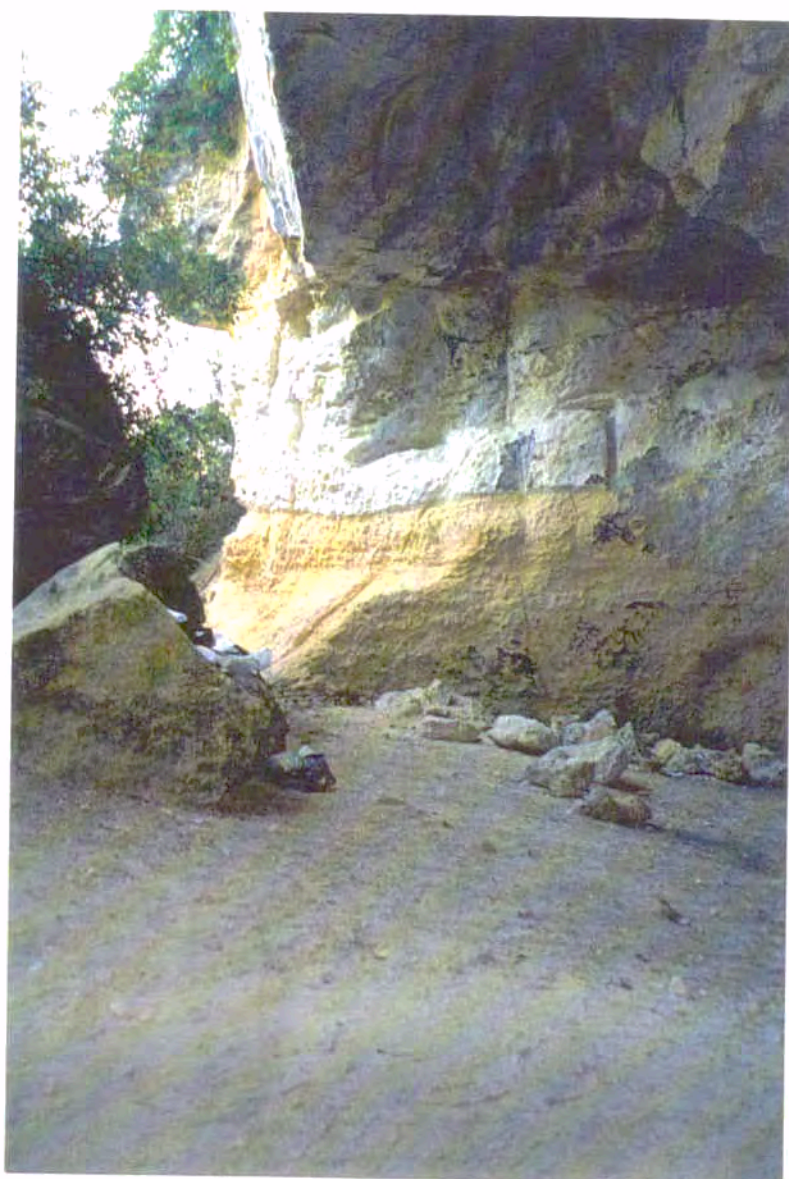
Les Coves del Llorito (Cova C)

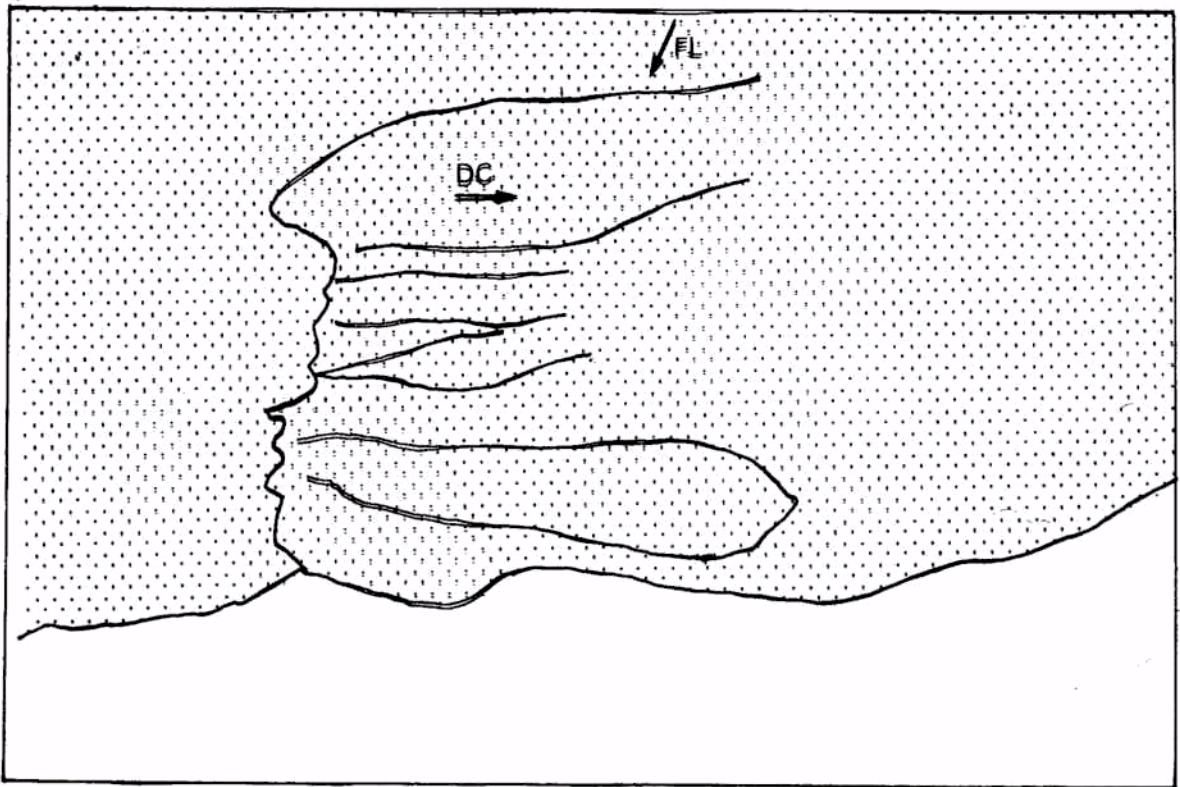
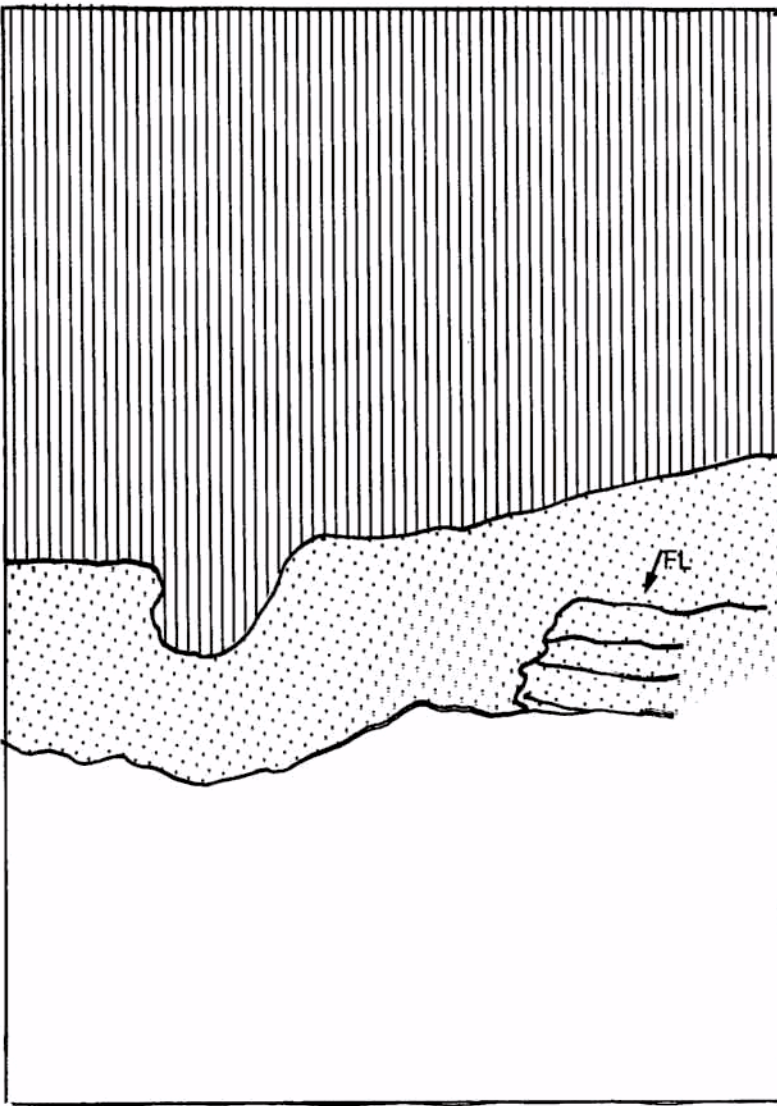
Puntos de estudio en lámina delgada:

CL (Z) 6	Facies calcisiltita	
CL (Z) 7		
CL (Z) 8		
CL (Z) 9	Facies calcarenita	



Les Coves del Llorito (Cova B)







Les Coves del Llorito (Cova C)

Facies calcisiltita

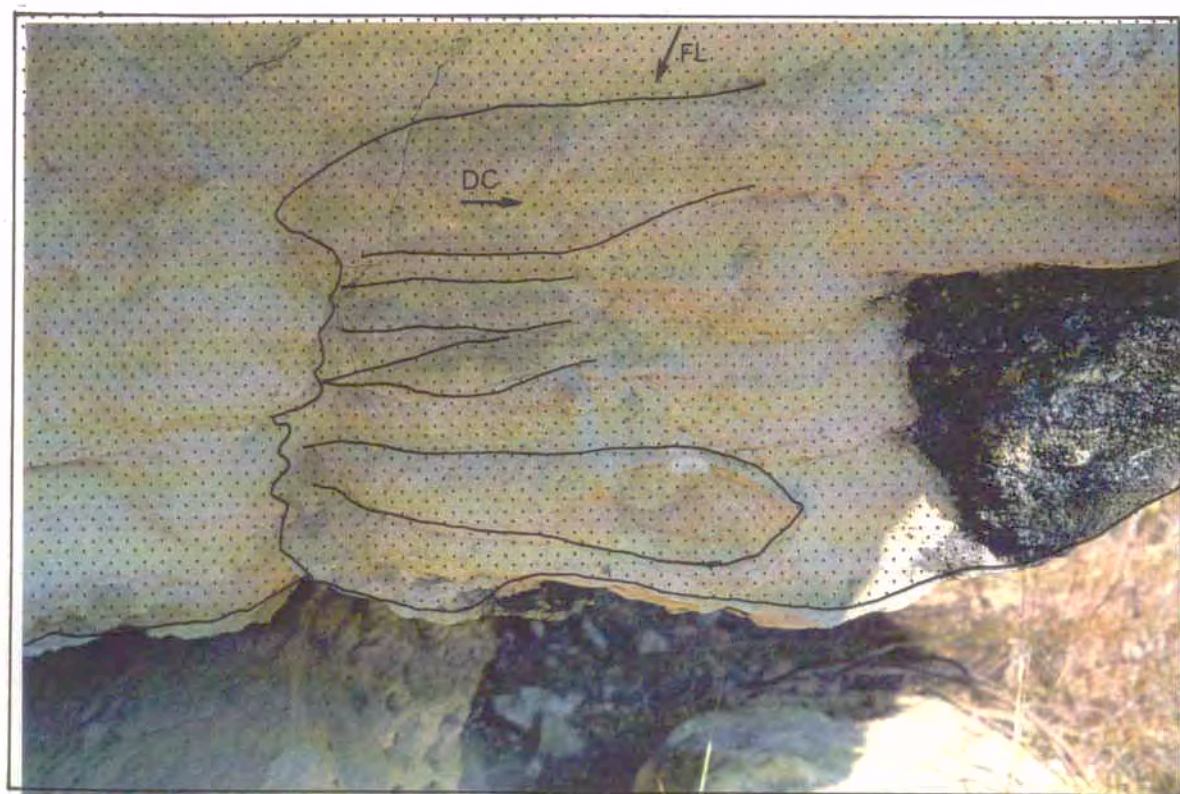


Facies calcarenita



FL: Marcas de corriente

Dc: Direcció de la corrient





Les Coves del Llorito (Cova C)

Facies calcisiltita



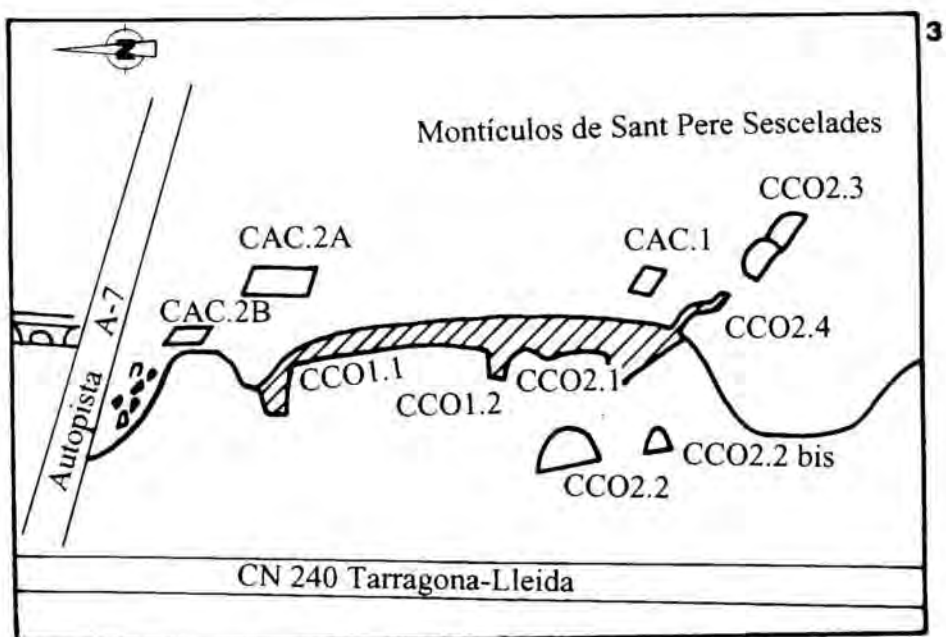
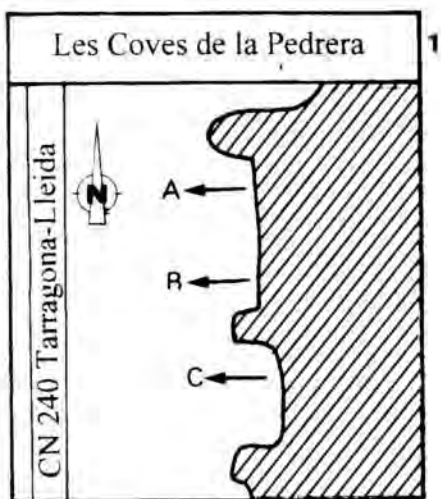
Facies calcarenita



