



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

EXPLORACION DE FOSFATOS SEDIMENTARIOS
EN EL PROTEROZICO Y PALEOZOICO DE LA
CORDILLERA IBERIA (Areas de Codo, Ca
latayud-Almunia, Santed y Segura de
Baños).

1 000



MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

11228



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

EXPLORACION DE FOSFATOS SEDIMENTARIOS
EN EL PROTEROZICO Y PALEOZOICO DE LA
CORDILLERA IBERIA (Areas de Codo, Ca
latayud-Almunia, Santed y Segura de
Baños).

Diciembre, 1.988



MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

I N D I C E

| | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| 1.- INTRODUCCION | 1 |
| 1.1.- Antecedentes | 3 |
| 2.- AREAS ESTUDIADAS | 5 |
| 2.1.- Objetivos, Metodología y Trabajos reali- zados | 6 |
| 3.- AREA DE CODOS | 10 |
| 3.1.- Antecedentes | 11 |
| 3.2.- Objetivos y trabajos realizados | 11 |
| 3.3.- Situación Geográfica y Geológica | 13 |
| 3.4.- Estudio Geológico-Minero | 13 |
| 3.4.1.- Estratigrafía | 14 |
| 3.4.2.- Estudio Estructural | 15 |
| 3.4.3.- Características litoestratigráfi- cas de la F. Pizarras de Paracue- llos (serie con los indicios fos- fatados) | 21 |
| 3.4.4.- Conclusiones y recomendaciones . | 28 |
| 3.4.5.- Bibliografía | 30 |
| ANEXO I.- <u>LABORATORIOS</u> | 34 |
| ANEXO II.- <u>FOTOGRAFIAS LAMINAS TRANSPARENTES</u> | 51 |
| 4.- AREA DE CALATAYUD-LA ALMUNIA | 58 |

| | <u>Pag.</u> |
|--|-------------|
| 4.2.4.- Estudio detallado de la Forma- ción Paracuellos (Precámbrico)... | 74 |
| 4.2.5.- Conclusiones y recomendaciones .. | 85 |
| 4.2.6.- Bibliografía | 87 |
| ANEXO I. <u>LABORATORIOS</u> | 93 |
| 5.- AREA DE SANTED | 124 |
| 5.1.- Antecedentes | 125 |
| 5.2.- Objetivos y trabajos realizados | 126 |
| 5.3.- Situación Geográfica y Encuadre Geológico Regional | 127 |
| 5.4.- Estudio Geológico-Minero..... | 129 |
| 5.4.1.- Estratigrafía | 129 |
| 5.4.1.1.- Paleozoico | 129 |
| 5.4.1.2.- Materiales recientes .. | 135 |
| 5.4.1.3.- Fondos de Valle | 135 |
| 5.4.2.- Tectónica | 136 |
| 5.4.2.1.- Tectónica hercínica.... | 137 |
| 5.4.2.2.- Tectónica alpina | 138 |
| 5.4.3.- El nivel fosfatado | 142 |
| 5.4.3.1.- Descripción de los ni- veles fosfatados | 142 |
| 5.4.3.2.- Los niveles fosfatados en lámina transparente (petrografía)..... | 152 |
| 5.4.3.3.- Análisis químico del material fosfatado..... | 155 |
| 5.4.4.- Características sedimentológicas del material fosfatado | 156 |
| 5.4.5.- Conclusiones y recomendaciones .. | 161 |
| 5.4.6.- Bibliografía | 163 |

| | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| ANEXO I.- <u>LABORATORIOS</u> | 165 |
| ANEXO II.- <u>FOTOGRAFIAS LAMINAS TRANSPARENTES</u> | 181 |
| 6.- AREA SEGURA DE LOS BAÑOS | 194 |
| 6.1.- Introducción | 194 |
| 6.1.1.- Antecedentes | 194 |
| 6.1.2.- Objetivos y trabajos realizados | 194 |
| 6.1.3.- Situación y encuadre geológico- regional | 195 |
| 6.2.- Estudio Geológico-Minero | 197 |
| 6.2.1.1.- Devónico | 197 |
| 6.2.1.1.1.- Formaciones Luesma- Nogueraa (Geodinien se-Siegeniense) ... | 199 |
| 6.2.1.1.2.- Formaciones Salobar -Cabezo Agudo | 200 |
| 6.2.1.1.3.- Formación Bandera (Frasniense) | 200 |
| 6.2.1.1.4.- Formación Fuenpudri- da (Frasmiense-Fame- niense)..... | 201 |
| 6.2.1.2.- Carbonífero | 201 |
| 6.2.1.2.1.- Formación Segura (Na muriense A) | 203 |
| 6.2.1.2.2.- Formación La Hoz (Na muriense A-C) | 203 |
| 6.2.1.2.3.- Formaciones Armillas -Peñarroyas (Westfa- liense Inf.) | 204 |
| 6.2.1.2.4.- Formaciones Montalbán -Torre (Westfaliense Inf.) | 205 |

| | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| 6.2.1.3.- Mesozoico | 205 |
| 6.2.1.4.- Cuaternario | 206 |
| 6.2.1.5.- Rocas ígneas | 206 |
| 6.2.2.- Tectónica | 207 |
| 6.2.2.1.- Tectónica Regional | 207 |
| 6.2.2.1.1.- Orogenia hercínica. | 207 |
| 6.2.2.1.2.- Orogenia Alpina ... | 209 |
| 6.2.2.2.- Estructuras locales | 210 |
| 6.2.2.2.1.- Anticlinorio de Cabe- | |
| bezos Altos | 210 |
| 6.2.2.2.2.- Monoclinal de Cabe | |
| zo Bendito | 211 |
| 6.2.3.- Formaciones con niveles fosfatados .. | 212 |
| 6.2.3.1.- Formación Luesma-Nogueras ... | 213 |
| 6.2.3.2.- Formación Bandera | 218 |
| 6.2.4.- Conclusiones y recomendaciones | 233 |
| 6.2.5.- Bibliografía | 237 |
| ANEXO I.- <u>LABORATORIOS</u> | 245 |
| ANEXO II.- <u>FOTOGRAFÍAS LAMINAS TRANSPARENTES</u> | 292 |
| 7.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LA INVESTI- | |
| GACION | 304 |

El presente estudio ha sido realizado por el INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA (IGME), actuando como operadora la EMPRESA NACIONAL ADARO DE IVESTIGACIONES MINERAS (ENADIMSA), mediante un convenio de colaboración técnica suscrito por ambas entidades.

En su elaboración han intervenido los siguientes técnicos: L. Martín (Responsable del Proyecto), T. de Torres, J.M. Esnaola, F. Leyva, D. Navarro, M. Iglesias, F. Velando, L. Granados, M. Gutiérrez-Ravé y V. Horvath.

1.- INTRODUCCION

La producción mundial de fosfatos, utilizados principalmente en la manufactura de fertilizante, ha aumentado considerablemente en las últimas décadas como consecuencia de la creciente demanda de alimentos, debida en parte al aumento del consumo "per cápita" en ciertas regiones del globo y en parte al incremento de la población mundial.

A pesar de no existir problemas de agotamiento de las reservas conocidas de P_2O_5 , aparecen factores ligados a la repartición geográfica de las reservas conocidas, el número limitado de los países exportadores, repercusión del precio de la energía, etc., que hace que sea muy deseable, para los países importadores, también a la vista del continuo aumento de sus consumos, encontrar nuevos yacimientos en su propio territorio.

Las únicas explotaciones de fosfato que han existido en España están localizadas en la provincia de Cáceres (Logrosán y Aldea Moret), en actividad desde 1866 a 1956. Con el cierre de estas minas y con la pérdida del territorio saharauí, España se encuentra en una dependencia absoluta de los fosfatos importados.

En el PNAMPM, los fosfatos ocupan el primer lugar en el orden de prioridad de las sustancias deficitarias, marcán-

dose el objetivo de potenciar al máximo la explotación de fosfatos a fin de lograr el mayor conocimiento posible de los recursos existentes en el territorio nacional.

1.1.- ANTECEDENTES

Con el fin señalado anteriormente, el IGME, ha venido realizando desde 1981, y dentro del "Programa de Recursos Geológicos y Mineros" una intensa labor de exploración de depósitos sedimentarios de fosfatos en todo el territorio nacional.

Así en 1981, se llevó a cabo un trabajo de Investigación preliminar de fosfatos sedimentarios en España en materiales del Proterozoico, Cámbrico y Mioceno terminal.

Durante 1982-1985 se continúa la investigación preliminar en las siguientes áreas:

- Paleozoico de la Zona Cantábrica y del Pirineo.
- Ordovícico-Devónico del Sinclinatorio de Alcañices (Zamora).
- Tremadoc de la Cordillera Ibérica.
- Proterozoico y Cámbrico de las zonas: Centro Ibérica, Ossa - Morena y Asturoccidental-Leonesa.
- Devónico y Carbonífero Inferior de la zona subportuguesa.
- Devónico de Sta Cruz de Nogueiras y Segura de los Baños.
- Jurásico y Cretácico de la parte Central de la Cordillera Bética.
- Mioceno terminal del Campo de Gibraltar, Valle del Guadalquivir y zonas del Subbético.

Durante 1986-1987 se realizó investigación preliminar en:

- Cámbrico inferior de Zafra y Usagre (Badajoz).
- Formaciones San Pedro, Santa Lucía y Huergas (Silúrico Superior-Devónico de la Cordillera Cantábrica).
- Ordovícico medio en zonas de la Cantábrica y de la Asturoccidental-Leonesa.
- Devónico del N de Palencia y del Valle de Tena (Pirineos).
- Namuriense Superior-Westfaliense A del NE de León.
- Trias, Cretácico y Terciario en zonas del País Vasco.
- Prebético del Sureste en el límite de las provincias de Alicante y Valencia.
- Prebético meridional y Subbético externo de Murcia.
- Tránsito Dogger-Malm de Sur de Albacete.
- Cretácico Superior del NO de León.
- Mioceno del Prebético y Subbético.

De estos estudios preliminares, llevados a cabo mediante convenios IGME-ENADIMSA, se localizaron una serie de zonas con contenidos anormalmente altos en P_2O_5 , en la que se creyó oportuno continuar la investigación. Algunas de estas zonas son las que se han estudiado en el presente proyecto.

2.- AREAS ESTUDIADAS.

En este proyecto se han estudiado cuatro áreas:

- Area de Codos (Proterozoico-Cámbrico Inferior).
- Area de Calatayud-Almunia (Proterozoico-Cámbrico Inferior).
- Area de Santed (Ordovícico).
- Area de Segura de Baños (Devónico).

En todos los casos, el grado de conocimiento que se tenía de dichas áreas (obtenidas en estudios preliminares) permitía, mediante la realización de los trabajos programados en esta investigación, comprobar si cada una de las zonas citadas posee suficientes características geológico-mineras favorables para que en una fase posterior se inicien estudios más detallados.

2.1.- OBJETIVOS, METODOLOGIA Y TRABAJOS REALIZADOS

El objetivo fundamental es, como acaba de indicarse, el conocimiento preciso de los tramos fosfatados y su contenido en P_2O_5 , datos todos ellos, que de ser favorables, podrían conducir a la existencia de un yacimiento de fosfatos.

Para ello se ha seguido una metodología que puede resumirse en:

- Cartografía geológico-minera, a escala 1:10.000, 1:25.000 y 1:50.000, según el área a considerar. En general, la cartografía se ha realizado con un grado de detalle heterogéneo; poniéndose mayor énfasis en las formaciones que contienen los tramos fosfatados.

En aquellas áreas en las que no se contaba con una topografía adecuada se ha realizado restitución fotogramétrica a escala 1:25.000 y 1:10.000.

- Estudio estratigráfico-sedimentológico, con levantamiento de columnas estratigráficas a escala 1:100. Con estos estudios se ha profundizado en la interpretación estructural y paleogeográfica de las distintas áreas.
- Labores mineras; con la apertura de zanjas y calicatas, con el objeto de dejar al descubierto los tramos de serie de interés en el transcurso de la investigación y poder realizar un muestreo de las mismas.
- Análisis de laboratorio, que han comprendido:
 - a) Análisis colorimétricos, en donde se ha empleado el método "shaphiro" que permite conocer semicuantitativamente la proporción de P_2O_5 en rocas, generalmente, entre el 5 y el 30% de contenido en P_2O_5 .
 - b) Análisis químicos, determinándose el contenido en P_2O_5 por espectrometría de fluorescencia de Rayos X, utilizando el método de "Patrón Externo".
 - c) Petrografía, de suma importancia para definir el tipo de fosfatos, los componentes que se encuentran fosfatados, y como han sido afectados por los procesos diagenéticos.

- d) Estudios bioestratigráficos, en especial los palinomorfos, fundamentalmente en aquellas series siliciclásticas con pobre o nulo contenido en macrofauna.

Los trabajos realizados en las distintas áreas han sido:

Area de Codos

- Restitución fotogramétrica de 400 Ha (E 1:10.000)
- Cartografía geológico-minera (1:10.000) de 400 Ha
- Estudio estratigráfico-sedimentológico con levantamiento de 78 m de columna a escala 1:100
- Análisis colorimétricos: 116 muestras
- Análisis químicos: 20 muestras
- Estudio petrográfico: 97 muestras
- Estudio estructural

Area de Calatayud-Almunia

- Restitución fotogramétrica de 10.000 Ha a escala 1:25.000
- Cartografía geológico-minera en 7.000 Ha a escala 1:25.000
- Columnas estratigráficas y estudios sedimentológicos con levantamiento de 1.092 metros de columna
- Análisis colorimétricos: 774 muestras
- Estudios petrográficos: 40 muestras
- Estudios bioestratigráficos (palinología: 10 muestras)

Area de Santed

- Restitución fotogramétrica de 2.000 Ha (1:10.000)
- Cartografía geológico-minera a escala 1:10.000 (2.000 Ha)
- Columnas estratigráfico-sedimentológicas; 840 metros de serie
- Apertura de calicatas con 3.611 m³ de tierra removida
- Análisis colorimétricos: 10 muestras
- Análisis químicos: 96 muestras
- Estudios petrográficos: 46 muestras

Area de Segura de los Baños

- Cartografía geológico-minera a escala 1:50.000 de 4.000 Ha
- Columnas estratigráficas: 590 metros de serie
- Análisis colorimétricos: 530 muestras
- Análisis químicos: 101 muestras
- Petrografía: 35 muestras
- Apertura de calicatas con 1.087 m³ de tierra removida

Por último, se ha elaborado un informe para cada una de las áreas en donde se recogen los datos obtenidos, conclusiones y recomendaciones.

3.- AREA DE CODOS

3.1.- ANTECEDENTES

Durante los estudios preliminares de exploración de fosfatos llevados a cabo mediante convenios IGME-ENADIMSA, se puso de manifiesto la existencia de indicios fosfáticos importantes, por su contenido en P_2O_5 ($>10\%$), en la zona de Codos (Cordillera Ibérica). Según los datos geológicos disponibles (fundamentalmente hoja geológica 1:50.000 proyecto MAGNA), dichos indicios se ubicaban en materiales atribuidos al Proterozoico superior, y más concretamente a la denominada Formación Pizarras de Paracuellos.

Con estos antecedentes se procedió a la solicitud de una Reserva Minera y a la investigación de la misma.

3.2.- OBJETIVOS Y TRABAJOS REALIZADOS

El objeto de los trabajos programados era el reconocimiento de los materiales en que se localizan los indicios fosfatados, tratando de ubicarlos en tiempo y espacio, y al ser posible llegar a predecir los sectores más favorables. Para ello, se programó la realización de una cartografía detallada del afloramiento, se levantaron columnas estratigráfico-sedimentológicas detalladas y se tomaron muestras para su análisis colorimétrico y químico. Ahora bien, durante el desarrollo de la investigación se planteó un problema esencial, de difícil solución, debido entre otros factores, a lo reducido

del afloramiento, y cuya resolución era fundamental para el transcurso de la estratigrafía de los niveles carbonatados portadores de fosfatos, así como del conjunto de la serie detrítica en la que estos niveles están incluidos.

Teóricamente dos posiciones estratigráficas podían ser adoptadas, o bien estos niveles eran de edad Devónica, o bien infracámbricos, ya que, estratigráficamente, son los dos metalotéctos de fosfatos en este sector, dentro de la Cadena Hercínica.

Para solucionar este problema, se realizó un estudio bioestratigráfico (palinología) que no dió resultados, y un exhaustivo estudio estructural que ha permitido establecer conclusiones en la línea propuesta.

Otro objetivo perseguido era llegar al conocimiento del modelo de depósito de estos materiales, para su posible correlación con los materiales precámbricos del Area de Calatayud-La Almunia, estudiados también en este proyecto, y que ocupan una gran extensión:

Los trabajos realizados, con los fines propuestos anteriormente, han sido:

- Restitución fotogramétrica de 400 Ha (E. 1:10.000)
- Cartografía geológico-minera (1:10.000) de 400 Ha
- Estudio estratigráfico-sedimentológico con levantamiento de 78 m de columna a escala 1:100
- Análisis colorimétricos: 116 muestras
- Análisis químicos: 20 muestras
- Estudio petrográfico: 97 muestras
- Estudio bioestratigráfico
- Estudio estructural

3.3.- SITUACION GEOGRAFICA Y GEOLOGICA

El área estudiada comprende una superficie de 400 Ha, situada en la proximidad de la localidad de Codos (Zaragoza), dentro de la hoja nº 438 (Paniza) del M.T.N. a escala 1:50.000.

Desde el punto de vista geológico la región estudiada se sitúa en la rama aragonesa de la Cordillera Ibérica, dentro de la zona Asturoccidental-Leonesa.

3.4.- ESTUDIO GEOLOGICO-MINERO

En el área investigada afloran materiales pertenecientes al Precámbrico, Cámbrico Inferior, Pérmico y Mioceno (hoja 1:50.000 nº 438, Paniza). Este estudio se ha centrado fundamentalmente en los materiales precámbricos, en donde se sitúan los indicios fosfatizados reconocidos.

Como se ha indicado anteriormente, se planteó un problema en cuanto a la asignación de edad a estos materiales. En efecto, de los materiales representados en el área se identificó, sin duda, la Formación Cuarcitas de Bámbola (Cámbrico Inferior) pero el contacto con la Formación en que se encuentran los niveles fosfatados no era claro, hasta el punto de hacer dudar su asignación al Precámbrico (F. Paracuellos), ya que en todas las descripciones publicadas de estos materiales, no se señalaba la presencia de niveles carbonatados intercalados. La presencia de restos de fósiles en estos niveles, llevó incluso a la idea de que se tratase de materiales del Devónico. Ante esto y dada la imposibilidad de datación de los restos fósiles, se hacía fundamental el estudio estructural de la F. Cuarcitas de Bámbola (Suprayacente), y la Formación infrayacente (teórica, F. Paracuellos).

Los estudios estructurales realizados y que serán descritos posteriormente, demuestran la existencia de una discordancia entre dichas formaciones y por lo tanto la edad precámbrica de los materiales de la Formación infrayacente en donde se localizan los indicios de fosfatos.

3.4.1.- Estratigrafía

Los materiales precámbricos, objeto de la investigación, serán tratados con más detalle, en un apartado posterior; aquí solo se hará una reseña de las características generales de los materiales representados en el área cartografiada.

- Precámbrico

Constituido por secuencias monótonas de pizarra gris oscura y verdosas, en las que se intercalan delgados niveles de cuarcitas. Intercalado en esta serie se encuentra un nivel carbonatado (aprox. 7 m de espesor), con indicios de fosfato.

- Cámbrico inferior (F. Cuarcitas de Bámbola)

Constituida por areniscas cuarcíticas y cuarcitas microconglomeráticas abundantes, con cantos de cuarzo lechoso,

- Rocas volcánicas (Pérmico)

Corresponden a tobas de grano grueso, predominantemente líticas, ricas en fragmentos de rocas prepérmicas, con aporte volcánico de tipo ácido.

- Mioceno (Ageniense sup-Turolense)

Estos materiales rellenan la depresión de Codos y están constituidos por conglomerados de cantos silíceos alternantes -

con limolitas y arcillas rojas.

- Cuaternario

Representado por materiales aluviales, derrubios y conos de deyección.

3.4.2.- Estudio Estructural

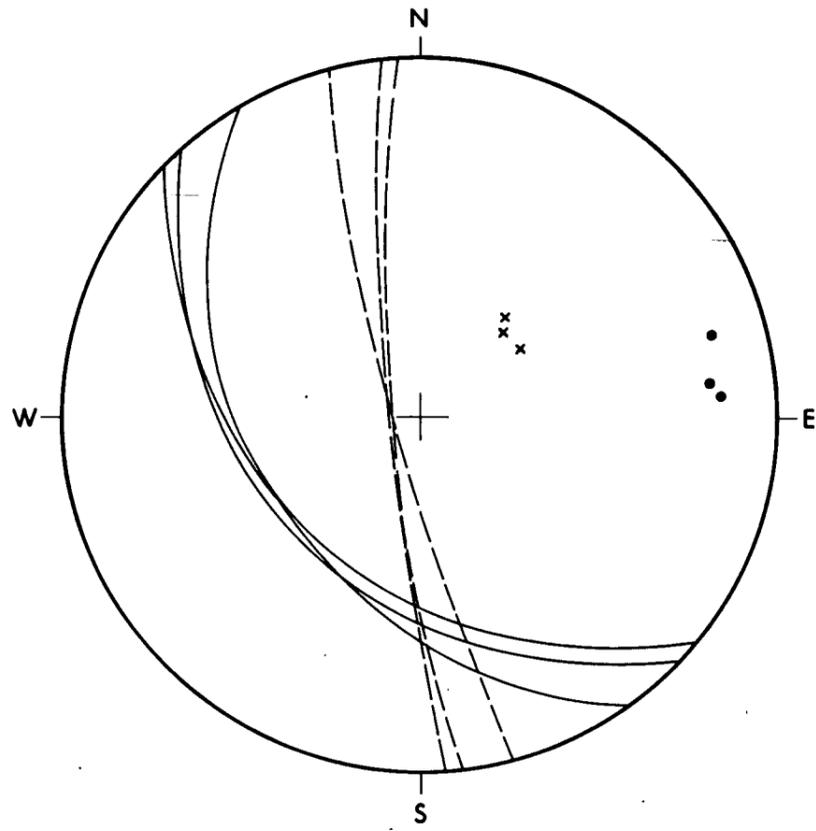
Ya se ha señalado reiteradamente el objeto del estudio estructural realizado.

Dada la pequeña extensión del área, se prescinde de la descripción tectónica regional, que por otra parte, coincide con la descrita para el área de Calatayud-Almunia (ver apartado 4.2.2.1. de esta Memoria). Así pues, se reseñan aquí solamente los resultados del estudio estructural realizado específicamente para la investigación propuesta.

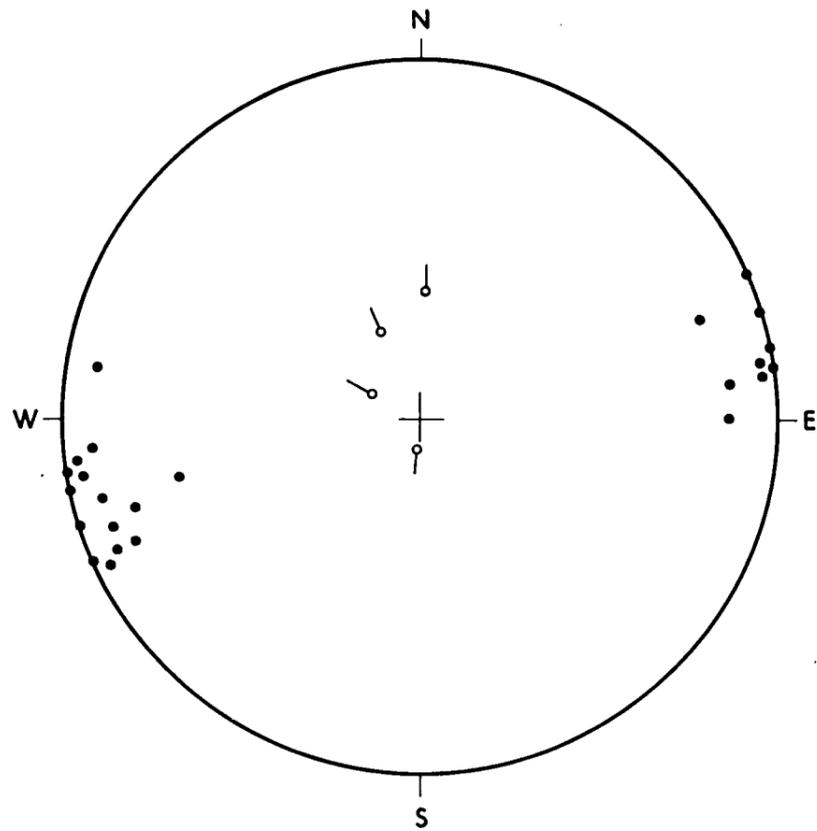
Sobre la estructura del anticlinal de Codos, se han realizado observaciones estructurales puntuales en los sectores considerados más significativos, observaciones limitadas en parte por la escasez de afloramientos en los contactos, sobre todo en el flanco normal.

En la figura 3.1, puede verse un corte geológico representativo de la geometría de esta estructura, así como las proyecciones estereográficas que nos definen las relaciones geométricas entre dos grupos litológicos bien distintos: las cuarcitas y conglomerados de Bámbola (CB) y una formación detrítica infrayacente (FI) constituida por metasamritas en bancos decimétricos alternando con niveles de metapelitas centimétricas a decimétricas. Esta formación incluye igualmente niveles carbonatados-fosfatados decimétricos a métricos y niveles detríticos con nódulos fosfatados.