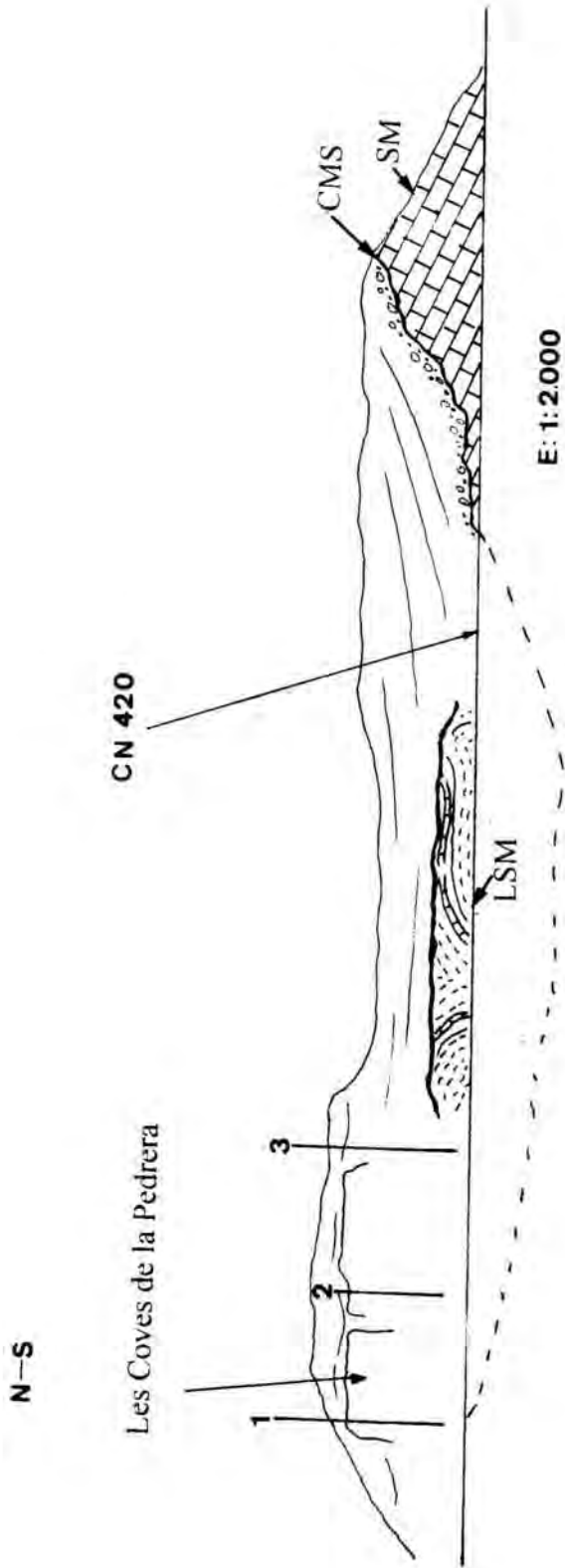
FL: Marcas de corriente

Dc: Dirección de la corriente





CCO1.1 A
CCO1.2 B
CCO2.1 C
CCO2.2 D
CCO2.2 bis E
CCO2.3 F
CCO2.4 G
CAC.1 H
CAC.2 I



1,2,3 Columnas realizadas : Covas 1, Covas 2 y Covas 3

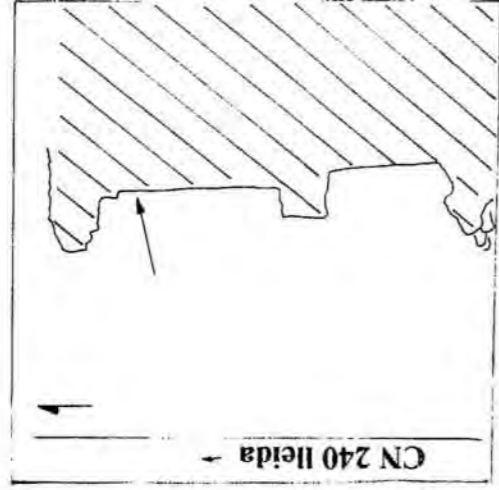
LSM : Latisol tropical base del Mioceno

CMS: Contacto erosivo Mioceno-Secundario

S-M: Sustrato mesozoico (Jurásico)

COLUMNA: LES COVES 1

ESQUEMA DE LA EXPLOTACION:



COORDENADAS:

X: 1° 14' 35"

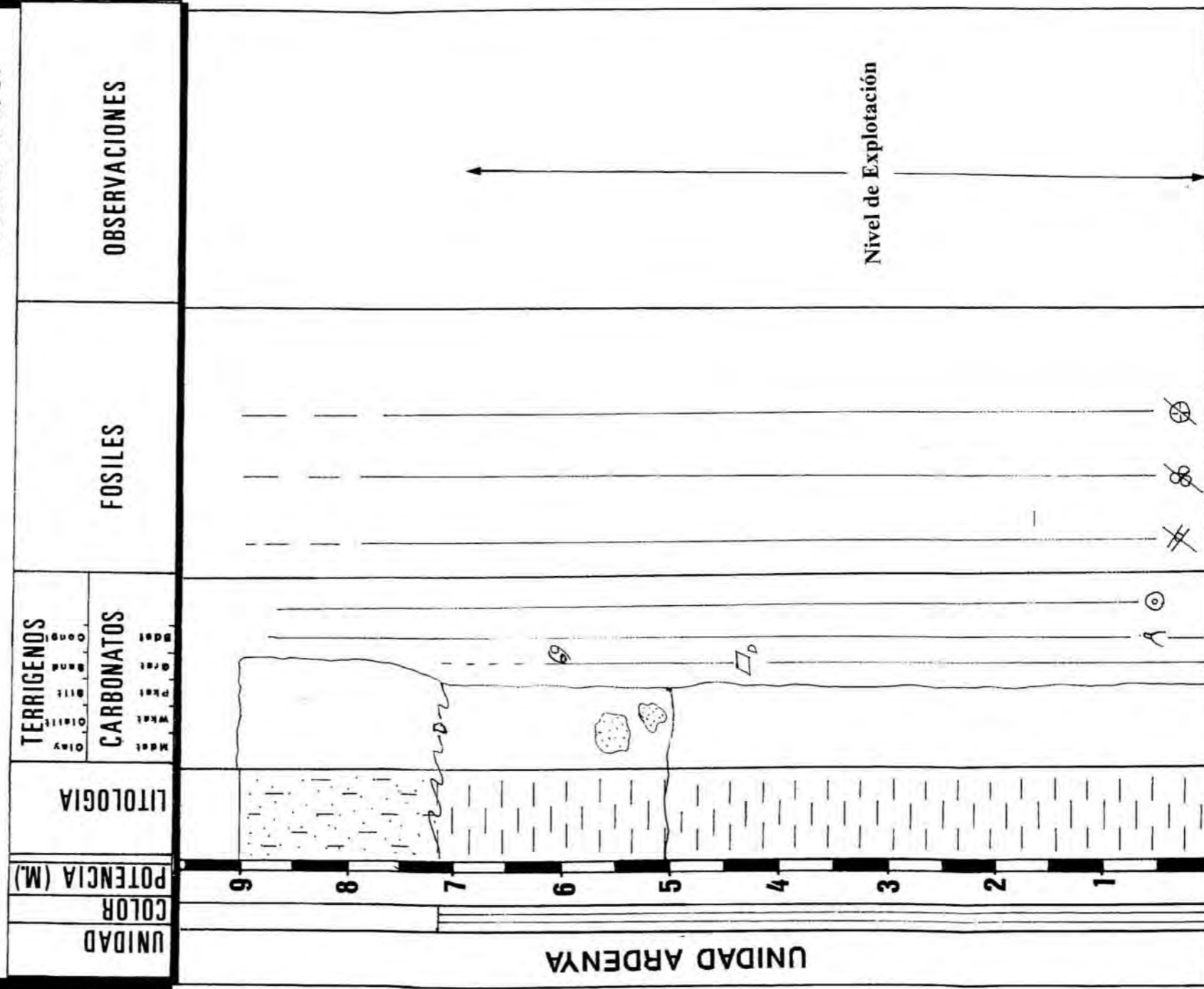
Y: 41° 08' 35"

LOCALIDAD: Tarragona

TIPO DE EXPLOTACION:

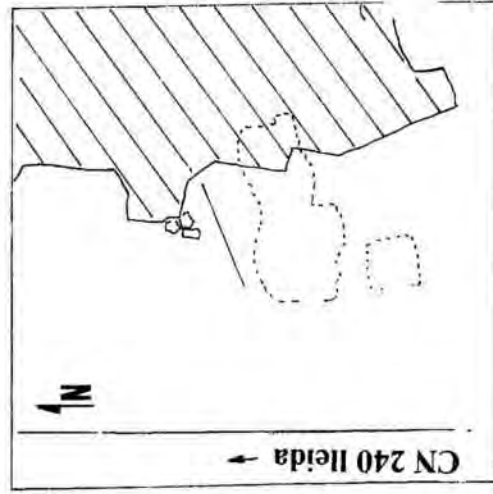
Cantera a cielo abierto

Escala: 1/100.



COLUMNA: LES COVES 2

ESQUEMA DE LA EXPLOTACION:



COORDENADAS:

X: 1° 14' 27"

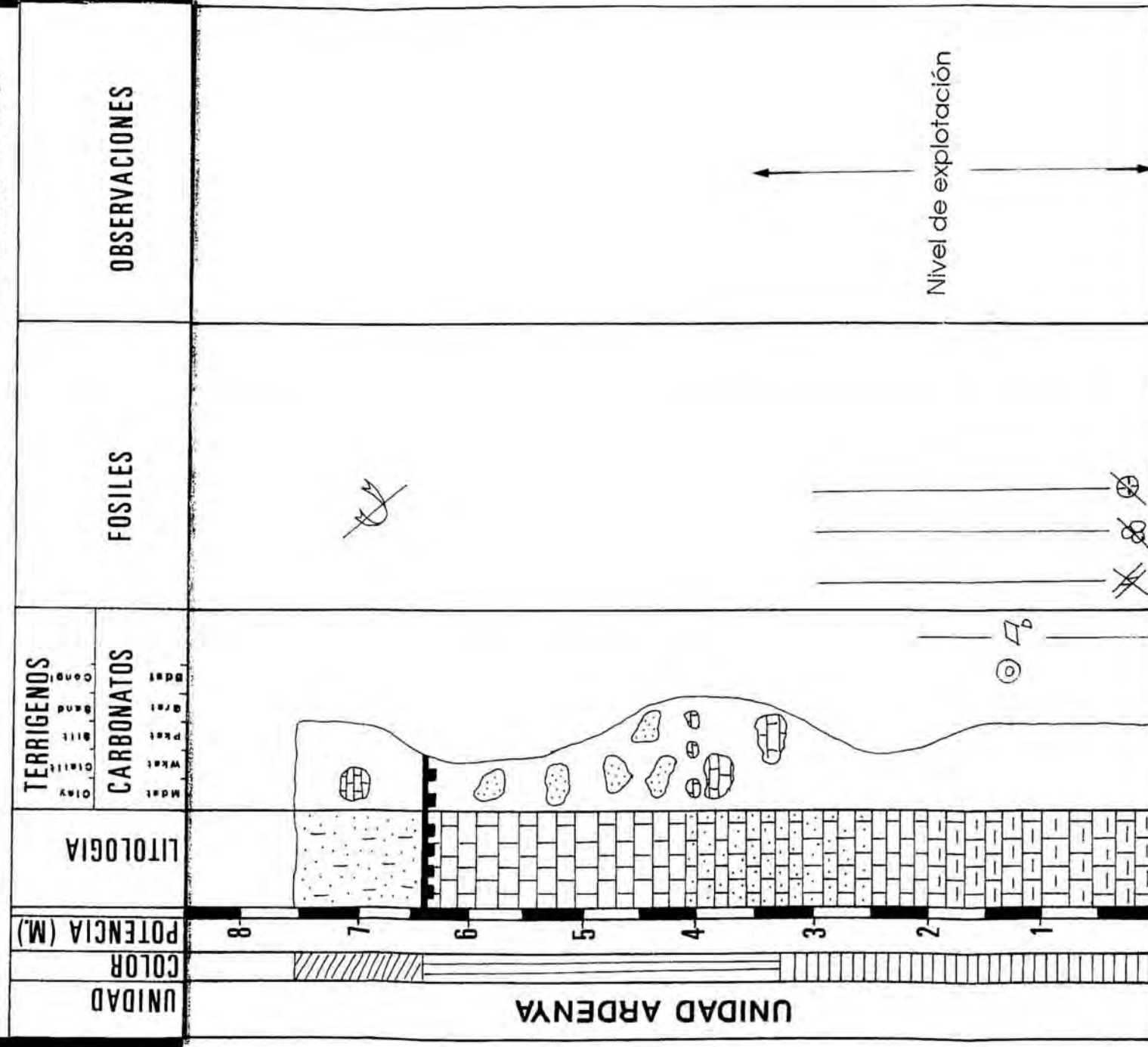
Y: 41° 08' 38"

LOCALIDAD: Tarragona

TIPO DE EXPLOTACION:

Cantera a cielo abierto

Escala: 1/100.



COLUMNA: LES COVES 3.

ESQUEMA DE LA EXPLOTACION:

COORDENADAS:

X: 1° 14' 27"

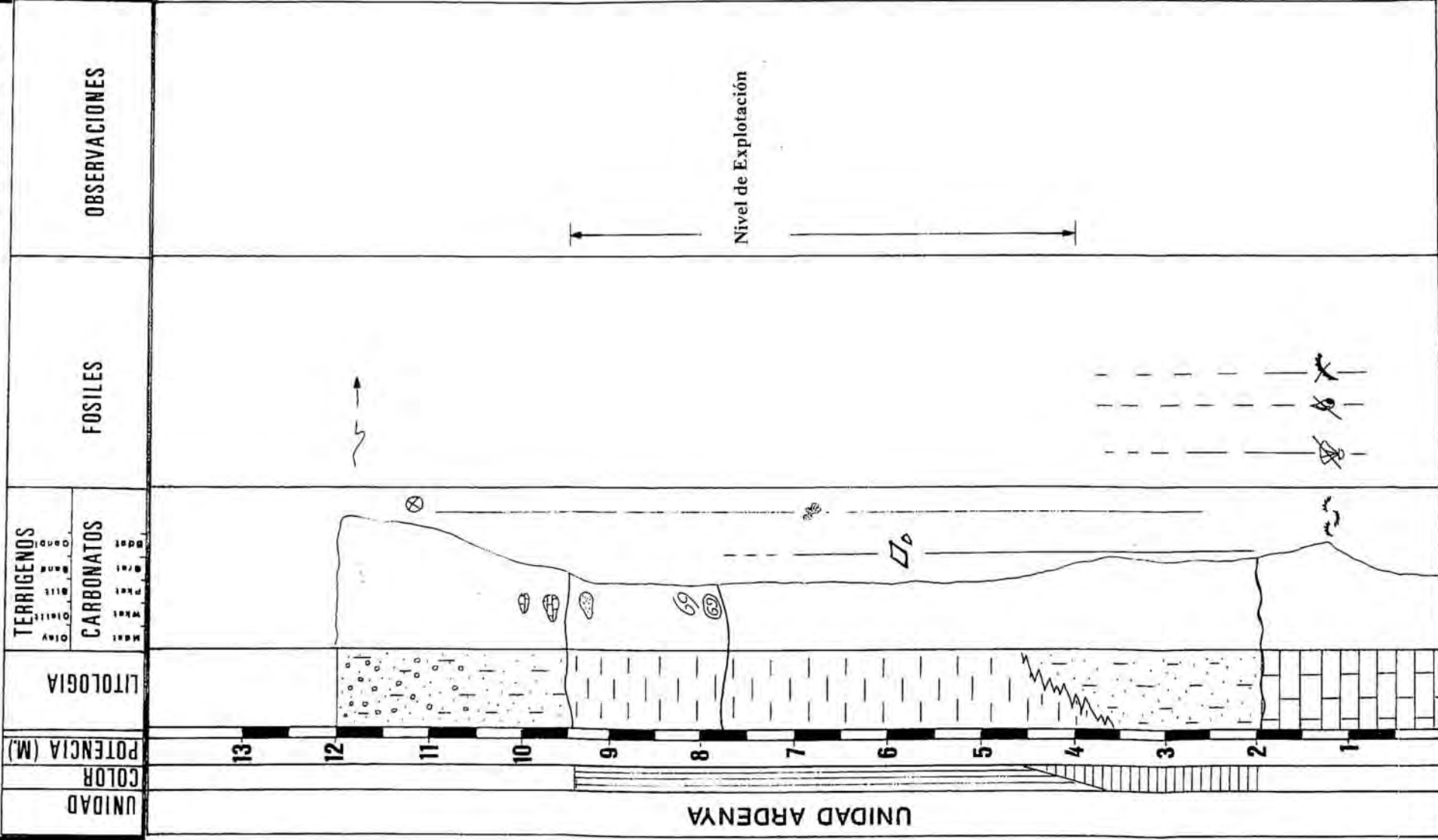
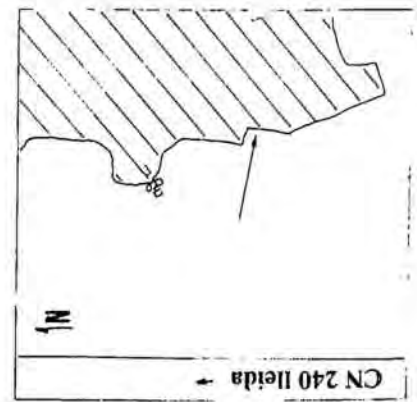
Y: 41° 08' 37"

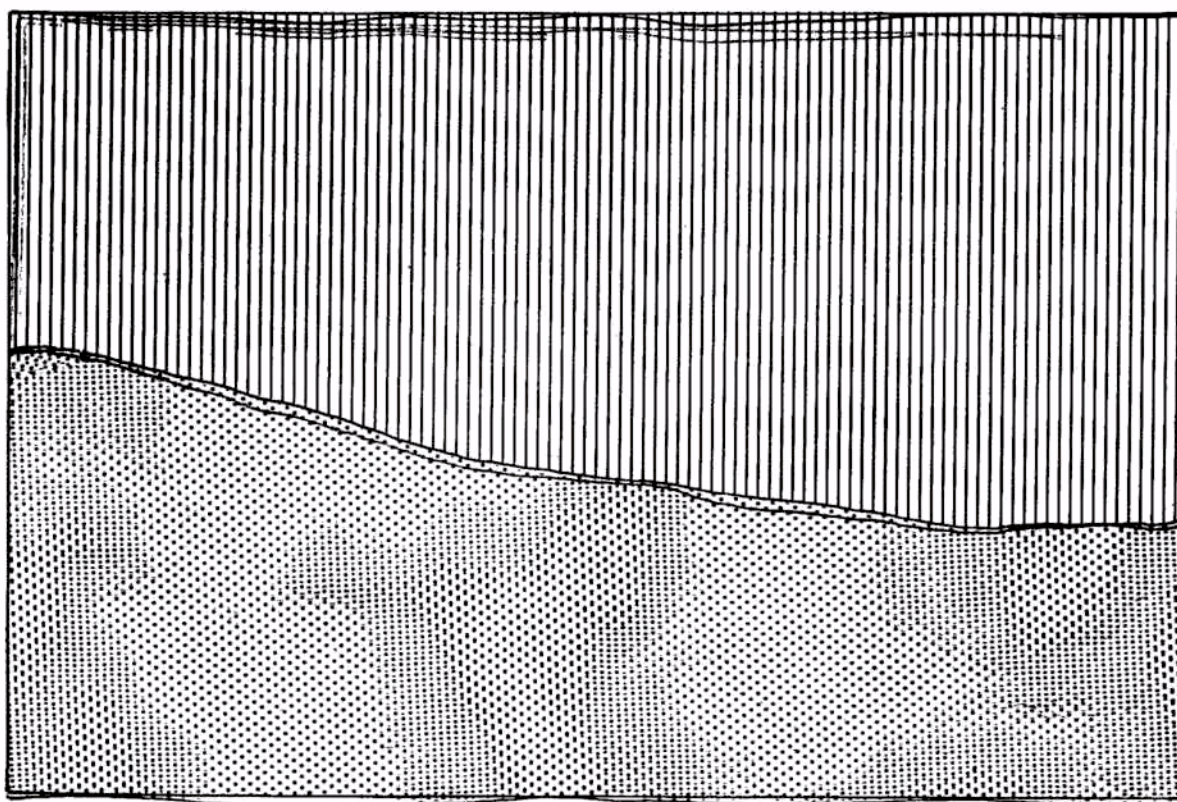
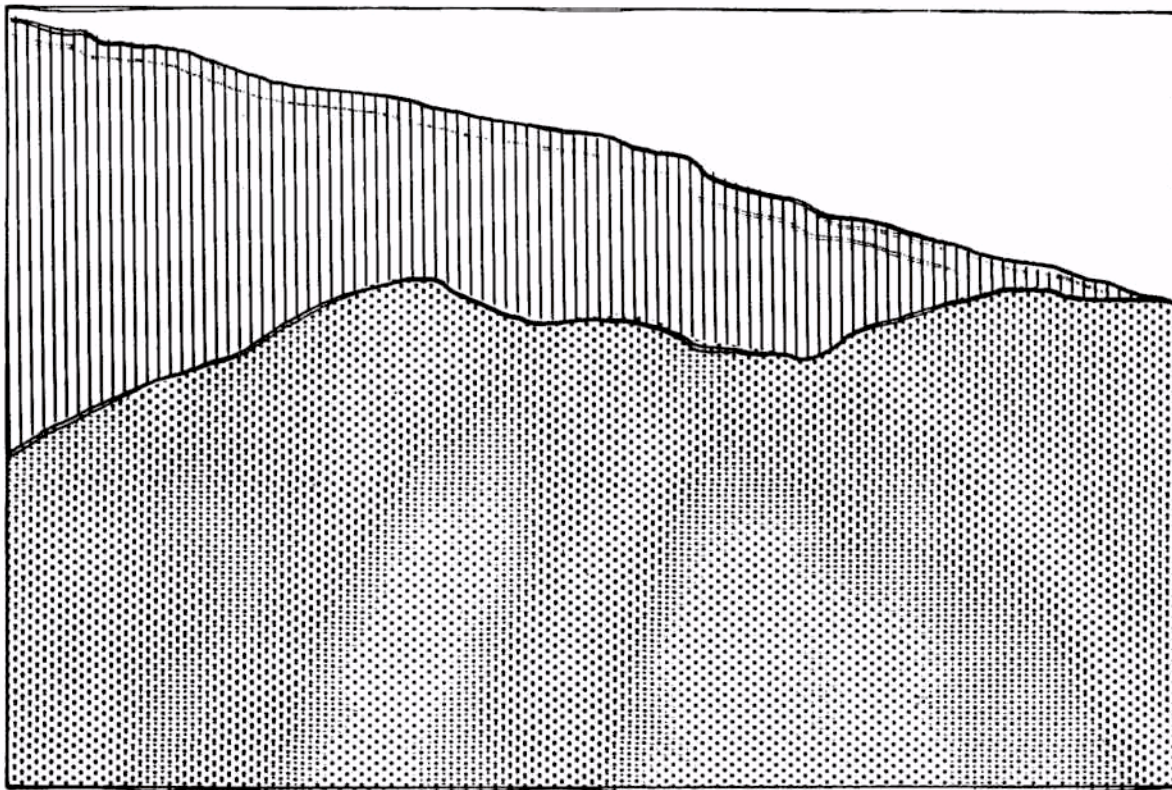
LOCALIDAD: Tarragona

TIPO DE EXPLOTACION:

Cantera a cielo abierto

Escala: 1/100.







An-3/36.F-1



Facies Calcarenita (Cantera del Acueducto)



Facies Calsilitita (Cantera Les Coves de la Pedrera)

An-3/36.F-2 Peaje Tarragona (Autopista A7)





An-3/36.F-1

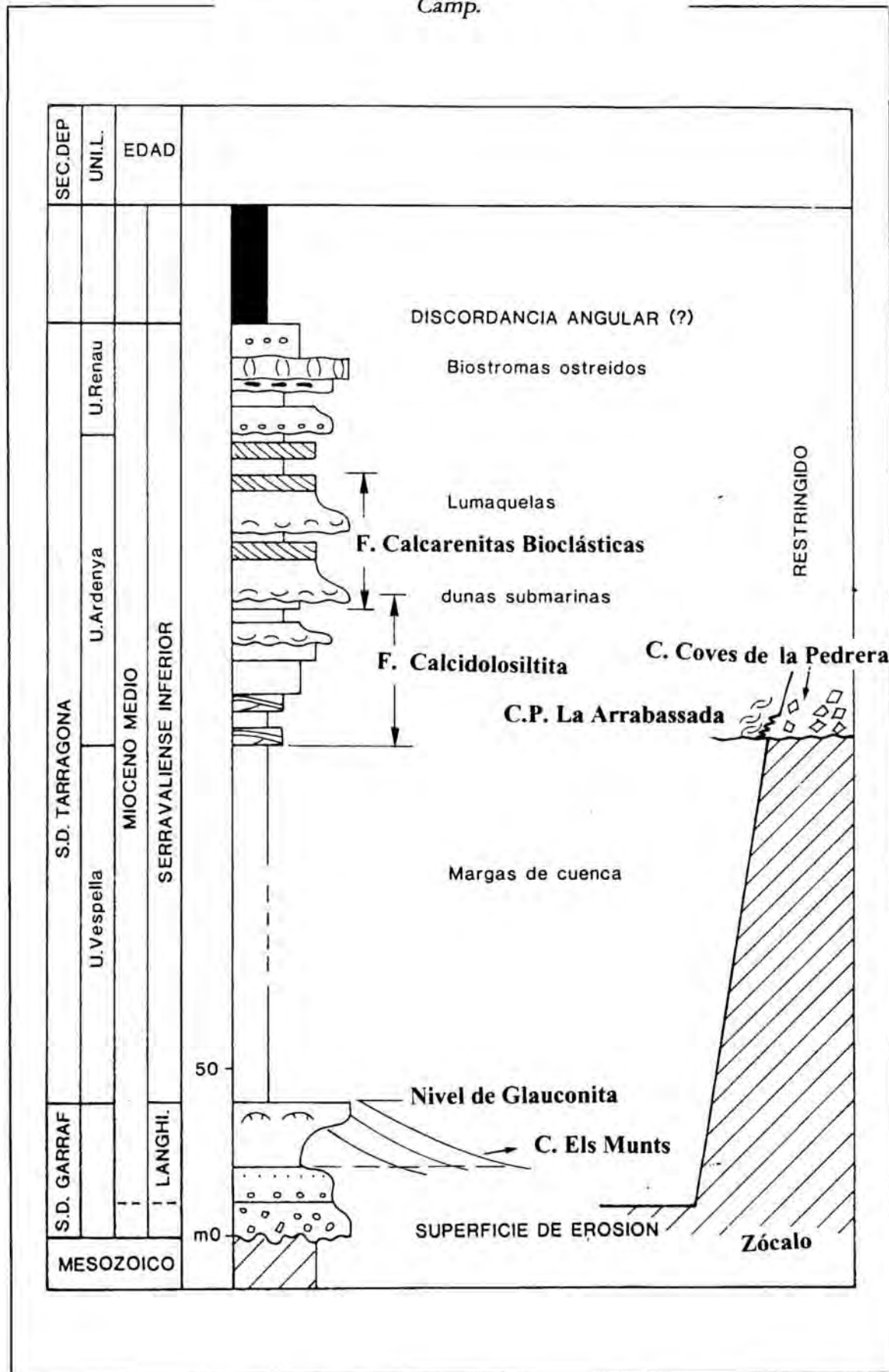
 Facies Calcarenita (Cantera del Acueducto)

 Facies Calsilitita (Cantera Les Coves de la Pedrera)

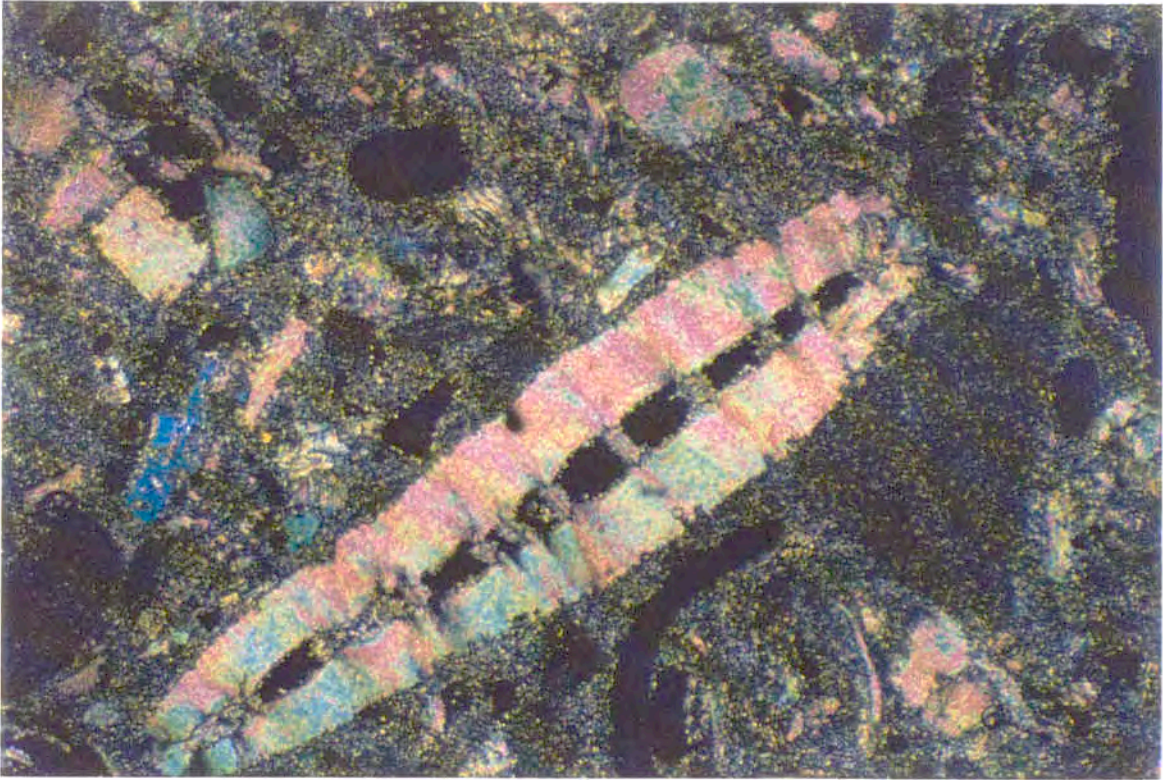
An-3/36.F-2 Peaje Tarragona (Autopista A7)