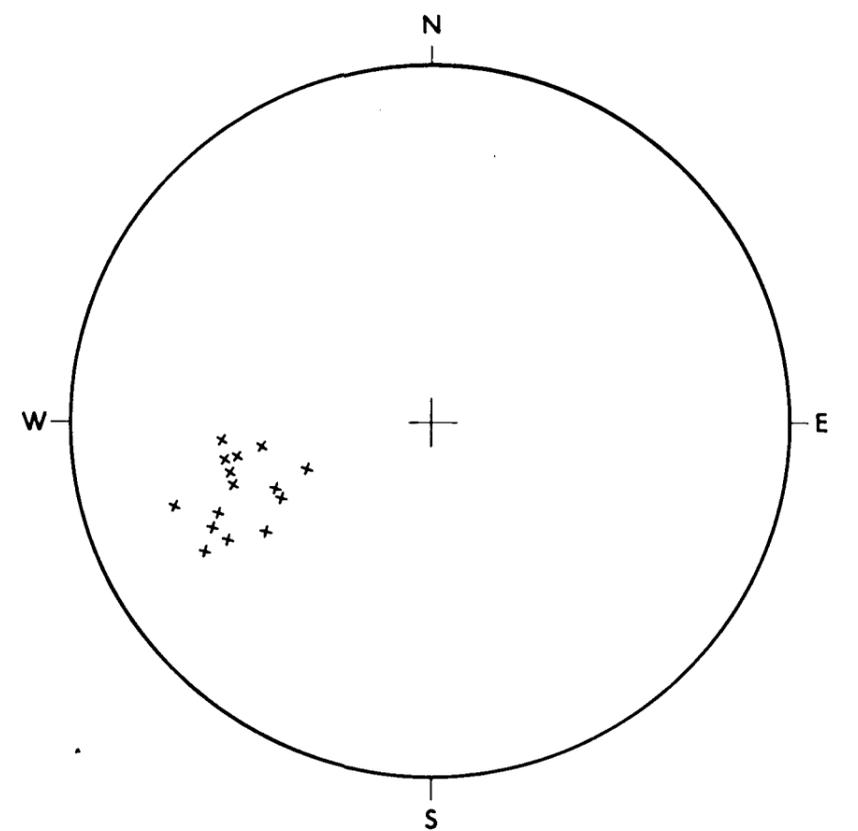
La estructura de conjunto se presenta, tomando como



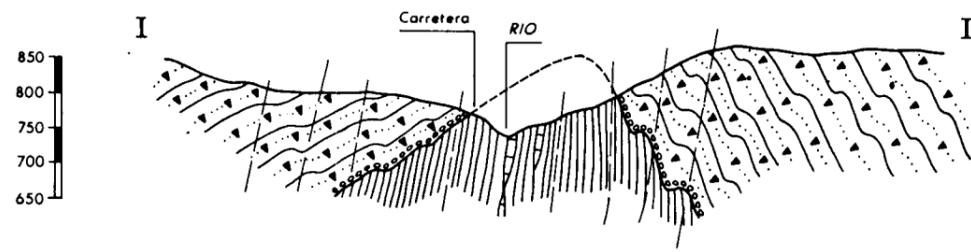
x Polos de S₀ en cuarcitas de Bámbola. — Ciclográfica
 ● Polos de S₀ en Serie inferior. — Ciclográfica



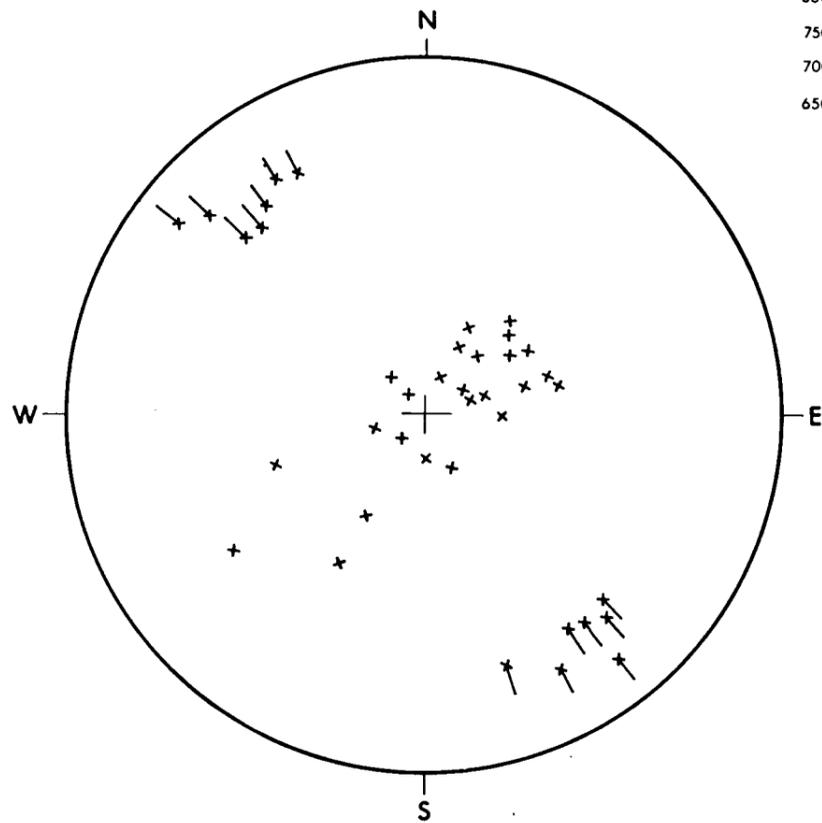
● Polos S₀ en Serie inferior
 ○ Lineación de intersección.



x Polos de S₀ en cuarcitas de Bámbola en el flanco NE.

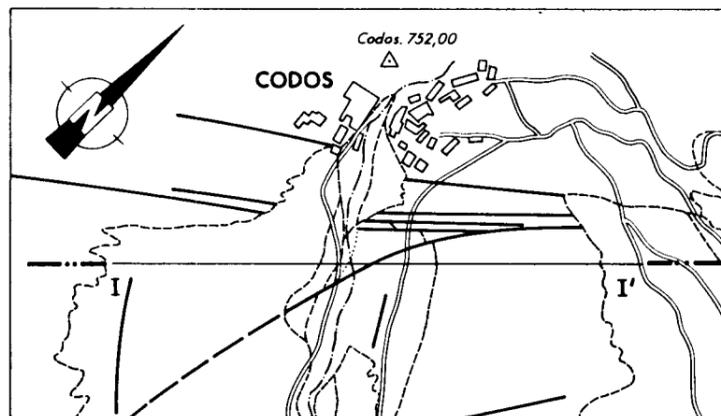


ESCALA HORIZONTAL Y VERTICAL. 1 / 10.000

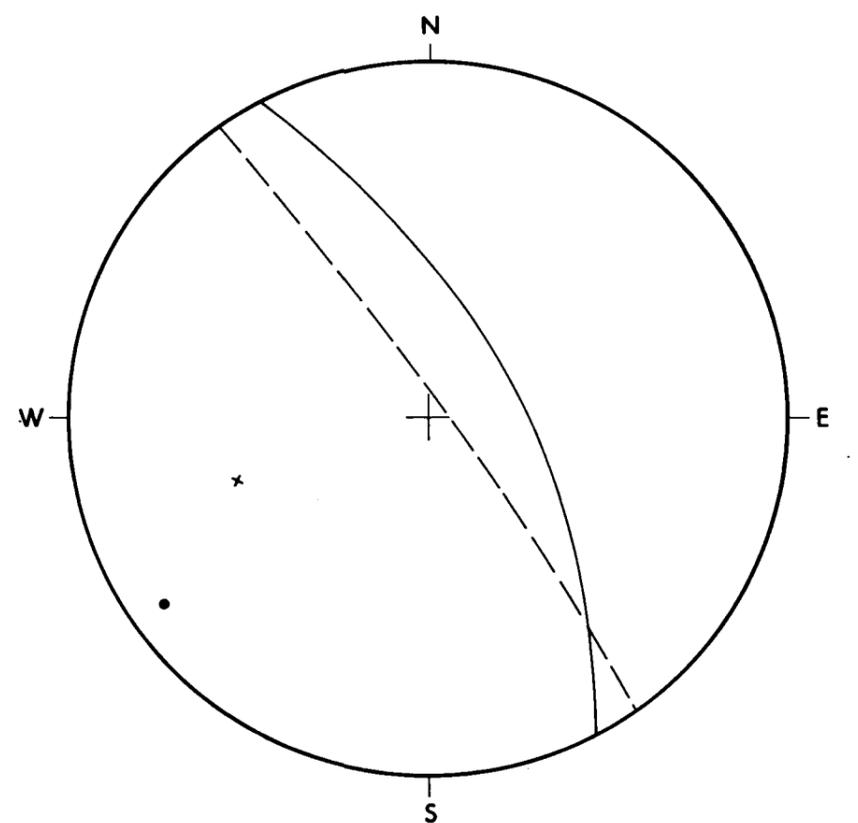
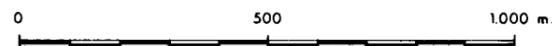


x Polos de S₀ en cuarcitas de Bámbola, flanco normal.
 —x Ejes de pliegues y lineaciones de intersección calculados o medidos.

ESQUEMA DE SITUACION



ESCALA GRAFICA



x Polos de S₀ en cuarcitas de Bámbola. — Ciclográfica
 ● Polos de S₀ en Serie inferior. — Ciclográfica

referencia la formación CB, como un anticlinal asimétrico vergente al Este, y de dirección NW-SE, con un flanco normal de baja pendiente y al SW un flanco corto con fuerte pendiente y al NE. El eje de la gran estructura, está inclinado hacia el SE en la terminación meridional del pliegue, y su terminación septentrional está interrumpida por fallas de dirección aproximada NE-SW (ver Mapa Geológico del área de Codos).

Dentro de la Formación FI, no se han observado mesoestructuras de plegamiento.

- Estereograma a): representa la posición relativa de la estratificación en CB y FI, en el flanco normal del anticlinal. Dada la pequeña dimensión del afloramiento accesible, el número de datos es escaso, no obstante se observan dos poblaciones de polos muy netos: con baja pendiente y al SW para la formación CB y fuerte pendiente al SW para FI.
- Estereograma e): los datos representados han sido tomados en el flanco Este de la estructura en un pequeño afloramiento visible en el borde de una de las terrazas del río Codos. Se observa allí, cómo los conglomerados de la base de la capa más baja de la formación CB, se presentan "canalizados y erosionando las capas infrayacentes".

La posición de la estratificación en una y otra formación se presenta con inclinaciones al Este y con mayor pendiente los de la Formación FI.

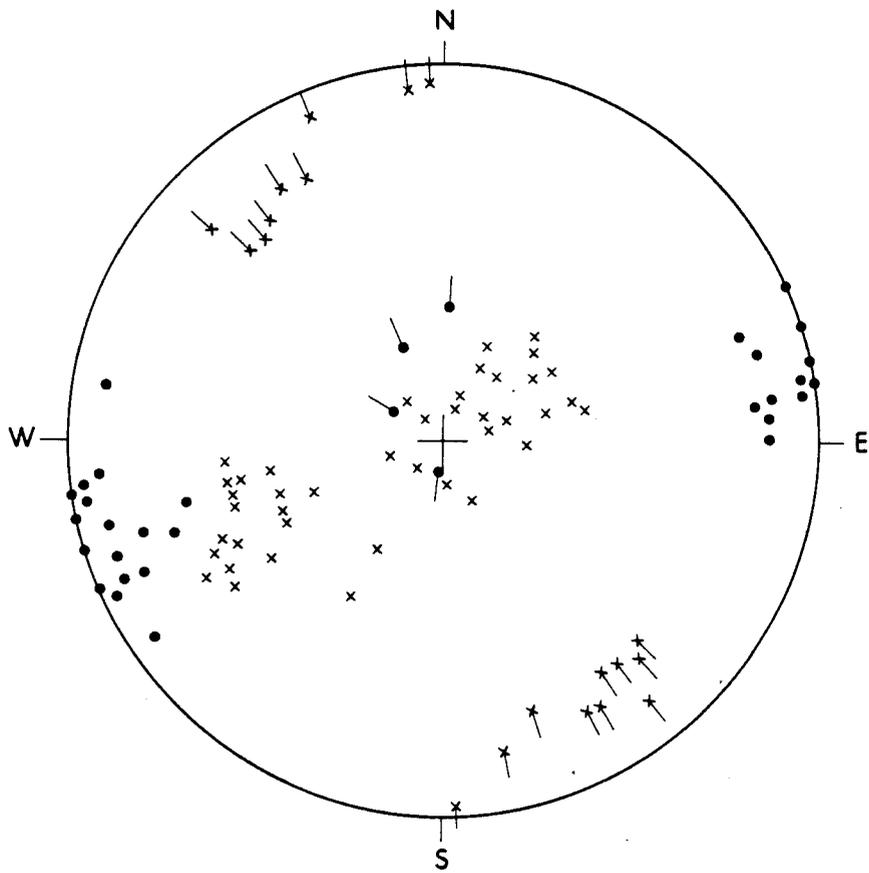
- Estereograma d): Los datos de polos de estratificación en la formación CB representados, han sido tomados en dos estaciones próximas entre sí, situadas en la carretera de Codos a Calatayud, aproximadamente a 1 Km de la primera población.