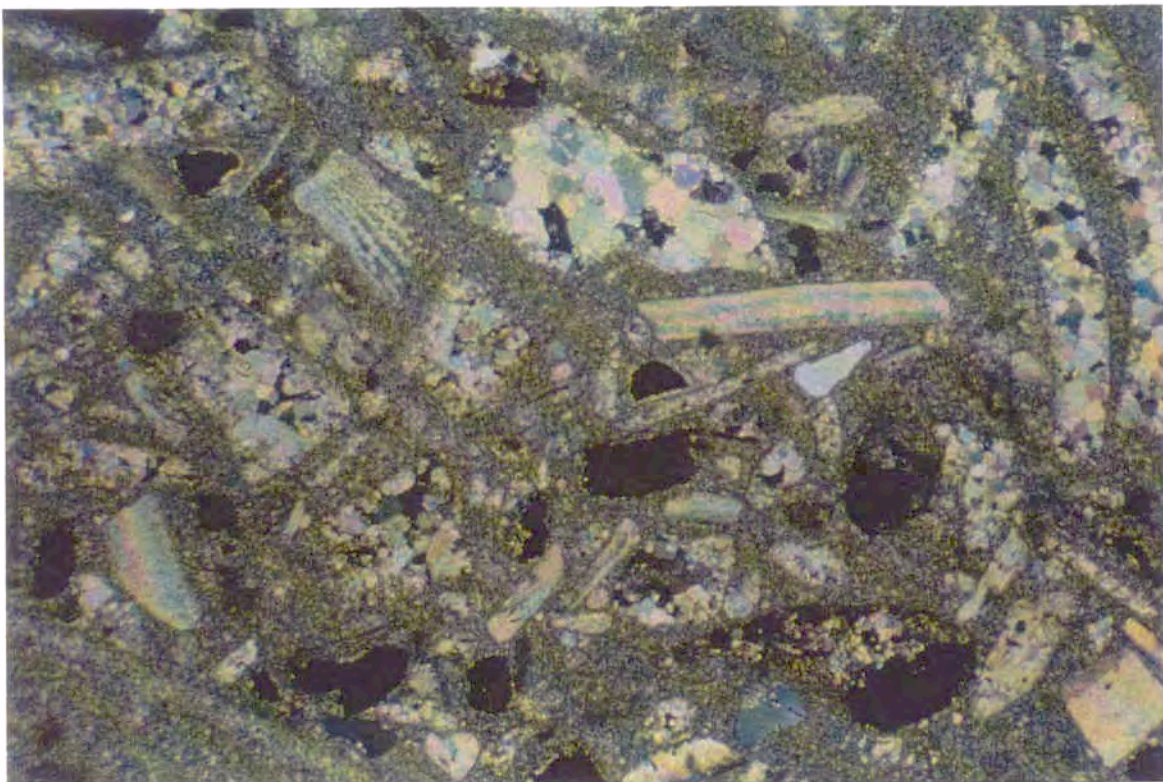
Columna estratigráfica sintética del
Mioceno medio en la depresión de El
Camp.



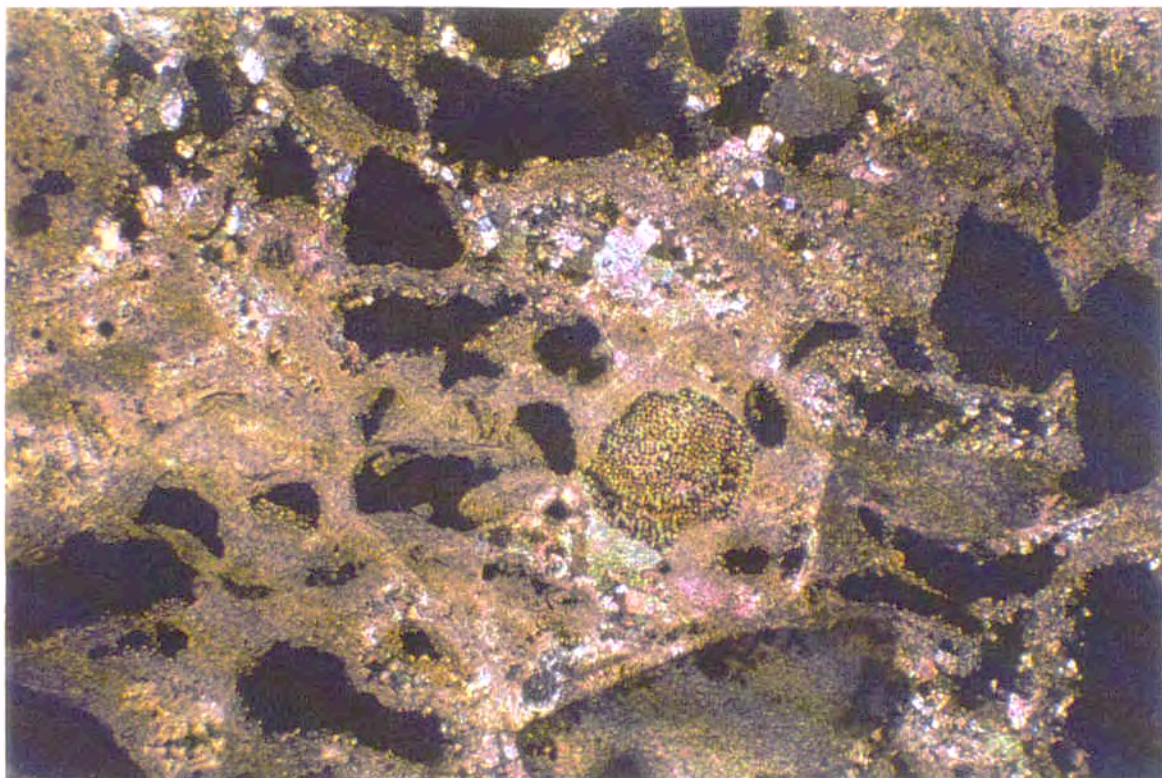
CANTERA	COLUMNA	LÁMINA DELGADA	SITUACIÓN EN LA SERIE
"MÈDOL"	MÈDOL 1	LCM.1A	Tramo inferior
		LCM.1B	Tramo medio
		LCM.1C	Tramo superior
	MÈDOL 5	LSA-19	Tramo inferior
		LSA-17	
		LSA-16	
		LSA-15	1er. nivel Hardground
LSA-14	Tramo medio		
"MAS DEL MARQUÉS"	CM 3+4	LCMMVII	Tramo superior
"PUNTA DE LA CREUETA"	CPES	LCPES-3	Tramo superior
		LCPES-5	
"PLATJA DE L'ARRABASSADA"	CRAB	LCRAB-1	Tramo inferior
"RODA DE BERÀ"	CRB.1	LCRB 1.1	Tramo medio
	CRB.2	LCRB 2.2	Tramo inferior
"ELS MUNTS"	C.P.C.	LCPC.1	Tramo inferior
		LCPC.2B	
		LCPC.2A	Tramo superior
"MAS DELS ARCS"	M.AR.1	LCMAR.1	Tramo inferior
		LCMAR.2	Tramo superior
C. DEL ACUEDUCTO	COVES 1	LCAC.1.2.	Tramo superior
"COVES DEL LLORITO"	LLORITO-2	LCLZ.1	Tramo inferior
C. DEL ACUEDUCTO	COVES 1	LCCO.1	Tramo inferior
		LCCO.2	Tramo medio
		LCCO.3	Tramo superior



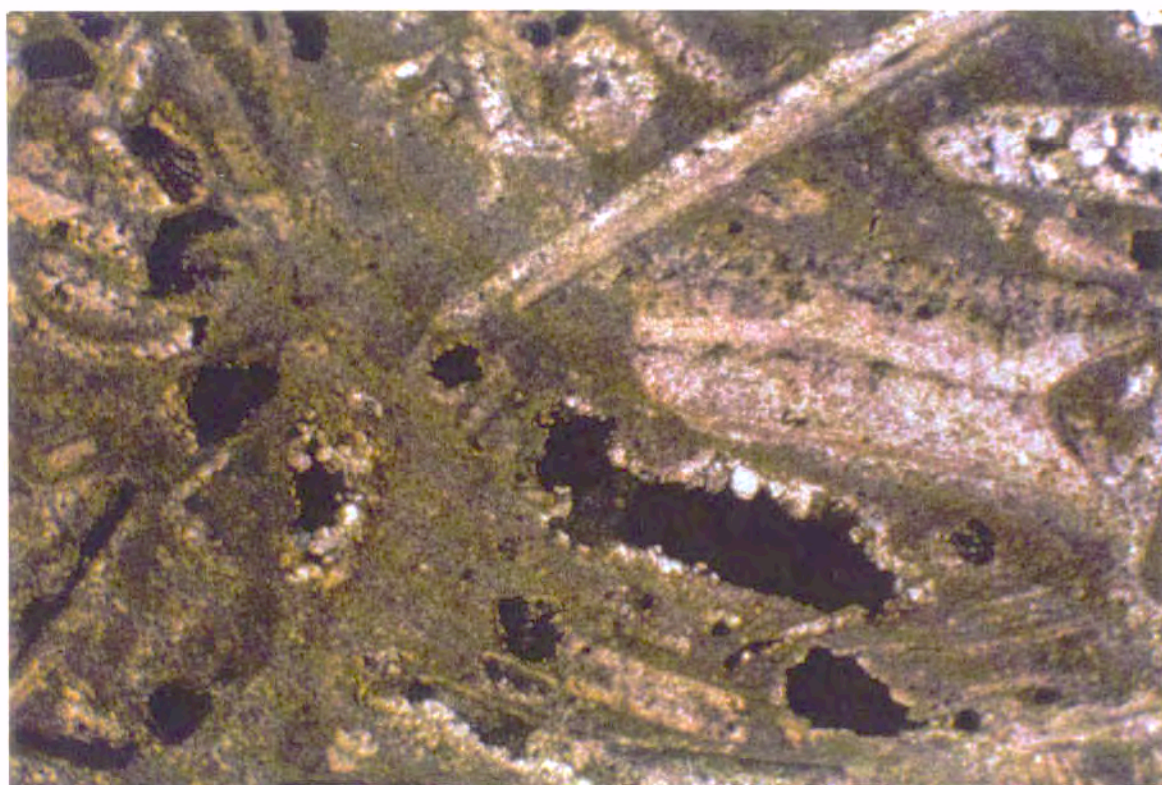
An-3/39.F-1 LCM 1A/ NC (100 x)



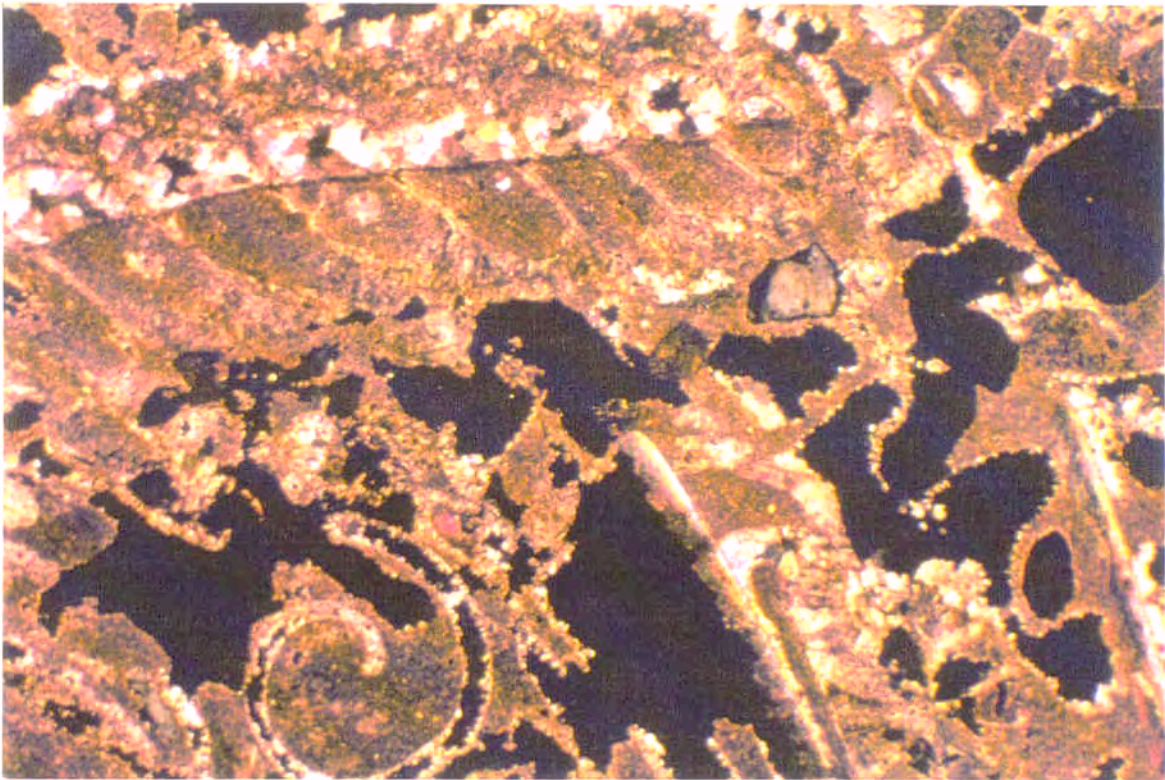
An-3/39.F-2 LCM 1B/ NC (25 x)



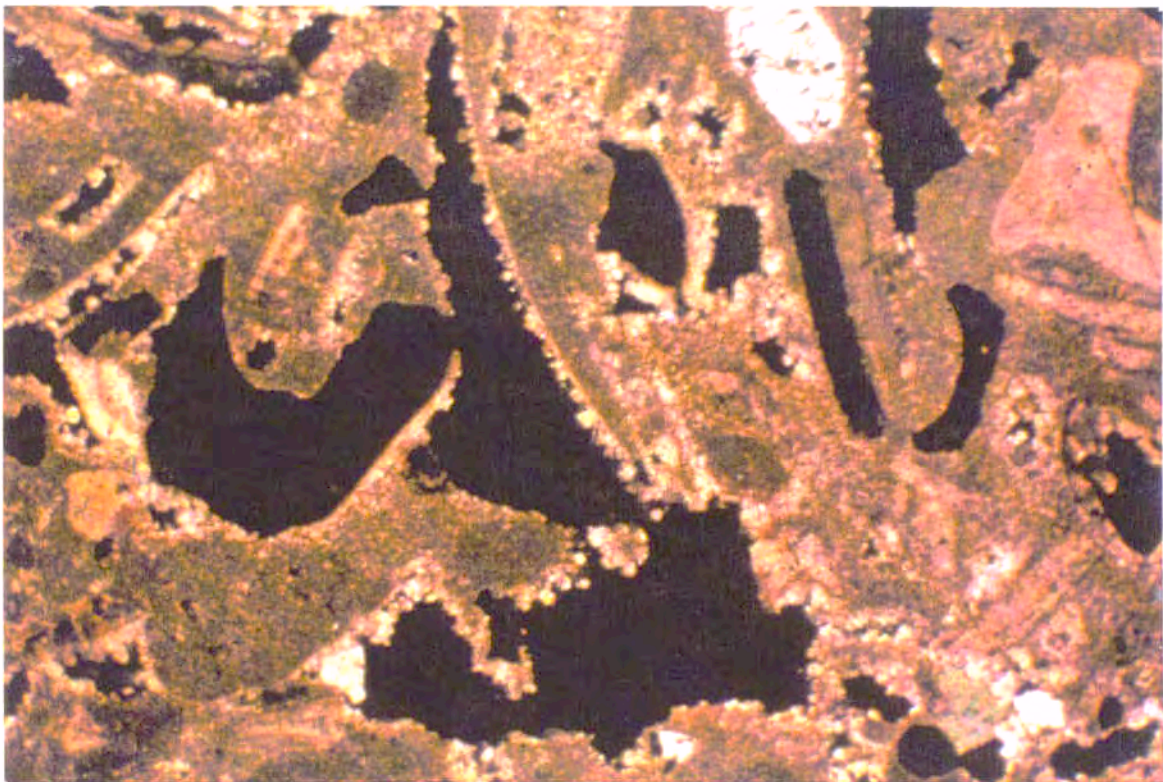
An-3/40.F-1 LSA 19/ NC (25 x)



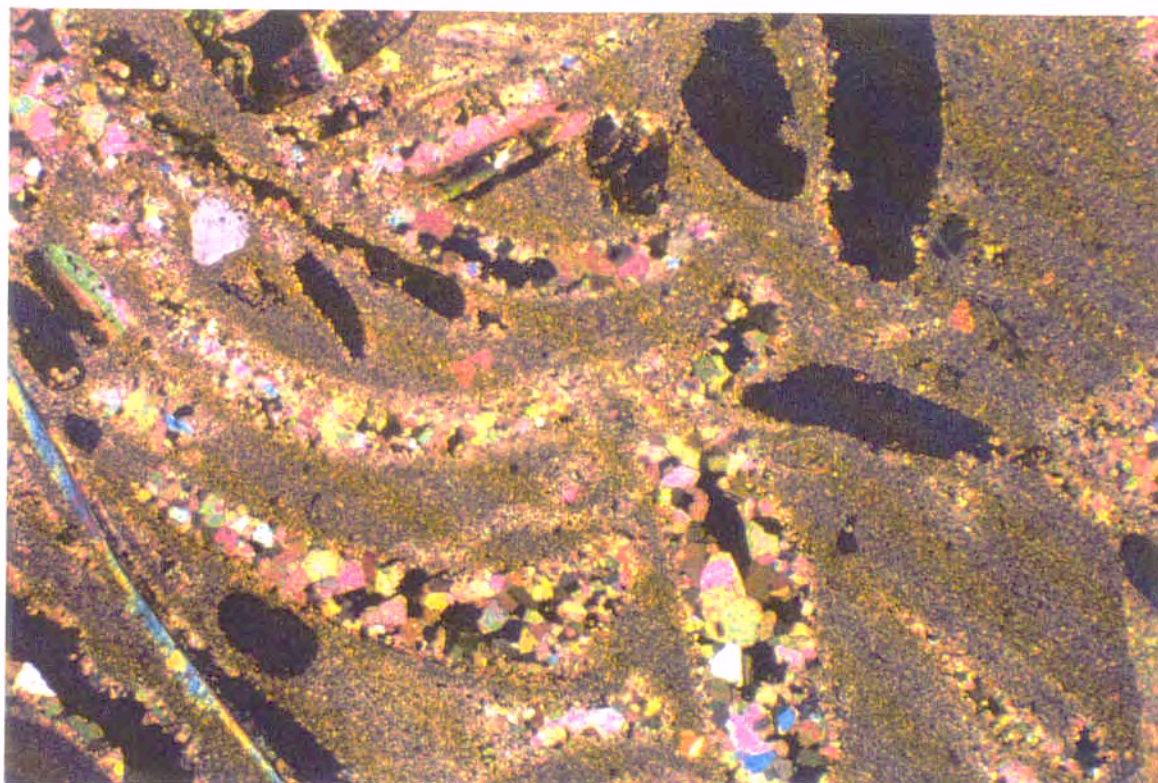
An-3/40.F-2 LSA 15/ NC (100 x)



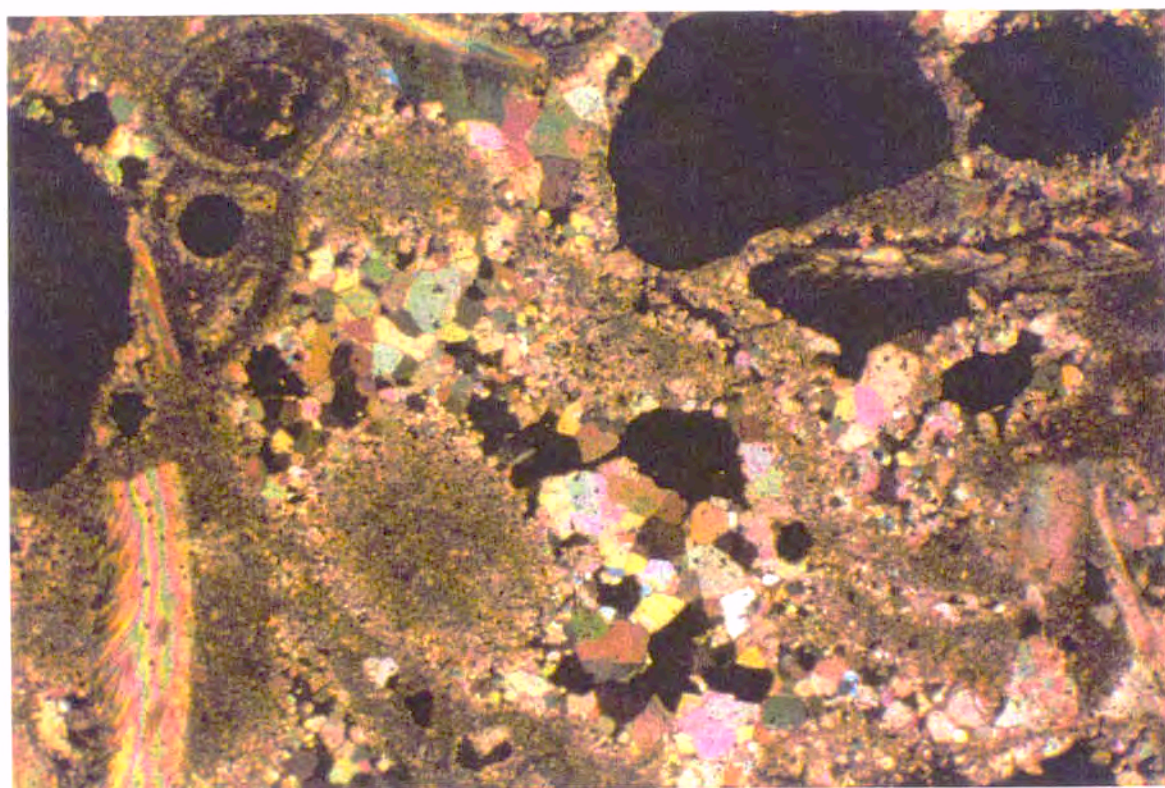
An-3/41.F-1 LC MM VII/ NC (50 x)



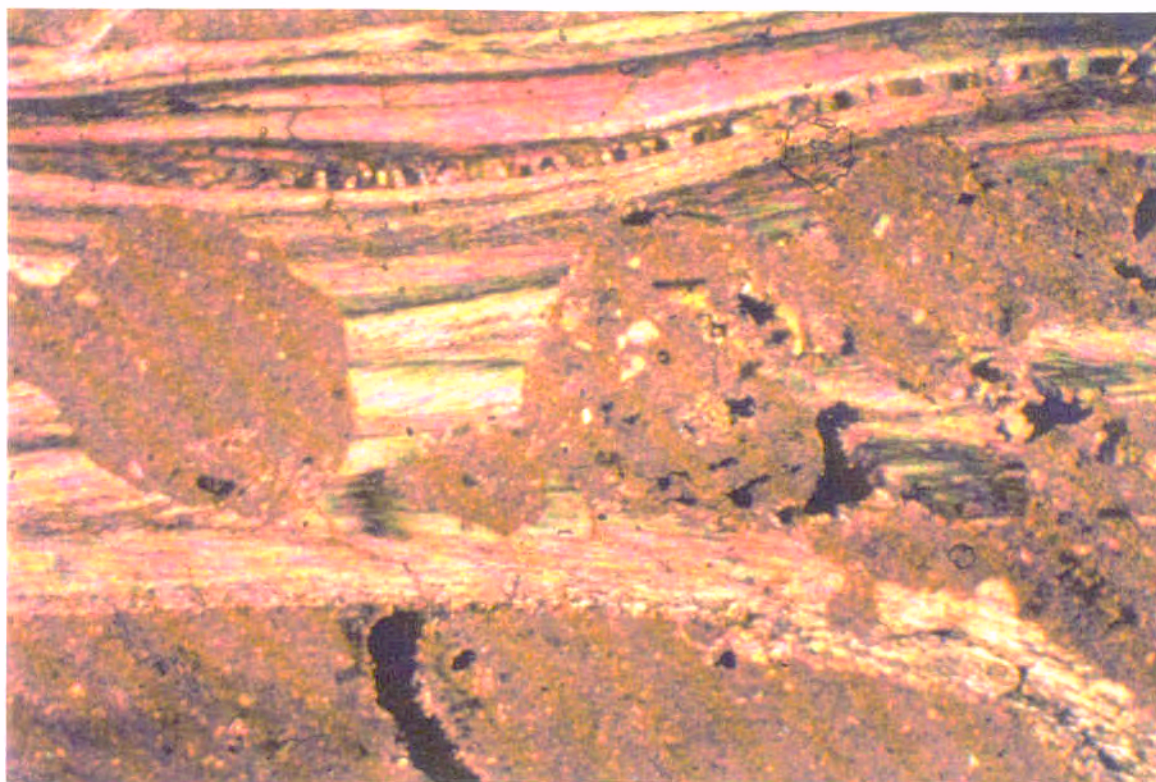
An-3/41.F-2 LC MM VII/ NC (50 x)



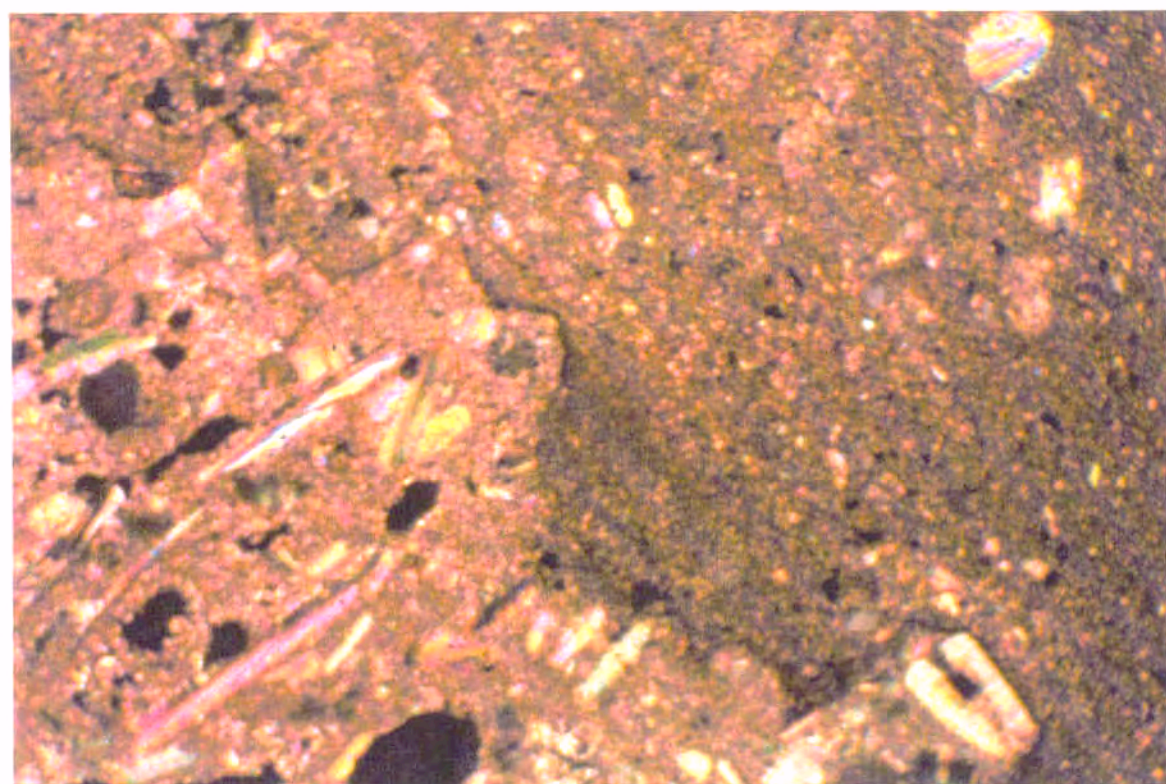
An-3/42.F-1 LCRAB.1/ NC (50 x)