Los polos de la estratificación definen una guirnalda incompleta, dentro de un círculo máximo casi vertical y de dirección NE-SW, con inclinaciones al Oeste y al Este de las capas, estando más inclinadas las de pendiente Este. Esta guirnalda traduce claramente la asimetría de los pliegues: pendiente al W y baja en el flanco W y pendiente al este mayor, en el flanco Este.

Los ejes de los pliegues de dirección NW-SE, con una dispersión de 30° en dirección, se presentan inclinados al NW y al SE unos 10° de media.

- Estereograma c): SE han representado los polos de estratificación de capas de Bámbola en el flanco E del anticlinal. Las pendientes son siempre al Este entre 40° y 74° y una dispersión en dirección de unos 30° (N 145° E a N 175° E).
- Estereograma b): Representa los polos de estratificación de las capas de FI, así como lineaciones de intersección construidas o medidas directamente en afloramiento, los polos de estratificación muestran una fuerte pendiente al Este u Oeste y bien agrupados, con poca dispersión en una dirección aproximadamente NW-SE. Los ejes de los pliegues se caracterizan por su fuerte pendiente.
- Estereograma Fig. 3.2: Es un estereograma recapitulativo, en el que se han representado todos los datos significativos tomados en el sector.

Las poblaciones de los polos de estratificación en ambas formaciones están claramente delimitadas en dos conjuntos que no se superponen: amplia dispersión en inclinación en las capas de Bámbola, de baja pendiente a media y alta por un lado, y escasa dispersión en inclinación en las capas de la Formación Infrayacente con altas pendientes. En ambos



- Polos de S₀ en Serie inferior.
- × Polos de S en cuarcitas de Bámbola.
- Lineaciones de intersección en Serie inferior.
- × Lineaciones de intersección y ejes de pliegues medidos o calculados en cuarcitas de Bámbola.

Fig. 3.2

casos la dispersión en dirección es de unos 30°. Del mismo modo las poblaciones de ejes de pliegues se sitúan en conjuntos bien definidos: altas pendientes para las lineaciones de intersección de la formación detrítica inferior, y baja pendiente y poca dispersión para los ejes de pliegues y lineaciones de intersección de las cuarcitas de Bámbola.

El estereograma de la Figura 3.2., pone en evidencia, con la distribución de los polos de la estratificación y de ejes de pliegues, de una "disarmonía" entre el plegamiento de las capas de Bámbola y la serie detrítica infrayacente, debiendo ser esta última considerada como precámbrico, probablemente Vendicense.

Esta situación puede traducir un auténtico plegamiento disarmónico, es decir, pliegues concéntricos en una cobertera constituida por las capas de Bámbola y un plegamiento isoclinal en las capas de FI, ahora bien, esta situación requiere un despegue en el límite entre ambas formaciones, lo que no es el caso, ya que el contacto discordante y erosivo de los conglomerados de Bámbola con la serie inferior no está en ningún caso tectonizado.

Otra solución, y es la que se adapta mejor con las observaciones realizadas, es la de una discordancia angular. En efecto, la posición de los planos de estratificación de la FI, con altas pendientes al Este y al Oeste no significa la presencia de pliegues isoclinales, sino precisamente la ausencia de pliegues en la formación inferior. Hecho remarcable en el terreno es que, con alternancias de niveles de diferentes competencias, es decir, adecuadas para haber sufrido un acortamiento por plegamiento igual que las cuarcitas de Bámbola, no se ha observado ningún pliegue en la FI. Esto es sólo posible, si el ángulo entre la horizontal, posición antes del plegamiento de las cuarcitas de Bámbola, y las capas detríticas

de la FI es superior a 45° , es decir, la deformación de la formación infrayacente, ha consistido en un giro, verticalización de las capas, siempre dentro del campo de extensión, sin haber pasado por el campo de acortamiento dada la ausencia de pliegues, compensando la deformación por plegamiento sufrido por la CB, por un fuerte aplastamiento, que hace que el ángulo entre esquistosidad y estratificación en la serie detrítica inferior sea muy bajo, siendo en general S_0 y S_1 paralelos, como se constata en el campo. Sobre los planos de esquistosidad S_1 es visible una fuerte lineación de estiramiento subvertical.

En consecuencia debemos admitir una fuerte discordancia angular entre ambas formaciones.

3.4.3.- Características litoestratigráficas de la F. Pizarras de Paracuellos (serie con los indicios fosfatados)

Como conclusión de los estudios estructurales realizados y descritos en el apartado anterior, se asignaba una edad Precámbrica para la serie de pizarras y areniscas, en donde se intercala el nivel carbonatado fosfatado; identificando esta serie con los tramos superiores de la Formación Pizarras de Paracuellos.

Con el fin de alcanzar un conocimiento lo más exhaustivo posible de esta serie, se han realizado dos columnas estratigráficas de detalle que afectan a los dos tipos de litologías aflorantes en el área.

A. MIEMBRO SILICICLASTICO

B.- MIEMBRO CARBONATADO

Se hará un análisis por separado de ambas litologías y se establecerán con posterioridad las relaciones sedimentarias de ambos litosomas.

- MIEMBRO SILICICLASTICO

La serie realizada muestra una acumulación de secuencias de primer orden con espesor decimétrico y características sedimentológicas prácticamente uniformes en todas ellas.

Esta secuencia de 1er orden, representada en la Fig. 3.3., es de tipo "coarsening upward sequence" (C.U.S.), en la que pueden definirse al menos dos conjuntos litológicos.

El inferior estructurado a su vez en secuencias de segundo orden y espesores métricos de tipo C.U.S. con un tamaño inferior en lutitas gris oscuro a negras, silicificadas, muy compactas y con núcleos de pirita framboidal limonitizadas. Esporádicamente se han observado en estas lutitas concreciones carbonatadas constituidas por packstone bioclásticas granudas de color gris.

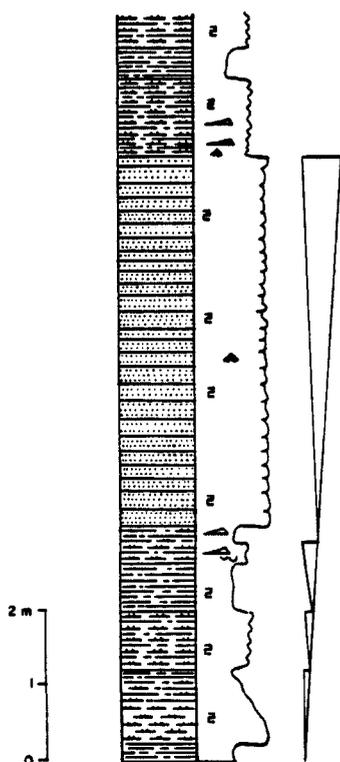


Fig. 3.3

El tramo superior de estas secuencias se establece en limolitas micáceas, silicificadas de color gris claro a pardo verdoso en capas centimétricas con láminas de lutitas verdes en la separación de capas.

Las estructuras sedimentarias observadas en estas secuencias se restringen a laminación paralela y estructuras "linsen" y "flaser" en los términos limolíticos.

El conjunto superior de la megasecuencia de primer orden está constituido por areniscas y areniscas algo limosomicáceas de centimétricas a decimétricas. Petrográficamente las areniscas

son sublitarenitas y subarcosas con carácter heterolítico marcado. Las estructuras sedimentarias observadas son laminación paralela y esporádicamente laminación de "ripples" de ola.

En ambos conjuntos, así como en todo el resto de la serie, no se observan restos fósiles ni icnofauna.

Como anteriormente se reseñaba, el Miembro Siliciclástico aflorante, está constituido por la acumulación de secuencias de primer orden, cualitativamente similares a la descrita, si bien con diferencias de matiz en cuanto al espesor de los distintos términos o al desarrollo y madurez del conjunto arenoso superior secuencial, pero manteniendo la estructuración secuencial, las estructuras sedimentarias y la ausencia de indicios faunísticos.

- MIEMBRO CARBONATADO (Tramo fosfatado)

En las proximidades de Codos, aguas arriba del río del mismo nombre, aflora intercalado en los materiales siliciclásticos atribuidos al Precámbrico Superior, un litosoma carbonatado con escasa continuidad lateral. Hacia el Oeste, está cortado por un accidente tectónico, que pone en contacto las series del Precámbrico y el Cámbrico, y hacia el Este, parece cambiar lateralmente de facies a los términos pelíticos de las secuencias siliciclásticas. La zona de cambio de facies está sumamente tectonizada y parcialmente recubierta por las terrazas del río Codos, lo que dificulta la observación, pero el hallazgo de concreciones carbonatadas en los términos de lutitas negras de las secuencias siliciclásticas, parece confirmar la idea de un cambio lateral de una a otra facies.

La columna estratigráfica de detalle a escala 1:100 levantada en estos carbonatados (plano nº 7) muestra al menos

dos secuencias de primer orden con espesores similares, 5 a 7 m, en los que pueden distinguirse de muro a techo los siguientes términos (Fig. 3.4.).

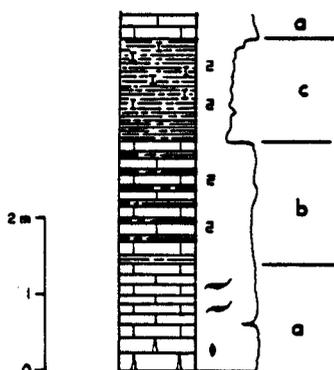


FIG. 3.4

Un término a, constituido por dolomías de grano medio a grueso con aloquímicos en proporción del 30 al 35% y fracción terrígena (limo+arcilla) del 3 al 5%.

Los aloquímicos son oncolitos y clastos lumpales, con predominio de los primeros, de tamaño arena mediana-gruesa, fosfatizados y con núcleos, en algún caso, silicificados.

Hay un porcentaje entre el 1 al 3% de bioclastos sin identificar (fragmentos de conchas, de bivalvos, equinodermos? etc.) de tamaño rudita e igualmente fosfatizados.

La silicificación afecta a los núcleos de las oncoformas y a la fracción terrígena. Se estima en un 5%.

La fosfatización afecta al 100% de los aloquímicos.

Se observa un proceso de desdolomitización en núcleos de aloquímicos y cristales romboedrales de dolomía.

Como minerales de neoformación se tiene clorita y anfíbol. Hay pirita framboidal y materia orgánica dispersa.

En resumen el término a está constituido por dolomías oncolíticas, gravelosas y limo arcillosas recristalizadas y

silicificadas. La fosfatización afecta esencialmente a los aloquímicos y los análisis químicos dan porcentajes de P_2O_5 entre 7 a 10,80%.

El término b está estructurado en secuencias de segundo orden, constituidas por capas milimétricas a centimétricas de dolomías de grano medio, oncolíticas y gravelosas y capas de espesor milimétrico de limolita carbonatada con oncolitos y gravels dispersos.

Los carbonatos mantienen un porcentaje de aloquímicos similar al descrito para el término a, es decir, próximo al 30%, en tanto que las capas de terrígenos el porcentaje es muy variable y decreciente de muro a techo del término entre el 10 al 3%.

Los aloquímicos se encuentran fosfatizados en su totalidad, hay pirita framboidal y materia orgánica. En las capas siliciclásticas se observan porcentajes entre el 1 al 2% de apatito en cristales euhedrales de tamaño limo.

Como minerales de neoformación, tanto en carbonatos como en siliciclásticos, se tiene clorita fosfatizada y anfíbol.

Los análisis químicos realizados en las muestras recogidas en este término dan porcentajes de P_2O_5 entre 4,50 y 5,84%.

El término c está igualmente estructurado en secuencias de segundo orden constituidas por láminas con origen algal (estromatolitos lamerales) en los que se incluyen escasos oncolitos y lumps de tamaño arena fina, y láminas de limolitas débilmente arenosas, con fuerte silicificación y fracción

variable (1 a 5%) de aloquímicos (oncolitos y lumps) de tamaño arena media-gruesa. En estas láminas siliciclásticas hay cristales euhedrales de apatito tamaño limo grueso-arena fina.

Las láminas estromatolíticas están fosfatadas en su totalidad.

Como accesorios se tiene pirita framboidal y materia orgánica, y como minerales de neoformación hay clorita, anfíbol y esfena.

Los análisis químicos realizados muestran unos porcentajes de P₂O₅ muy variables, lo cual es lógico dadas las litologías reseñadas, entre el 4,77 al 8,86%.

Dada la constitución litológica descrita para ambos miembros, su estructuración secuencial y las estructuras sedimentarias observadas, el modelo aplicable a estos sedimentos sería una llanura de mareas con rango micromareal, en la que el término inferior de la megasecuencia descrita representaría la llanura mixta ("mixed flat") y el término superior la llanura inferior o "sand-flat". Lateralmente en esta llanura de mareas y en las áreas de máxima acción biogénica ("mud-flat" o "mixed flat") y mínima energía con aguas estancadas (Charcón) se desarrollan secuencias de "shallowing upwad" en estromatolitos (Jamen 1980) y depósitos de lutitas negras ricas en materia orgánica y pirita framboidal.