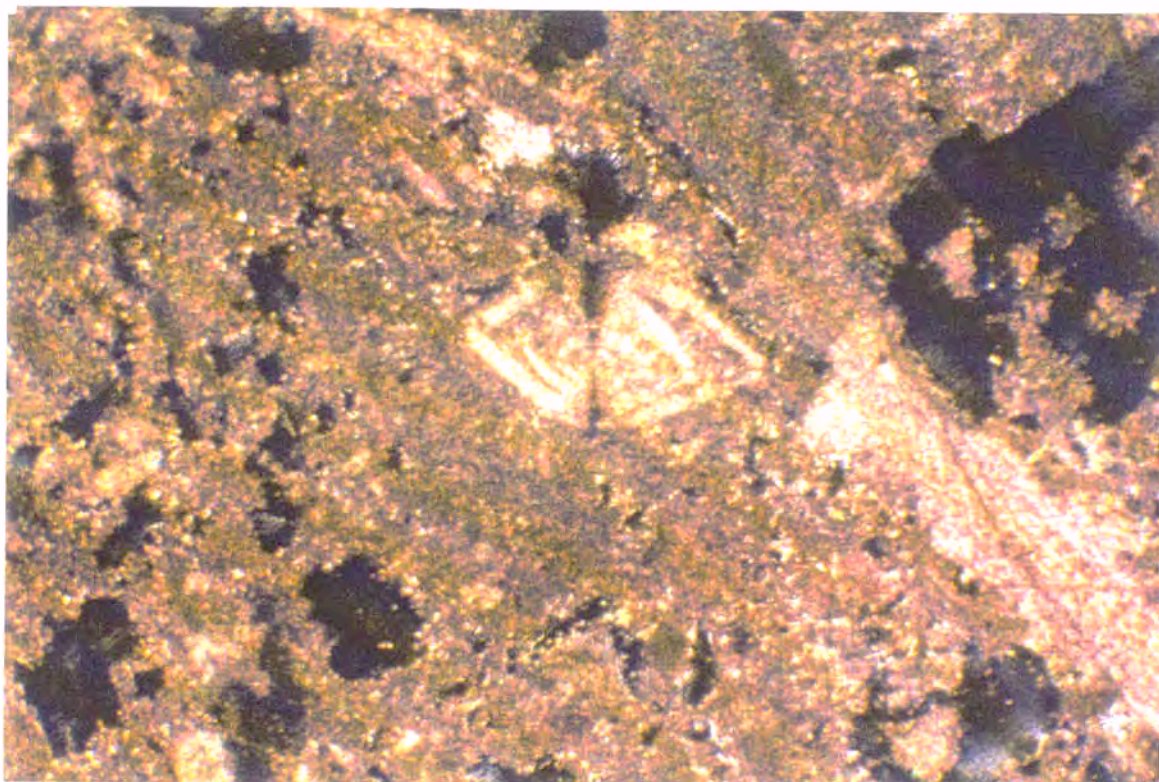
An-3/42.F-2 LCRAB.1/ NC (50 x)



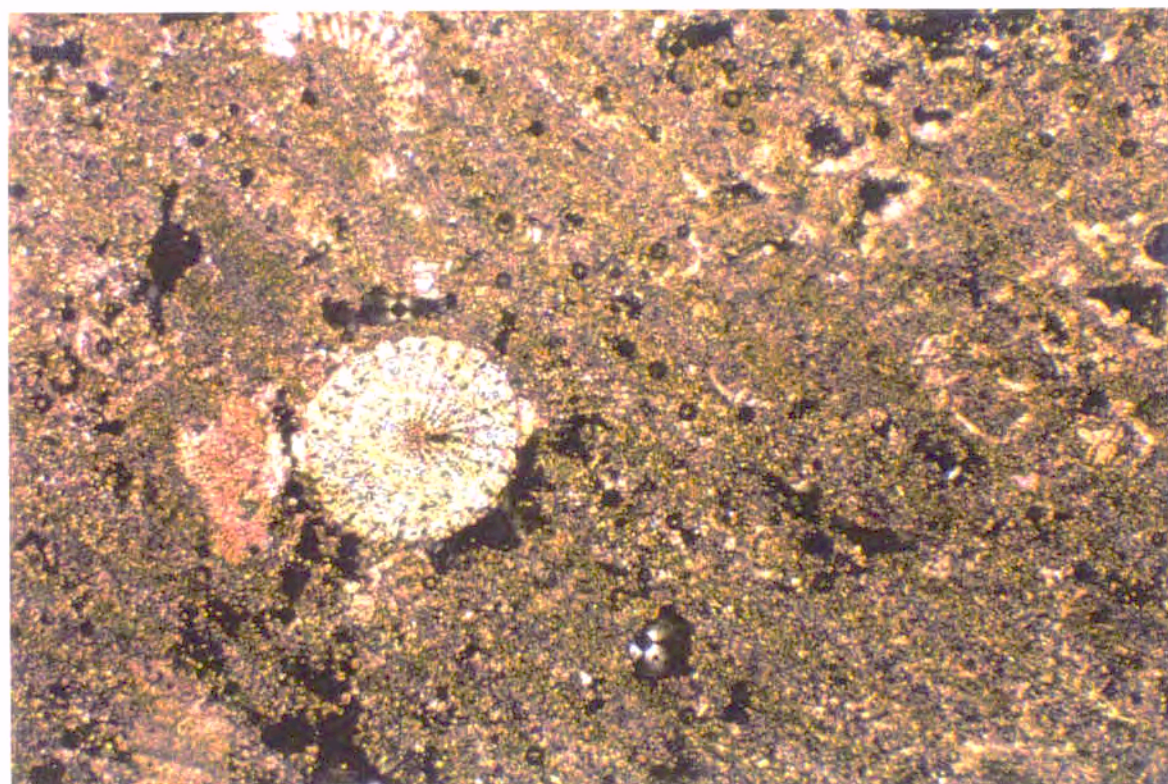
An-3/43.F-1 LCPES.3/ NC (50 x)



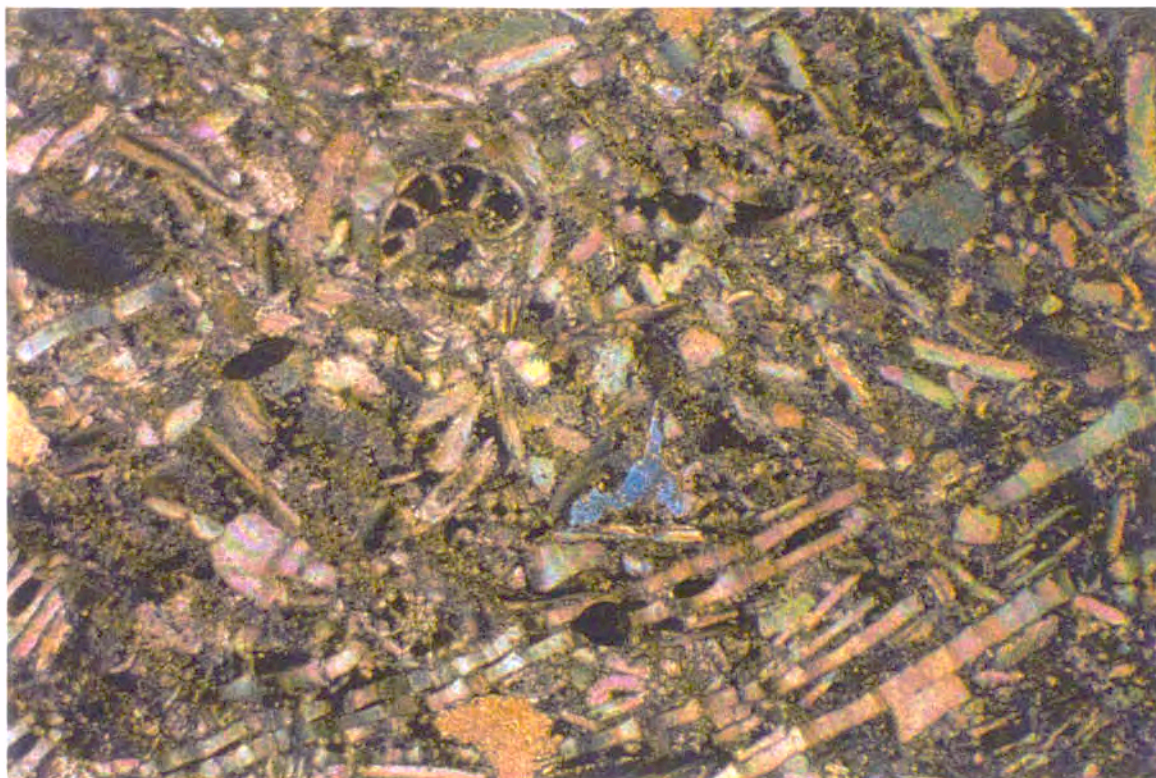
An-3/43.F-2 LCPES.5/ NC (50 x)



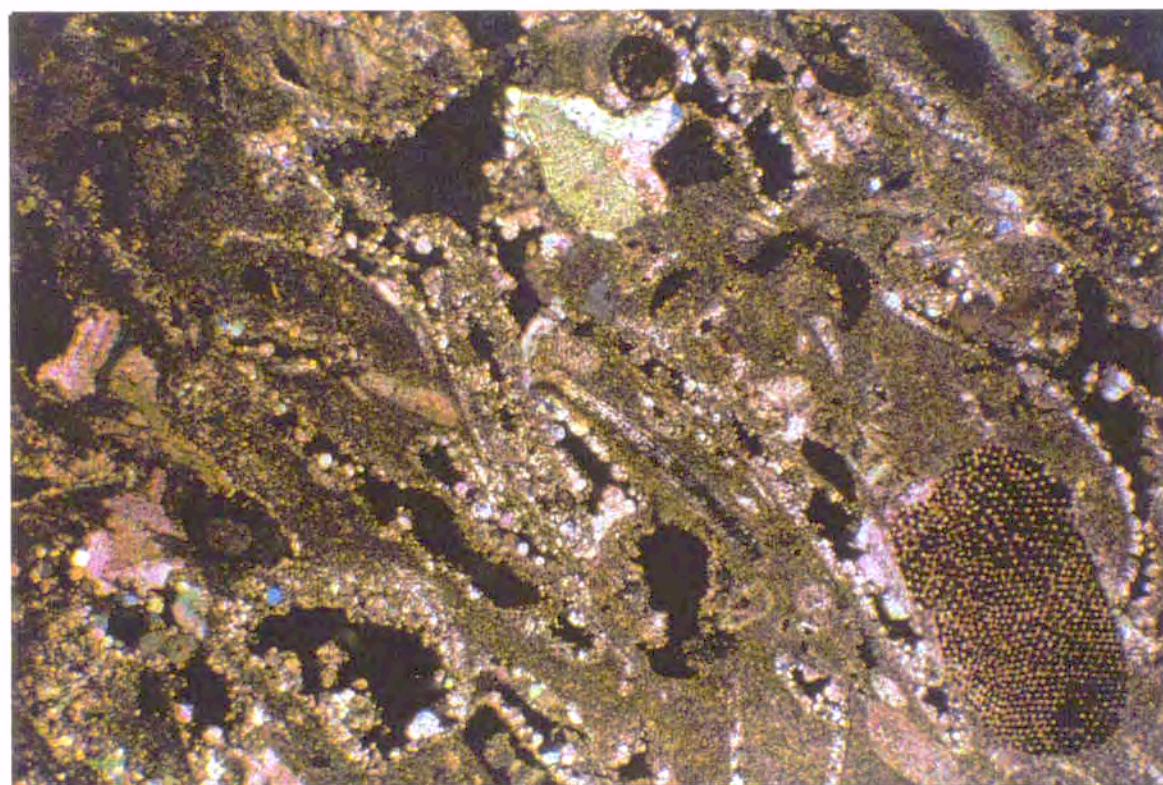
An-3/44.F-1 LCRB.1.1/ NC (50 x)



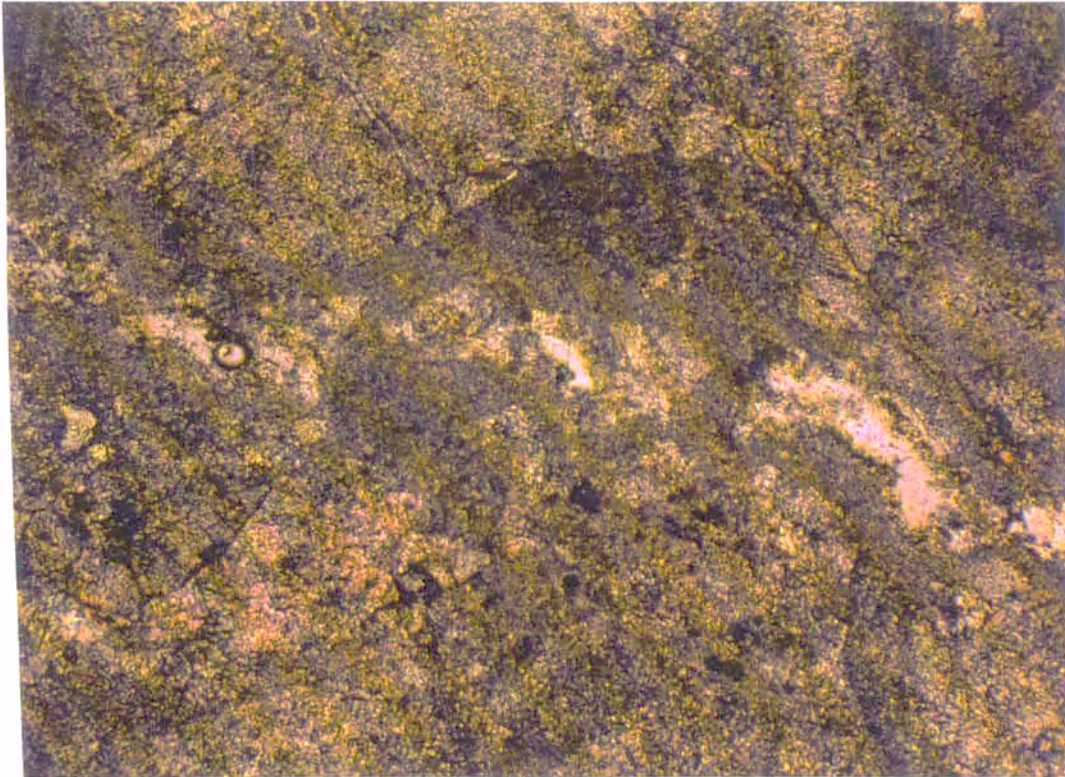
An-3/44.F-2 LCRB.2.2/ NC (50 x)