Esta actividad biológica de origen algal es la causante de la absorción del fosfato existente en el agua marina, como se observa en las láminas de petrografía realizada, en las que los oncolitos y clastos lumpales se encuentran totalmente fosfatados.

Con posterioridad, hay una remoción del fosfato sinsedimentario en los procesos diagenéticos y postdiagenéticos que origina el apatito en cristales euhedrales, dispersos tanto en sedimentos carbonatados como siliciclásticos.

Por último cabe destacar el proceso metasomático a que han sido sometidos los sedimentos del área investigada. La aparición de minerales de neoformación como la clorita, cloritoide, anfíbol, esfena, etc., en siliciclásticos y carbonatos parece claramente ligada a las intrusiones volcánicas aflorantes en la localidad de Codos, justo en la conjunción de dos grandes accidentes tectónicos, las fallas de Grio y Datos.

Estos procesos metasomáticos han movilizado parte del fosfato primario a través de fracturas y fisuras, de tal forma que, sobre los niveles carbonatados se encuentran capas nodulizadas, ferruginosas, posibles paleosuelos removilizados (muestras CD-15 y 17), en los que se tienen altas concentraciones de apatito (P_2O_5 1,30 a 8,40%) en sedimentos con metasomatismo de grano medio y composición calcosilicatada.

El modelo de facies descrito en ambientes de llanura de marea siliciclástica con rango micromareal, en principio no descarta la aparición de nuevos litosomas carbonatados con mayor extensión que el observado en Codos, pero está sujeto como anteriormente se reseñaba, no sólo a áreas de encharcamiento, cosa bastante normal dentro de este modelo, sino prioritariamente a una actividad biológica continuada, lo que si es más selectivo a nivel del Precámbrico superior, y además, por las referencias bibliográficas que se tienen, anormalmente ligado a áreas donde se dan aportes hidrotermales que elevan la temperatura del agua marina con la consiguiente proliferación de la actividad biogénica.

Los resultados de los estudios petrográficos, bioestratigráficos, análisis colorimétricos y análisis químicos, figuran en el Anexo de Laboratorios.

3.4.4.- Conclusiones y recomendaciones

- Conclusiones

- En el área de Codos existen niveles carbonatados con presencia de fosfatos, presentándose el problema de conocer la posición estratigráfica de dichos niveles, así como del conjunto de la serie detrítica en la que estos niveles están incluidos.
- El análisis estructural realizado, permite asignar al Precámbrico (Vendiense?) el afloramiento, existiendo una fuerte discordancia angular entre ésta y las cuarcitas de Bámbola (Cámbrico).
- Estratigráficamente, se han distinguido dos miembros:
 - A) MIEMBRO SILICICLASTICO
 - B) MIEMBRO CARBONATADO

El "Miembro B", o Carbonatado, es el que contiene la mineralización de fosfato, con valores de hasta el 10,50% en P_2O_5 .

- La potencia visible del "Miembro Carbonatado", es de 6,5 metros, distinguiéndose un primer tramo en la base de 1,5 m de espesor, con contenido en P_2O_5 comprendido entre 2,48 al 10,80%, al que sigue un segundo tramo, también de 1,5 m de potencia, constituida por calizas que intercalan láminas de lutitas carbonatadas negras piritisosas. El contenido

medio de P_2O_5 en este tramo es del 5%.

El tercer tramo distinguido, con una potencia de 1,40 m, está constituido por lutitas carbonatadas negras, piritosas con laminación paralela muy marcada de aspecto algal estromatolítico. Los porcentajes en P_2O_5 oscilan de 4,77% a 8,86%. El siguiente tramo con 1,70 m de espesor, está constituido por calizas (mudstone) margosas con pirita y con contenido medio en P_2O_5 del 2,50%. Termina el "Miembro carbonatado" con un nivel de 0,40 m, de calizas negras piritosas, con un contenido en P_2O_5 del 10,50%.

Encima y dentro de los niveles lutíticos hay unos niveles nodulizados con nódulos de siderita y limonitizados, y cantos blandos, lutíticos, con un contenido en P_2O_5 , que oscila entre 0,26 al 1,30%. Hay que señalar también la existencia de un nivel de condensación (0,40 m) en lutitas carbonatadas, silicificadas, con nódulos limonitizados, con un contenido medio en P_2O_5 del 8,40%.

- La constitución litológica para el afloramiento Precámbrico, junto a su estructuración secuencial, indican un modelo sedimentario propio de una llanura de mareas con rango micromareal.

En esta llanura de mareas y en las áreas de máxima acción biogénica y mínima energía, se desarrollan secuencias estromatolíticas y depósitos de lutitas negras ricas en materia orgánica y pirita framboidal. Esta actividad biológica, de origen algal, es la causante de la absorción de fosfato existente en el agua marina como se observa en las láminas de petrografía realizadas, en las que los oncolitos y clastos lumpales se encuentran totalmente fosfatados..

- Con posterioridad hay una reacción del fosfato sinsedimentario en los procesos diagenéticos y postdiagenéticos que origina el apatito en cristales euhedrales dispersos tanto en sedimentos carbonatados como siliciclásticos.
- Por último cabe destacar el proceso metasomático a que han sido sometidos los sedimentos del área investigada. La aparición de minerales de neoformación como clorita, cloritoide, anfíbol, etc., en siliciclásticos y carbonatos, parece claramente ligada a las intrusiones volcánicas aflorantes en la localidad de Codos, justo en la conjunción de dos grandes accidentes tectónicos, las fallas de Grio y Datos.

Recomendaciones

- Según lo expresado anteriormente, las anomalías de fosfatos de Codos no parecen ser de gran interés por ellas mismas, ya que aunque en principio no se descarta la aparición de nuevos litosomas carbonatados, éstos estarían sujetos, no sólo a la existencia de áreas de encharcamiento, cosa bastante normal dentro de este modelo sedimentario, sino prioritariamente a una actividad biológica continuada, lo que si es más selectivo a nivel del Precámbrico superior y además por las referencias bibliográficas que se tienen, normalmente ligado a áreas donde se dan aportes hidrotermales que elevan la temperatura del agua marina con la consiguiente proliferación de la actividad biogénica. Así pues, no parece oportuna la continuación de los trabajos de investigación en el área.

3.4.5.- Bibliografía

ALVARO, M., CAPOTE, R. y VEGAS, R. (1978).- Un modelo de evolución geotectónica, para la Cadena Celtibérica. Acta Geol. Hispánica. Libro homenaje al profesor Solé Sabarís. Barcelona (en prensa)

- ARTHAUD. F. y MATTE, Ph. (1975).- Les descrochements tardihercyniens du Sud-Puest de l'Europe. Geometrie et essai de reconstruction des conditions de la deformation. Tectonophysics V.25.pp. 139-171.
- BARTSCH, G. (1966).- "Geologische untersuchungen in den Ostlichen Iberischen Ketten. Zwischen Rio Jalón und der strasse Miedes-Codos-Cariñena (Spanien)". Inst. Univ. Muster (Ined.). pp. 1-120.
- CAPOTE DEL VILLAR, R. y GUTIERREZ ELORZA, M. (1977).- "Excursion al Precámbrico y Cámbrico inf. de Paracuellos-Cámbrico medio de Muero". XI Curso de Geol. Práctica Teruel.
- CARLS, P. (1962).- "Erläuterungen zur geologischen kartierung bei Luesma und Fombuena in den Ostlichen Iberischen Ketten (Nordest Spanien)". Dipl. Arb. Math. -naturwiss. Würzburg. pp. 1-155.
- CARLS, P. (1975).- "The Ordovician of the Eastern Iberian Chains near Fombuena and Luesma (Prov. Zaragoza, Spain)". N.J.Bb. Geol. Palaont. Abh. V. 150. núm. 2. pp. 127-146. Stuttgart.
- CARLS, P. y GANDL, I. (1969).- "Stratigraphie und Conodonten des Unter Devons der Ostlichen Iberischen Ketten (N.E. Spanien)". N. Jb. Geol. Palaont. Abh. V. 132 núm.2 pp. 155-218. Stuttgart.
- INST. GEOL. MIN. ESP. (1971).- "Mapa geológico de España. Escala 1:200.000. Síntesis de la cartografía existente. Explicación de la hoja núm. 40. Daroca. "Inst. Geol. Min. Esp.

- LOZTE, F. (1954).- "Estratigrafía tectónica de las cadenas paleozoicas Celtibéricas". Publ. Ex. Geol. Esp. Inst. Lucas Mallada. T.8. pp. 1-315.
- LOTZE, F. (1960).- "El Precámbrico en España". Not. y Com. I.G.M.E. V. 60. pp. 227-240.
- LOZTE, F. (1961).- "Sobre la estratigrafía del Cámbrico español". Not. y Com. I.G.M.E. V. 61, pp. 131-164.
- LOZTE, F. (1969).- "El Cámbrico en España. 1ª Parte". Mem. I.G.M.E. V. 75, pp. 1-256.
- MARIN, P. (1974).- "Stratigraphie et evolution paleogeographique de la Chaîne Celtiberique Orientale I. Paleozoique-Permotrias". Dipl. Et. Sup. Univ. Lyon. pp. 1-231.
- PARGA, J.R. (1969).- "Sistemas de fracturas tardihercínicas del Macizo Hespérico". Trab. Láb. Geol. Lage. núm. 37. pp. 3-17.
- PORTERO GARCIA, OLMO, P. y OLIVE, A. (1983).- Hoja geológica 1:50.000 nº 438 (Paniza). Proyecto MAGNA, I.G.M.E.
- TEYSSENT, T. (1980).- "El paleozoico inferior de la Cordillera Ibérica (Cámbrico, Tremadoc. y Arenig.)". XIV Curso de Geol. Práctica. Teruel pp. 1-23.
- TEYSSENT, T. (1980).- "Acerca de una discordancia assintica en la Cadena Ibérica (NE España)". Est. Geol. 36, 403-407 Madrid.

ANEXO I
LABORATORIOS

1.- ANALISIS COLORIMETRICOS Y QUIMICOS

| Nº MUESTRA | ANALISIS COLORIMETRICO | ANALISIS QUIMICOS |
|------------|---|--|
| CD-1 (4)* | CD-1 (a) CD-1 (b) CD-1 (c) 5% CD-1 (d) | CD-1 (a) - 6% CD-1 (b) - 2,48% CD-1 (c) - 10,80% CD-1 (d) - 4,50% |
| CD-2 (7) | CD-2 (a) - 0,7% CD-2 (b) - 0,8% CD-2 (c) - 0,9% CD-2 (d) - 0,7% CD-2 (e) - 1% CD-2 (f) - 1% CD-2 (g) - 5% | CD-2 (g) - 4,5% |
| CD-3 (5) | CD-3 (a) - 1% CD-3 (b) - 0,8% CD-3 (c) - 0,9% CD-3 (d) - 1% CD-3 (e) - 5% | CD-3 (e) - 5,84% |

* Muestras de mano recogidas en la capa

| Nº MUESTRA | ANALISIS COLORIMETRICOS | ANALISIS QUIMICOS |
|------------|--|-------------------|
| CD-4 (8) | CD-4 (a) - 1% CD-4 (b) - 1% CD-4 (c) - 1% CD-4 (d) - 5% CD-4 (e) - 1% CD-4 (f) - 1% CD-4 (g) - 0,9% CD-4 (h) - 0,8% | CD-4 (d) - 4,77% |
| CD-5 (2) | CD-5 (a) - 0,7% CD-5 (b) - 0,8% | |
| CD-6 (5) | CD-6 (a) - 5% CD-6 (b) - 5% CD-6 (c) - 5% CD-6 (d) - 5% CD-6 (e) - 0,8% | CD-6 (a) - 8,86% |
| CD-7 (1) | CD-7 - 5% | CD-7 - 6,78% |
| CD-8 (1) | CD-8 - 5% | CD-8 - 2,40% |
| CD-9 (1) | CD-9 - 5% | CD-9 - 2,50% |
| CD-10 (3) | CD-10 (a) - 0,7% CD-10 (b) - 0,8% CD-10 (c) - 1% | |

| Nº MUESTRA | ANALISIS COLORIMETRICO | ANALISIS QUIMICOS |
|------------|--|---|
| CD-11 (2) | CD-11 (a) - 5% CD-11 (b) - 5% | CD-11 - 10,50% |
| CD-12 (3) | CD-12 (a) - 3% CD-12 (b) - 0,9% CD-12 (c) - 0,8% | CD-12 (a) - 1,05% |
| CD-13 (2)* | CD-13 (a) - 1% CD-13 (b) - 0,9% | CD-13 (a) - 0,28% CD-13 (b) - 0,26% |
| CD-14 (1) | CD-14 - 0,7% | |
| CD-15 (3) | CD-15 (a) - 1% CD-15 (b) - 1% CD-15 (c) - 1% | CD-15 (a) - 1,30% CD-15 (b) - 1,20% CD-15 (c) - 1,25% |
| CD-16 (6) | CD-16 (a) - 0,7% CD-16 (b) - 0,5% CD-16 (c) - 0,4% CD-16 (d) - 0,6% CD-16 (e) - 0,5% CD-16 (f) - 0,2% | |
| CD-17 (4) | CD-17 (a) - 1% CD-17 (b) - 15% CD-17 (c) - 15% CD-17 (d) - 1% | CD-17 (b) - 8,40% |
| CD-18 (1) | CD-18 - 5% | CD-18 - 3,97% |