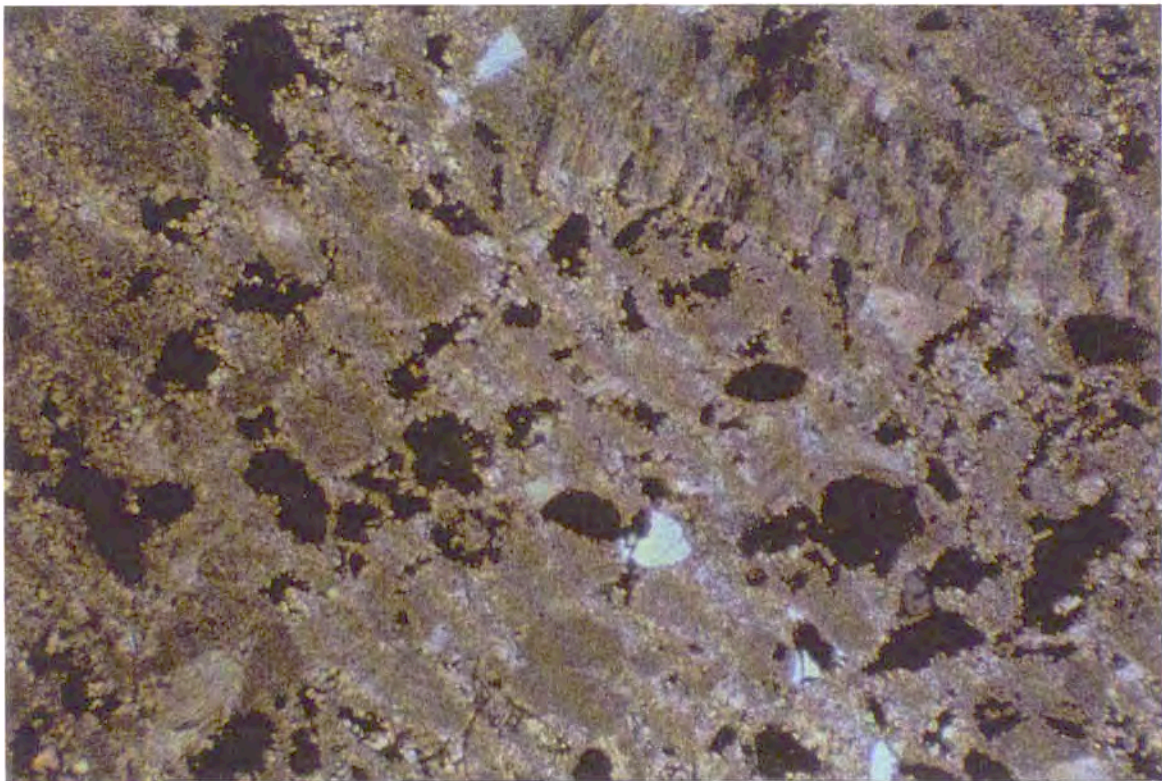
An-3/45.F-1 LCPC.2B/ NC (25 x)



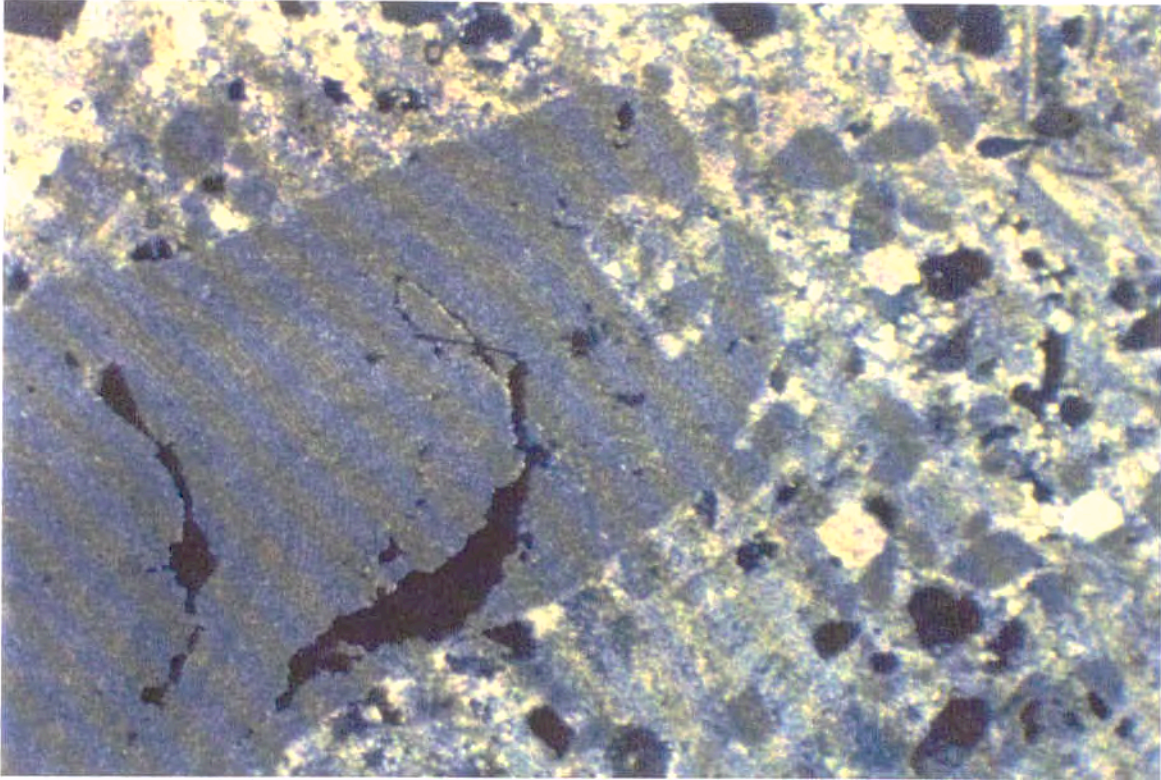
An-3/45.F-2 LCPC.2A/ NC (25 x)



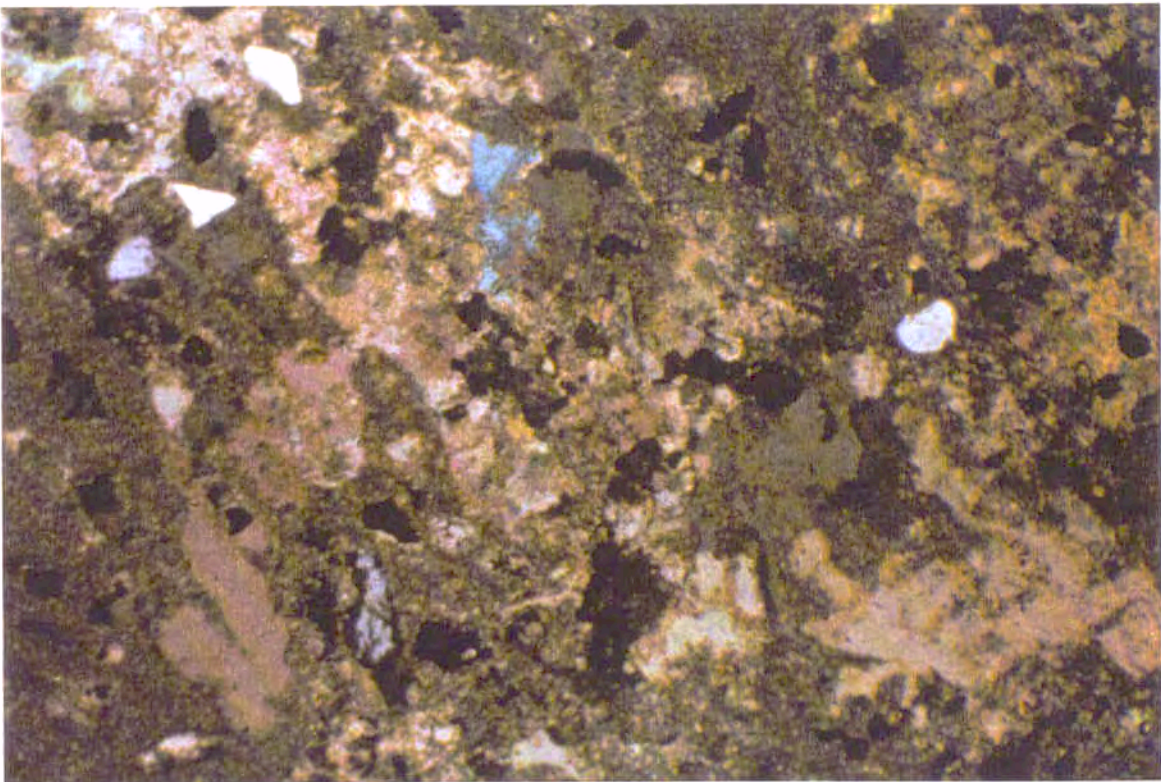
An-3/46.F-1 LCMAR.1/ NC (100 x)



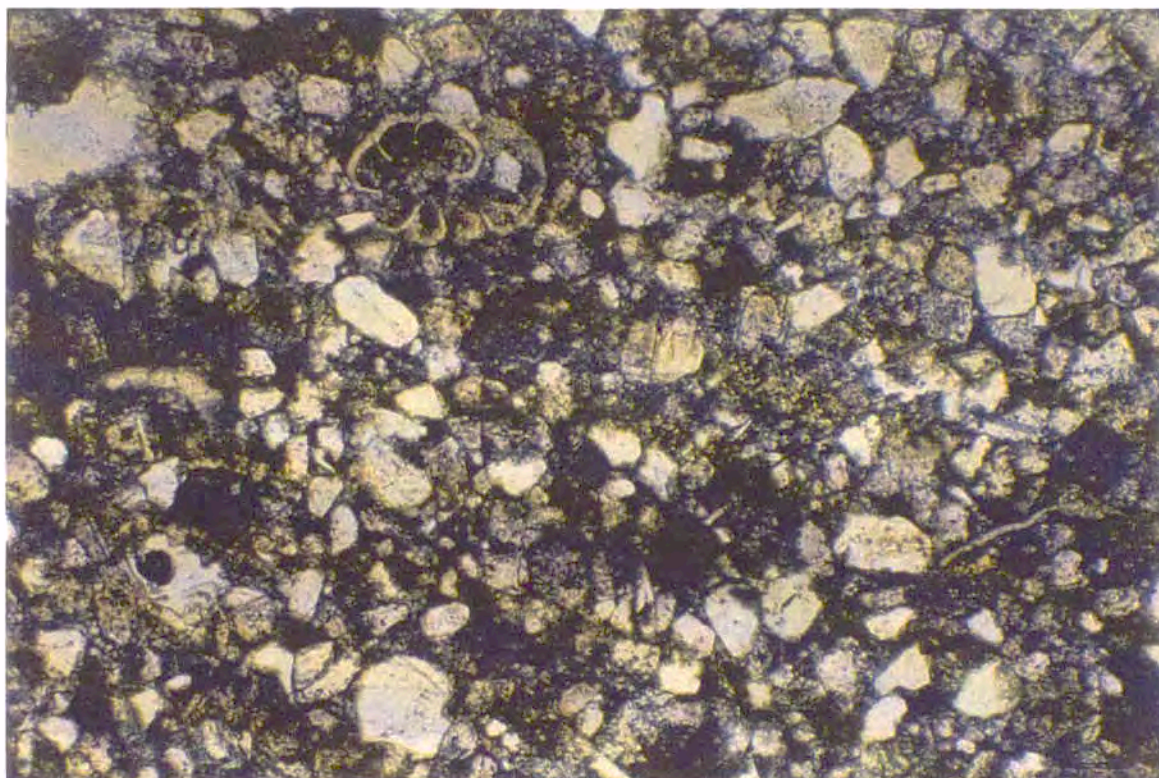
An-3/46.F-2 LCMAR.2/ NC (25 x)



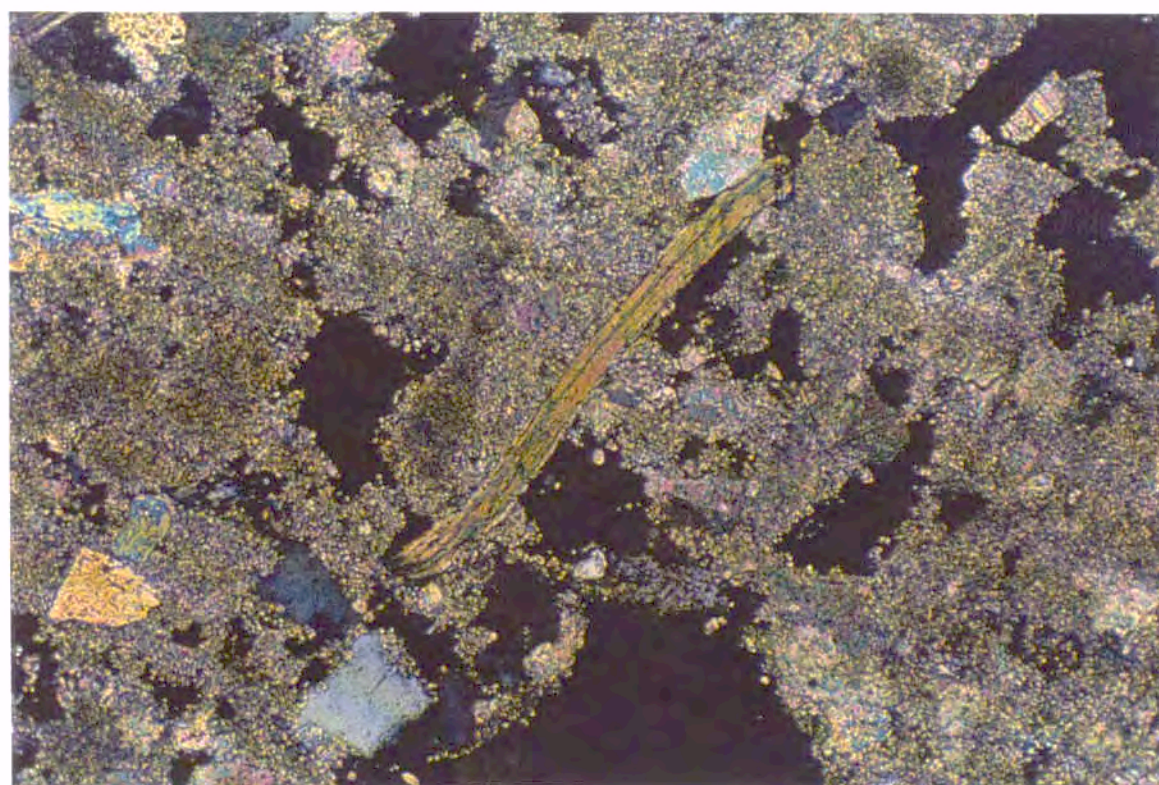
An-3/47.F-1 LCAC.1.2/ NC (25 x)