* Muestras de mano recogidas en la capa

2.- ANALISIS COLORIMETRICOS. MIEMBRO SILICICLASTICO

| Nº MUESTRA | ANALISIS COLORIMETRICO |
|-------------|------------------------|
| CD-18 (bis) | 0,2% |
| CD-19 | 0,2% |
| CD-20 | 0,2% |
| CD-21 | 0,1% |
| CD-22 | 0,1% |
| CD-23 | 0,2% |
| CD-24 | 0,2% |
| CD-25 | 0,2% |
| CD-26 | 0,2% |
| CD-27 | 0,2% |
| CD-28 | 0,2% |
| CD-29 | 0,2% |
| CD-30 | 0,4% |
| CD-31 | 0,4% |
| CD-32 | 0,1% |
| CD-33 | 0,1% |
| CD-34 | 0,2% |
| CD-35 | 0,2% |
| CD-36 | 0,1% |
| CD-37 | 0,1% |
| CD-38 | 0,3% |
| CD-39 | 0,3% |
| CD-40 | 0,2% |
| CD-41 | 0,1% |
| CD-42 | 0,1% |

| Nº MUESTRA | ANALISIS COLORIMETRICO |
|------------|------------------------|
| CD-43 | 0,1% |
| CD-44 | 0,1% |
| CD-45 | 0,2% |
| CD-46 | 0,1% |
| CD-47 | 0,1% |
| CD-48 | 0,1% |
| CD-49 | 0,1% |
| CD-50 | 0,1% |
| CD-51 | 0,1% |
| CD-52 | 0,1% |
| CD-53 | 0,1% |
| CD-54 | 0,1% |
| CD-55 | 0,1% |
| CD-56 | 0,1% |
| CD-57 | 0,1% |
| CD-58 | 0,1% |
| CD-59 | 0,1% |
| CD-60 | 0,1% |
| CD-61 | 0,1% |
| CD-62 | 0,1% |
| CD-63 | 0,1% |
| CD-64 | 0,2% |
| CD-65 | 0,2% |
| CD-66 | 0,1% |
| CD-67 | 0,1% |
| CD-68 | 0,1% |
| CD-69 | 0,1% |
| CD-70 | 0,1% |
| CD-71 | 0,1% |
| CD-74 | 0,1% |
| CD-75 | 0,1% |
| CD-76 | 0,1% |
| CD-77 | 0,1% |
| CD-78 | 0,1% |
| CD-79 | 0,1% |

| Nº MUESTRA | ANALISIS COLORIMETRICO |
|------------|------------------------|
| CD-80 | 0,1% |
| CD-81 | 0,1% |
| CD-82 | 0,1% |
| CD-83 | 0,1% |
| CD-84 | 0,1% |

3.- ESTUDIO PETROGRAFICO

De las muestras que presentan un contenido anómalo en P₂O₅, se han realizado láminas transparentes para su estudio petrográfico, con el fin de definir el tipo de fosfato, los componentes que se encuentran fosfatizados, y como han sido afectados por los procesos diagenéticos.

La relación de las muestras estudiadas y la descripción de los estudios es:

CD-1

| | | | |
|-------------|-----|---|---------------------|
| Dolomía | 53% | | |
| Aloquímicos | | { | |
| | | | Oncolitos 30% |
| | | | Clastos lumpales 3% |
| | | | Bioclastos 2% |

Terrígenos - Limo - 5%

Silicificación - 5% - Afecta a núcleos de oncoformas y a facies terrígenas

Fosfatización - Afecta al 100% de aloquímicos

Minerales de neoformación: Clorita, cloritoide, anfíbol y esfena - 2%.

Proceso de dedolomitización en núcleos de aloquímicos.

Accesorios: Pirita framboidal y materia orgánica dispersa.

Dolomía oncolítica, gravelosa y limosa recristalizada, fosfatizada y silicificada.

CD-2

Sedimento secuenciado.-

Capa de dolomía de grano medio, levemente arenosa, con oncolitos fosfatizados (3 a 30% de aloquímicos) alineados y aplanados según So.

Capa de limos carbonatados, levemente arenosos, con contactos estilolitizados.

Porcentajes promedio:

Dolomía - 75%

Aloquímicos - 14%

Terrígenos - 7%

Minerales de neoformación - 1% (clorita, anfíbol, esfena).

Apatito en cristales euhedrales, tamaño limo grueso 1%.

Silicificación - 2%.

Núcleos de pirita framboidal y materia orgánica dispersa.

Fosfatización afecta al 100% de aloquímicos.

CD-3

Sedimento secuenciado.-

Capa de dolomía con oncolitos y gravels

Capa de limolita levemente arenosa con oncolitos y gravels

Tendencia de los aloquímicos al aplanamiento y lineación - según So.

Porcentajes promedio:

Dolomía - 53%

Aloquímicos - 30%

Terrígenos - 12%

Silicificación - 2%

Minerales de neoformación 1% (clorita, cloritoide, anfíbol)

Apatito en cristales enhedrales de tamaño limo y grueso 2%

Pirita framboidal y materia orgánica dispersa

Fosfatización afecta al 100% de aloquímicos

CD-4

Terrígenos { Limo - 78%
 { Arena- 5%

Aloquímicos - 10% (mayoritariamente tamaño rudita)

Silicificación - 5%

Minerales de neoformación 1% (clorita, mica blanca, cloritoide, anfíbol).

Apatito en cristales euhedrales de tamaño limo grueso arena fina - 1%.

Núcleos de pirita framboidal y matriz orgánica dispersa.

Fosfatización afecta al 100% de aloquímicos.

Limolita arenosa con gravels y oncolitos fosfatizados.

CD-6

Sedimento secuenciado

Láminas de origen algal (estromatolitos) con oncolitos y gravels dispersos. Abundante materia orgánica y calcosilicatos (metamorfismo).

Lámina de limolita levemente arenosa con apatito en cristales euhedrales y fuerte silicificación.

Relación sedimento bioconstruido/Fracción terrígena = 60/35

Minerales de neoformación 5% (clorita, cloritoide, anfíbol, esfena).

Pirita framboidal y materia orgánica.

Fosfatización afecta al conjunto del biohermo y aloquímicos

CD-8

Dolomía - 55%

Aloquímicos { Oncolitos 13%
 { Gravels 1%
 { Bioclastos 1%

Limo - 3%

Silicificación - 27%. Muy fuerte. Afecta a un gran porcentaje de aloquímicos.

La fosfatización afecta a una gran mayoría de los aloquímicos.

Pirita framboidal y materia orgánica dispersa.

Fosfatización afecta al 100% de aloquímicos

Dolomía oncolítica y gravelosa levemente limosa, recristalizada y silicificada.

CD-11

Dolomía - 42%

Aloquímicos { oncolitos 33%
 { gravels 5%
 { bioclastos 2%

Limo - 7%

Silicificación - 10%

Minerales de neoformación 1% (clorita, anfíbol)

Pirita framboidal y materia orgánica dispersa

Fosfatización afecta al 100% de aloquímicos

Dolomía oncolítica y gravelosa con limo, recristalizada y silicificada.

CD-13

Terrígenos { Arena - 30% (tamaño arena media-fina, subangulosa).
 { Limo - 25% (limo fino-grueso subanguloso)
 { Lutita -35%

Silicificación - 10%

Accesorios: Circón, rutilo, mica blanca.

Minerales de neoformación (clorita, cloritoide y anfíbol)

Escasa fosfatización en mancha sobre fracción pelítica a partir de fisurillas y estilolitos (secundaria).

Arenisca limo arcillosa con cemento silíceo

CD-15

Componentes:

Cuarzo, tamaño limo - 25%

Lutita (sericita) - 15%

Accesorios: 2% (M. hierro, circón, rutilo)

Minerales de neoformación:

clorita - 40%

Apatito de cristales euhedrales tamaño limo grueso-arena fina - 3%.

Silicificación - 15%

Origen: Posible roca sedimentaria tipo limolita arcilloso-arenosa metasomatizada.

CD-17

Componentes:

Cuarzo, tamaño limo grueso - 25%

Silicificación - 10%

Accesorios - 1% (circón, rutilo, M. hierro)

Minerales de neoformación:

Clorita - 40%

Anfibol - 5%

Mica blanca - 1%

Esfena - 2%

Apatito - 16%

Posible origen en roca sedimentaria con alternancia de láminas limoso-pelíticas y láminas carbonatadas o mixtas. Se conservan "fantasmas" de oofomas con morfología parecida a los oncolitos carbonatados. Apatito muy abundante.

4.- ESTUDIO BIOESTRATIGRAFICO

Uno de los problemas fundamentales en la investigación se centraba en conocer la posición estratigráfica de los niveles carbonatados con indicios fosfatados, así como del conjunto de la serie detrítica en la que estos niveles están incluidos.

Teóricamente dos posiciones estratigráficas podrían ser adoptadas, o bien estos niveles eran de edad Devónico, o bien infracámbricos, ya que, estratigráficamente, son los dos metalotectos de fosfatos en este sector, dentro de la Cadena Hercínica.

Con objeto de datar estos materiales se tomaron muestras para su estudio palinológico. De estas muestras, las que figuran con las siglas PCD fueron estudiadas en los laboratorios de ENADIMSA, y las de la serie A, cuya posición coincide prácticamente con las PCD, se estudiaron en la U. de Extremadura, por el profesor Teodoro Palacios. En ambos casos el resultado, en cuanto a su valor cronoestratigráfico, ha sido negativo.

Corte de Codos

Muestras analizadas:

| | | | |
|--------|----------|--------|----------|
| PCD-1 | Caliza | PCD-13 | Limolita |
| PCD-2 | Caliza | PCD-14 | Limolita |
| PCD-3 | Caliza | PCD-15 | Limolita |
| PCD-4 | Caliza | PCD-16 | Limolita |
| PCD-5 | Lutita | PCD-17 | Limolita |
| PCD-6 | Lutita | PCD-18 | Lutita |
| PCD-7 | Lutita | PCD-20 | Lutita |
| PCD-8 | Caliza | PCD-26 | Lutita |
| PCD-9 | Caliza | PCD-33 | Lutita |
| PCD-10 | Caliza | PCD-47 | Lutita |
| PCD-11 | Caliza | PCD-59 | Lutita |
| PCD-12 | Limolita | PCD-72 | Lutita |

Las muestras han seguido un tratamiento químico, con HCL para eliminar los carbonatos, HF para eliminar silicatos y HCL caliente para destruir los fluoruros de neoformación.

Una vez concluida esta fase, se observó el residuo por el microscopio detectándose abundante materia orgánica, por lo que se procedió a su oxidación con HNO₃ y KCL₃; El tiempo de oxidación se hizo variar entre 5 minutos y 1/2 hora.

Gran parte de la materia orgánica desapareció al filtrar el residuo con una malla de 11 μ m.

En las láminas estudiadas sólo se observó restos de materia orgánica muy carbonizada e indeterminable. Desde un punto de vista palinológico los resultados son NEGATIVOS.

Muestras Serie A

Las muestras han sido tratadas por métodos palinológicos, previo troceo de la misma y ataque con H₂O₂ para conseguir superficies no contaminadas.

El tratamiento consiste en el ataque con ClH y FH concentrados hasta la destrucción total de carbonatos y silicatos. Posteriormente se procede a la eliminación de fluoruros con ClH en ebullición, pasando a continuación al filtrado del residuo a través de tamices de 15 micras. El residuo resultante es de nuevo tratado con NO₃H concentrado con el fin de eliminar ciertos minerales como la pirita. Se procede a un nuevo filtrado y el residuo resultante se concentra por centrifugación, para su posterior montaje en láminas permanentes mediante una resina tipo Epoxi, quedando la muestra lista para su observación al microscopio.

Las muestras tratadas pertenecen en su mayor parte a calizas, muchas de las cuales han sufrido recristalizaciones. El contenido en materia orgánica es elevado, denotándose en muchas de ellas presencia de pirita, que se hace más patente en los residuos resultantes. Sólo dos de las muestras pertenecen a materiales detríticos (A-9 y A-10). Como tónica general las muestras suelen estar bastante afectadas por la tectónica.

A-1

Calizas negras

El residuo está constituido por abundante materia orgánica diseminada que desaparece en gran parte al realizar la filtración.

- Vesículas esféricas fuertemente corroidas y de color negro, muy escasas.

No permiten dataciones bioestratigráficas

A-2

Caliza de tono gris oscuro con cierto contenido en terige-
nos.

Materia orgánica diseminada que desaparece al filtrar.

Negativa

A-3

Calizas negras

Similar a la anterior

Negativa

A-4

Caliza negra algo recristalizada

Similar a las anteriores

Negativa

A-5

Caliza negra algo recristalizada

Abundante materia orgánica que desaparece al filtrar en su
mayor parte

Materia orgánica diseminada escasa

Negativa

A-6

Caliza negra algo recristalizada con abundante pirita

Similar a la anterior

Negativa

A-7

Caliza negra de grano fino

Abundante materia orgánica que desaparece casi en su totalidad al filtrar.

Materia orgánica escasísima

Negativa

A-8

Caliza negra con niveles clásticos o ¿bioclásticos?

Materia orgánica diseminada

Negativa

A-9

Limolita compacta de tonos grises

Escasa materia orgánica

Negativa

A-9

Limolita compacta de tonos grises

Escasa materia orgánica

Negativa

A-10

Lutitas de color gris oscuro afectadas por la esquistosidad

Materia orgánica abundante

- Vesículas esféricas negras

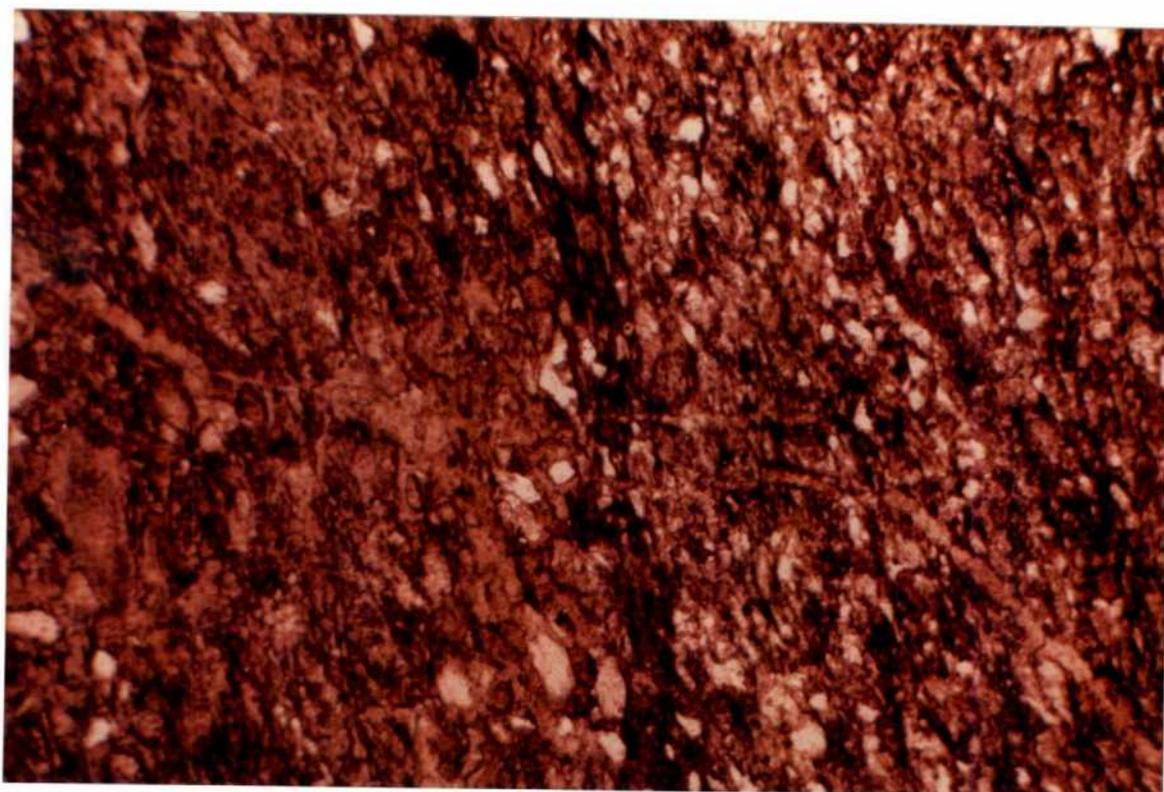
No permiten dataciones bioestratigráficas

CONCLUSIONES

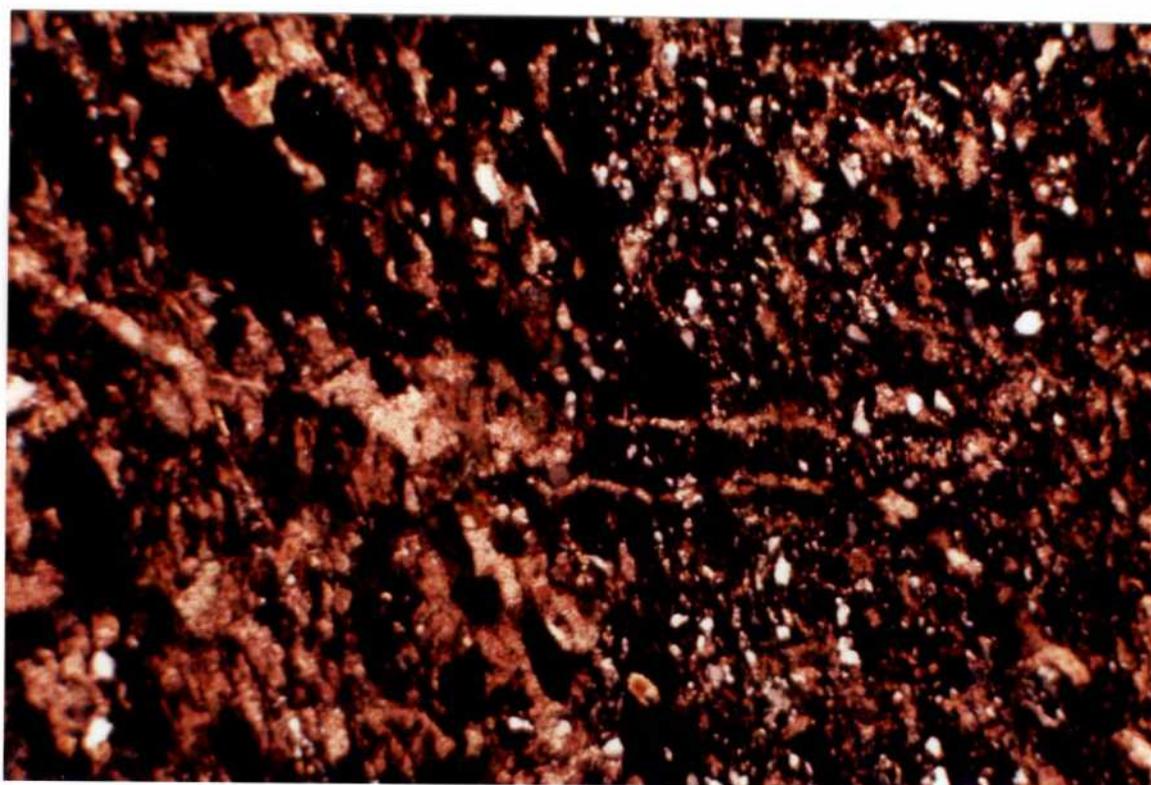
Los escasos microfósiles encontrados, dada su conservación, no permiten dataciones bioestratigráficas. La corrosión por la que están afectados los mismos es indicadora de un medio reductor. Asimismo, el color de los restos encontrados indican ya un cierto grado de metamorfismo.

ANEXO II

FOTOGRAFIAS LAMINAS TRANSPARENTES

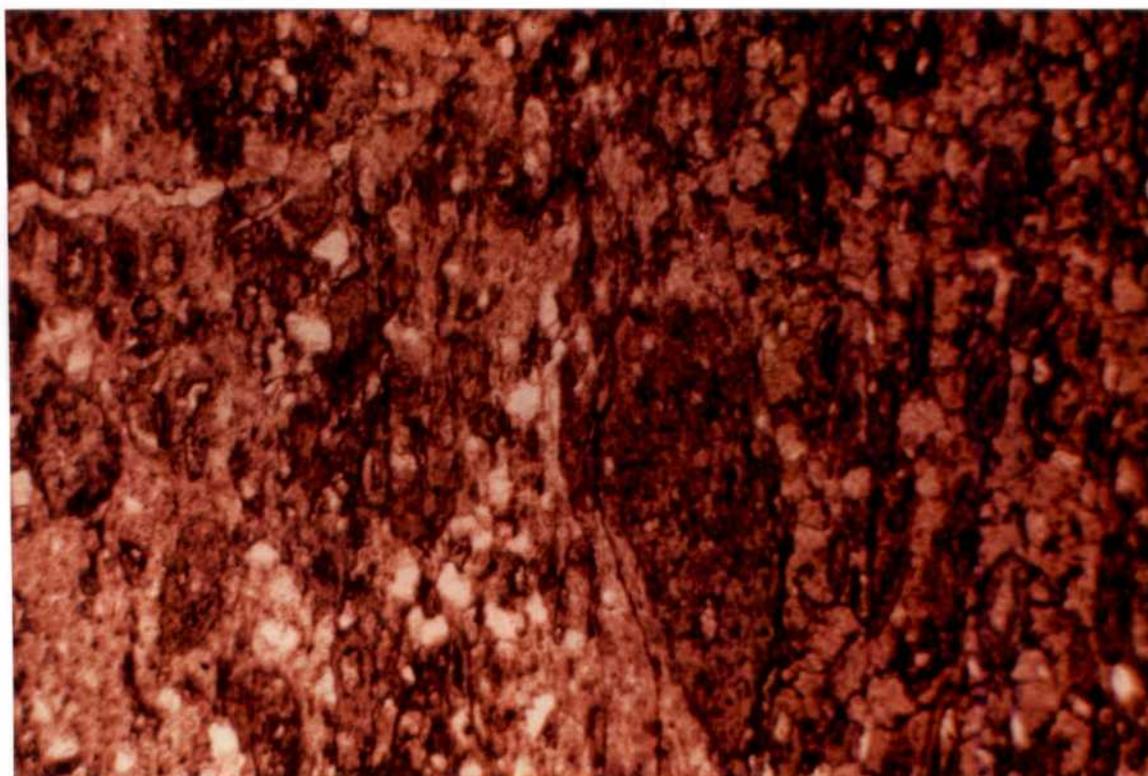


Muestra CD-2. (Foto 1) (1,25x2,25x4)



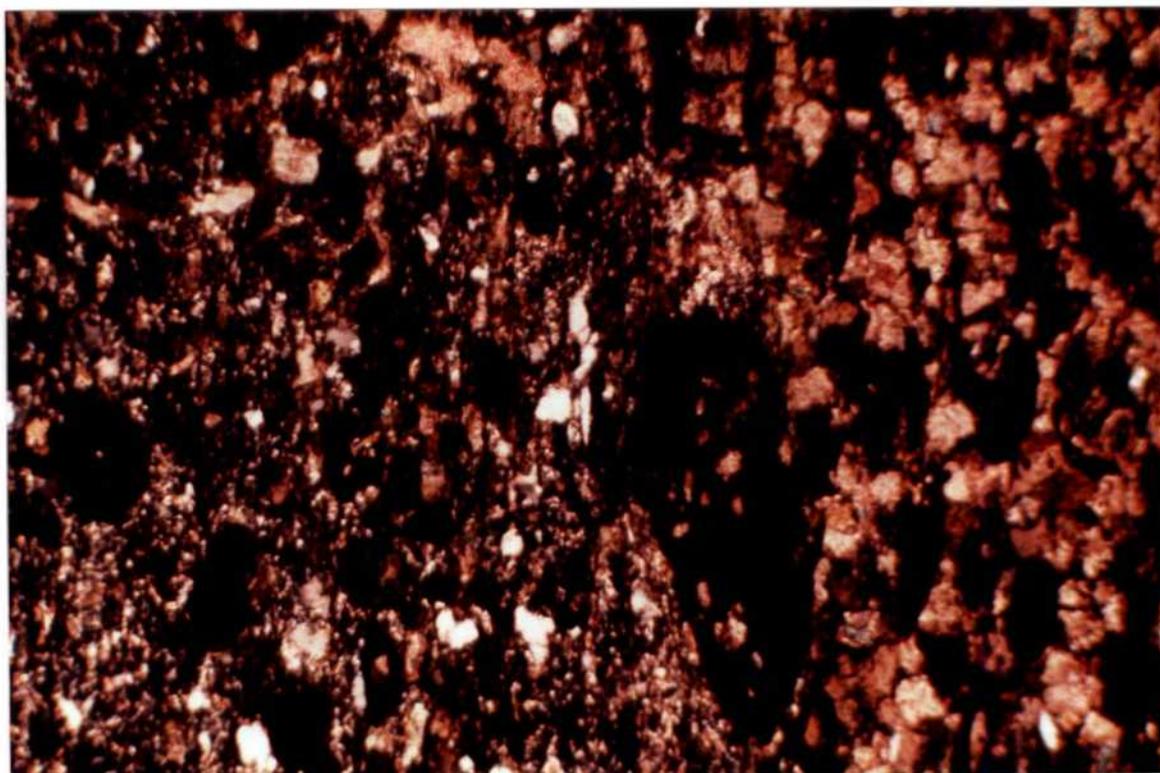
Muestra CD-2. (Foto 2) con nicoles cruzados. (1,25x2,25x4)

Muestra CD-2. - Sedimento secuenciado. Láminas de caliza dolomitizado de grano medio con oncofor mas fosfatizadas, elongada y alineadas según S_0 y lámina de limos arenosos con cemento carbonatado dolomítico y fosfatado. Contacto entre láminas estilolitiza do.