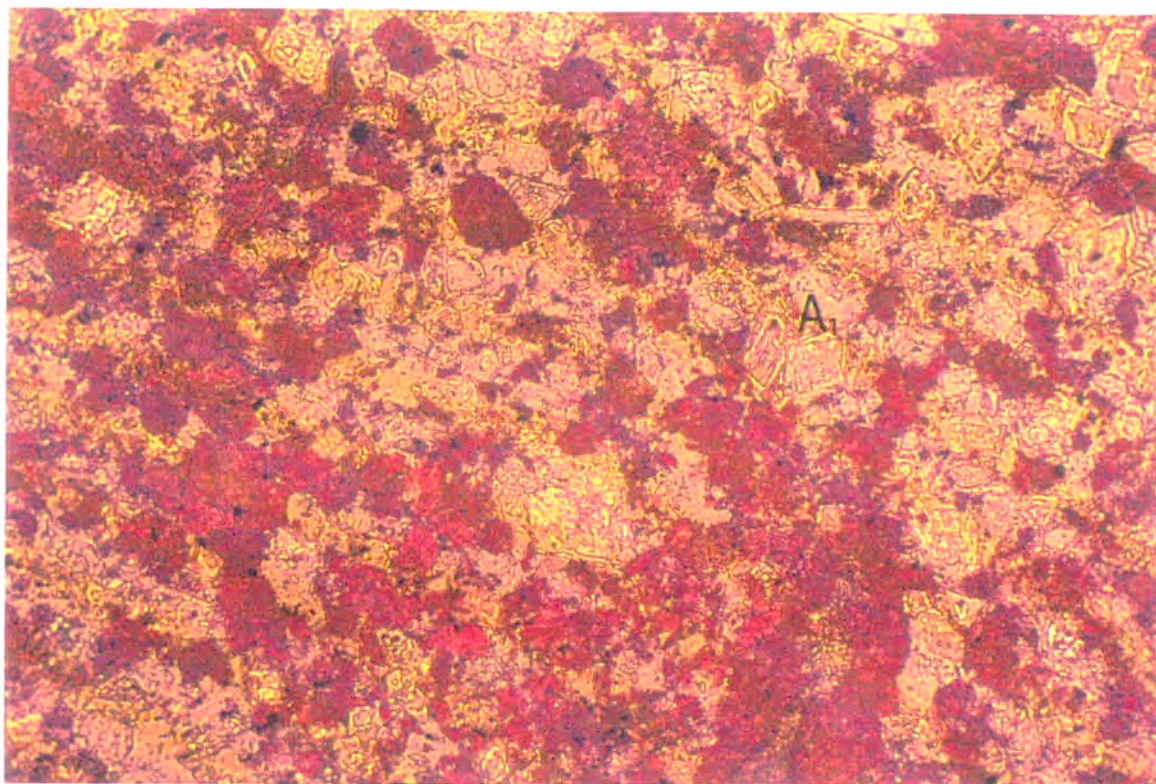
An-3/47.F-2 LCAC.1.2/ NC (50 x)



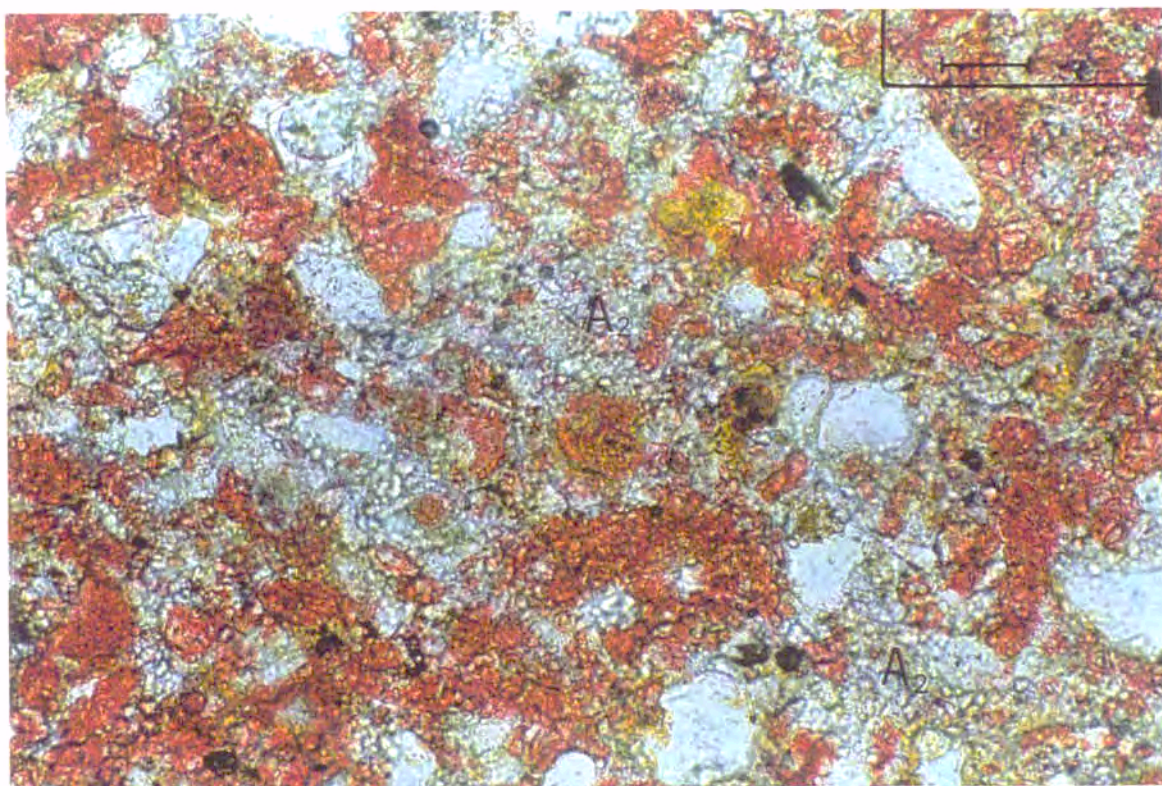
An-3/48.F-1 LCLZ.1/ NP (25 x)



An-3/48.F-2 LCLZ.1/ NC (100 x)



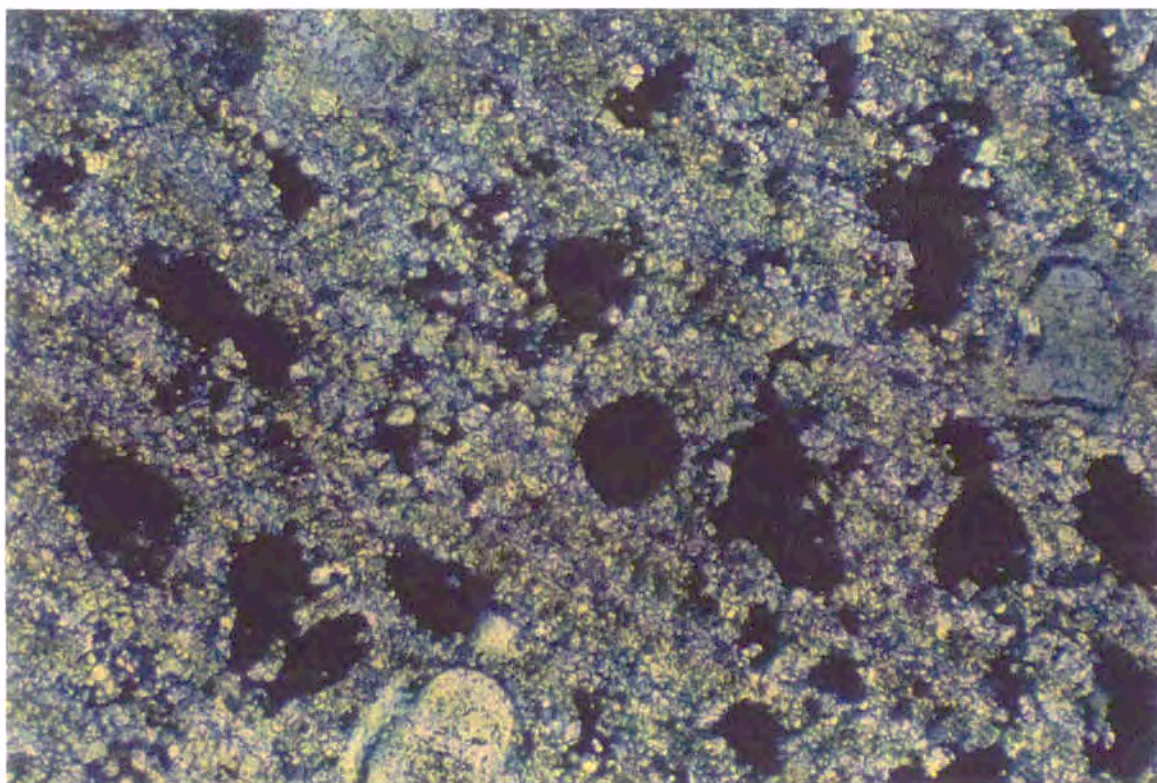
An-3/49.F-1 LCLZ.2/ NC (50 x) A₁ : Cristales Euhédricos de Dolomita
Tinción selectiva de Calcita (rojo) y Dolomita con Ferric. cianuro potásico y alizarina



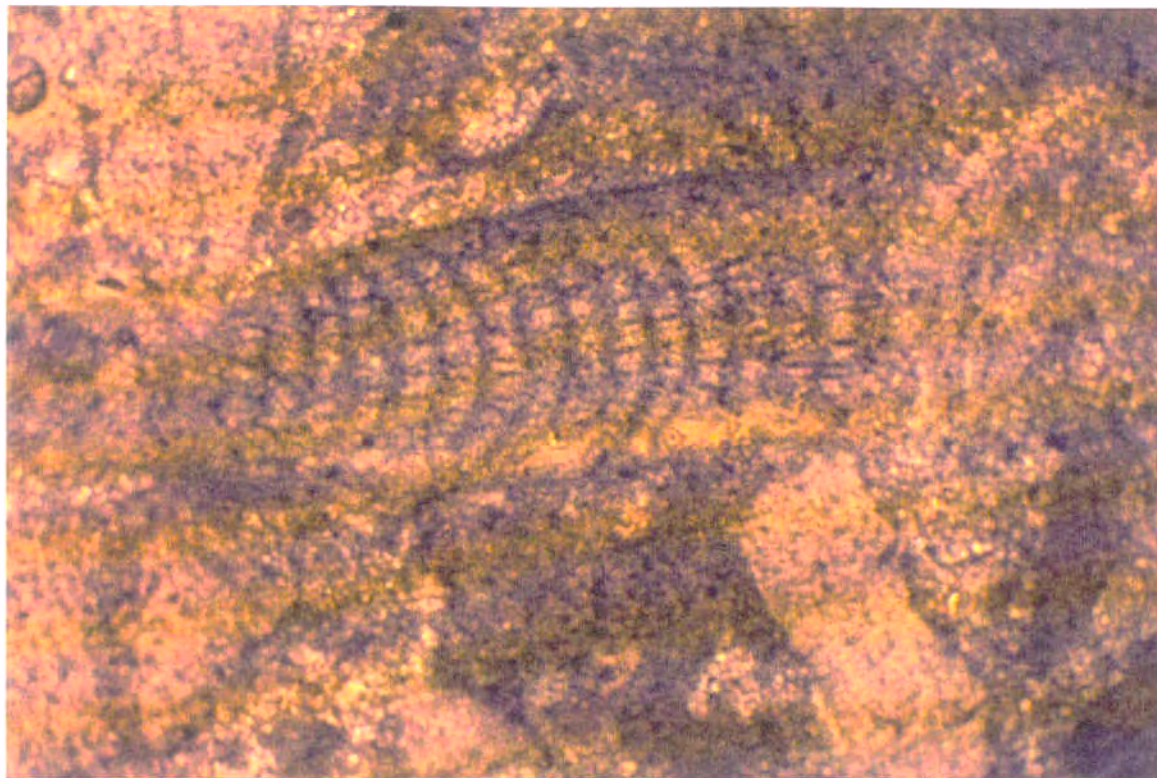
An-3/49.F-2 LCLZ.5/ NC (100 x) A₂ : Cristales de Microdolomita



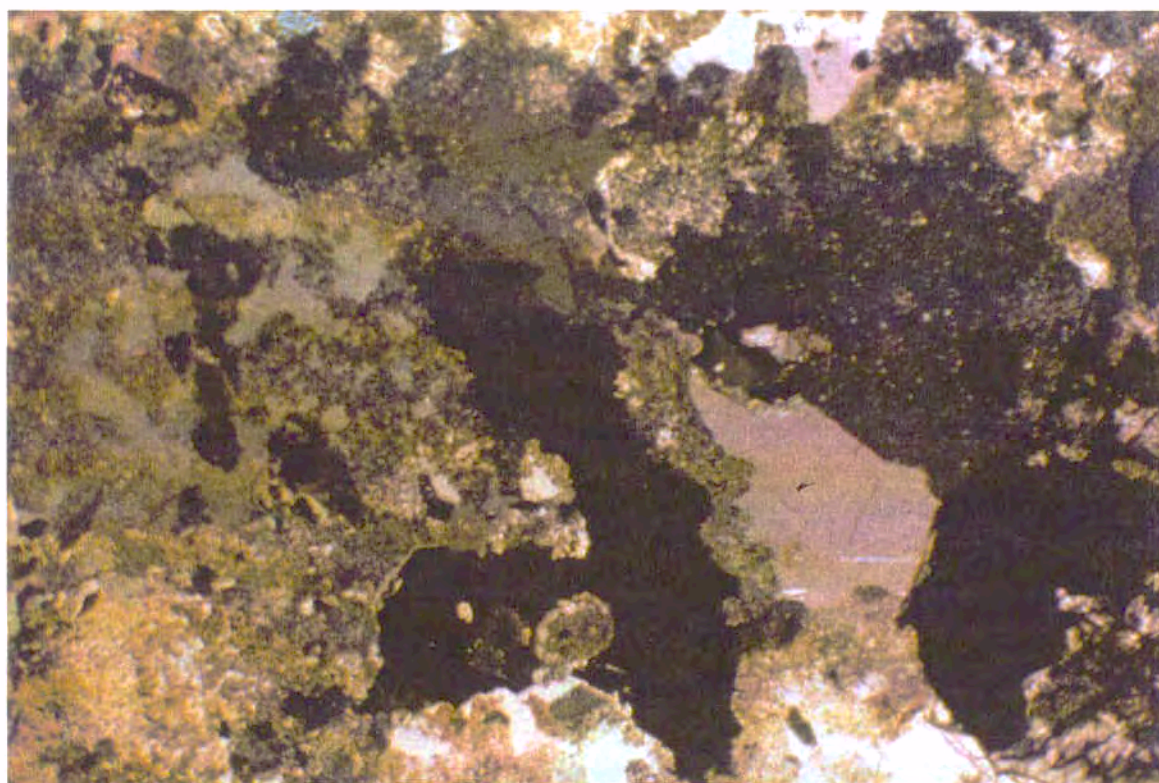
An-3/50.F-1 LCCO.1.1/ NC (25 x)



An-3/50.F-2 LCCO.3/ NC (100 x)



An-3/51.F-1 LCCO.2/ NP (50 x)



An-3/51.F-2 LCCO.4/ NC (25 x)