Muestra CD-3. (Foto 3)

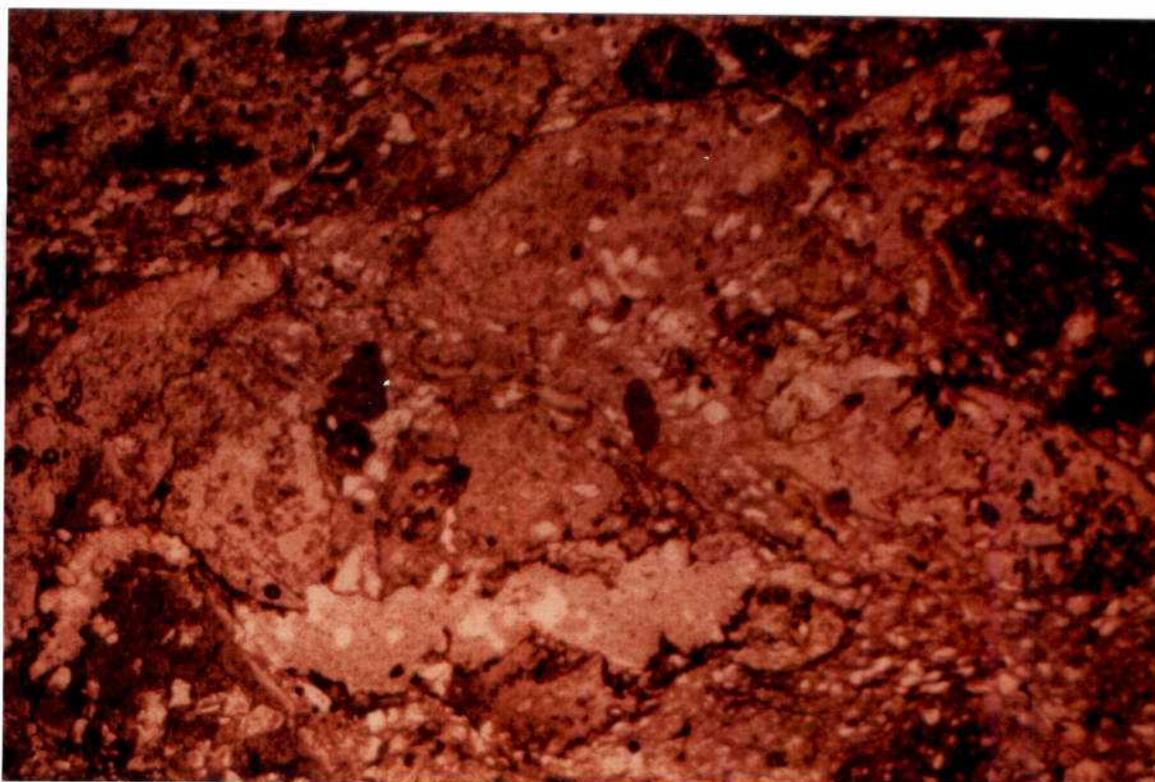
(1,25x2,25x4)



Muestra CD-3. (Foto 4) con nicoles cruzados.

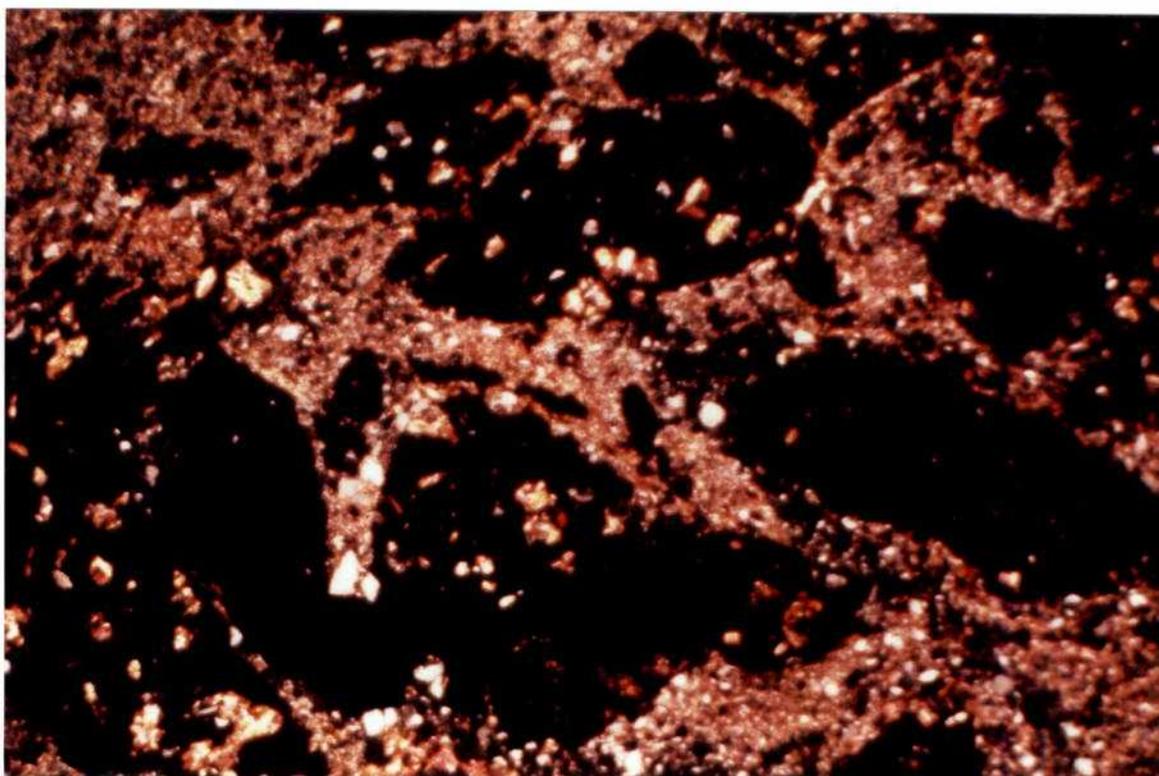
(1,25x2,25x4)

Muestra CD-3.- Sedimento secuenciado. Lámina de calizas dolomíticas con oncolitos y gravels fosfatizados, lámina de limolitas arcillosas con abundantes oncolitos y gravels fosfatizados y fragmentos de bioclastos.



Muestra CD-4. (Foto 5)

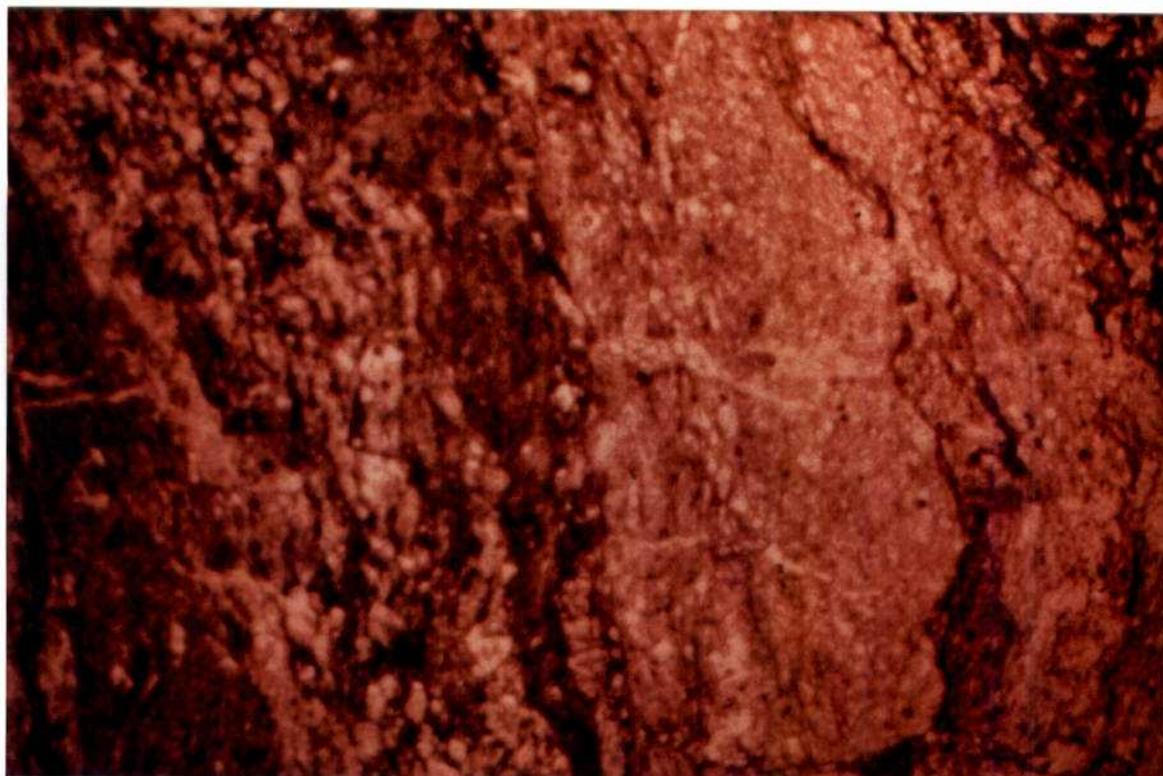
(1,25x2,25x2,5)



Muestra CD-4. (Foto 6) con nicoles cruzados.

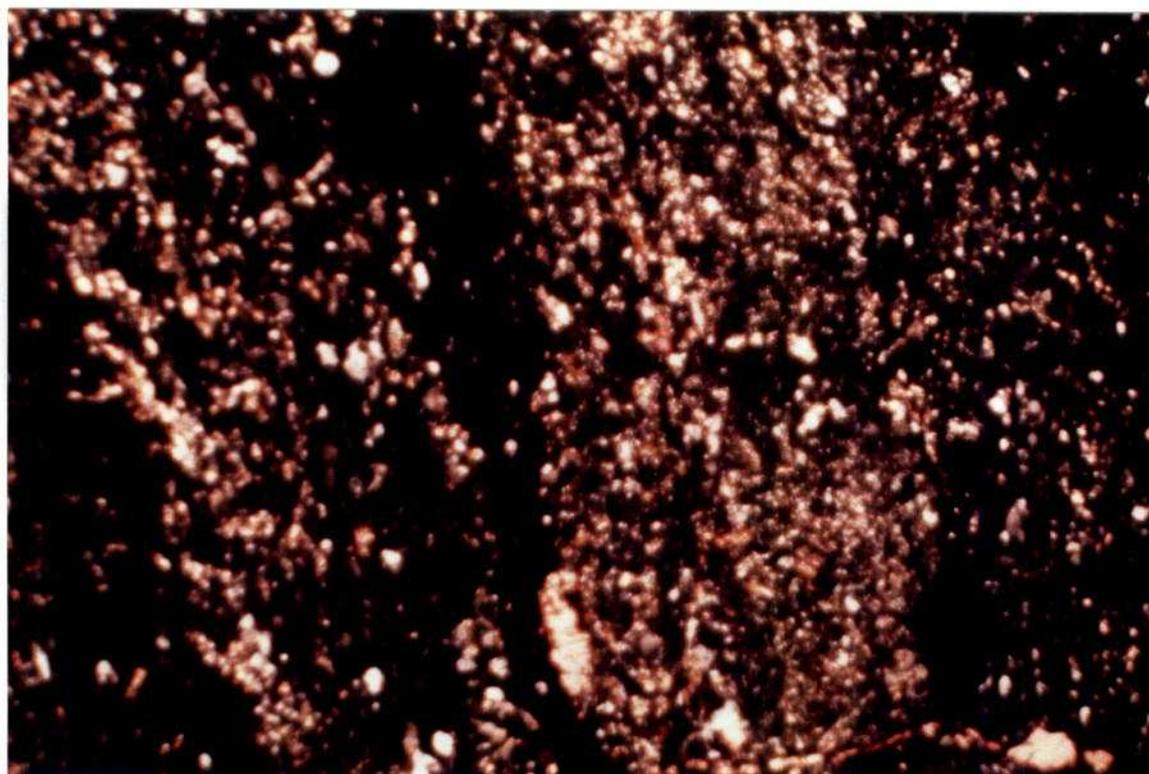
(1,25x2,25x2,25)

Muestra CD-4.- Limolita arenosa con gravels y clastos lumpales fosfatizados tamaño arena gruesa -
- grava fosfatizados.



Muestra CD-6. (Foto 7)

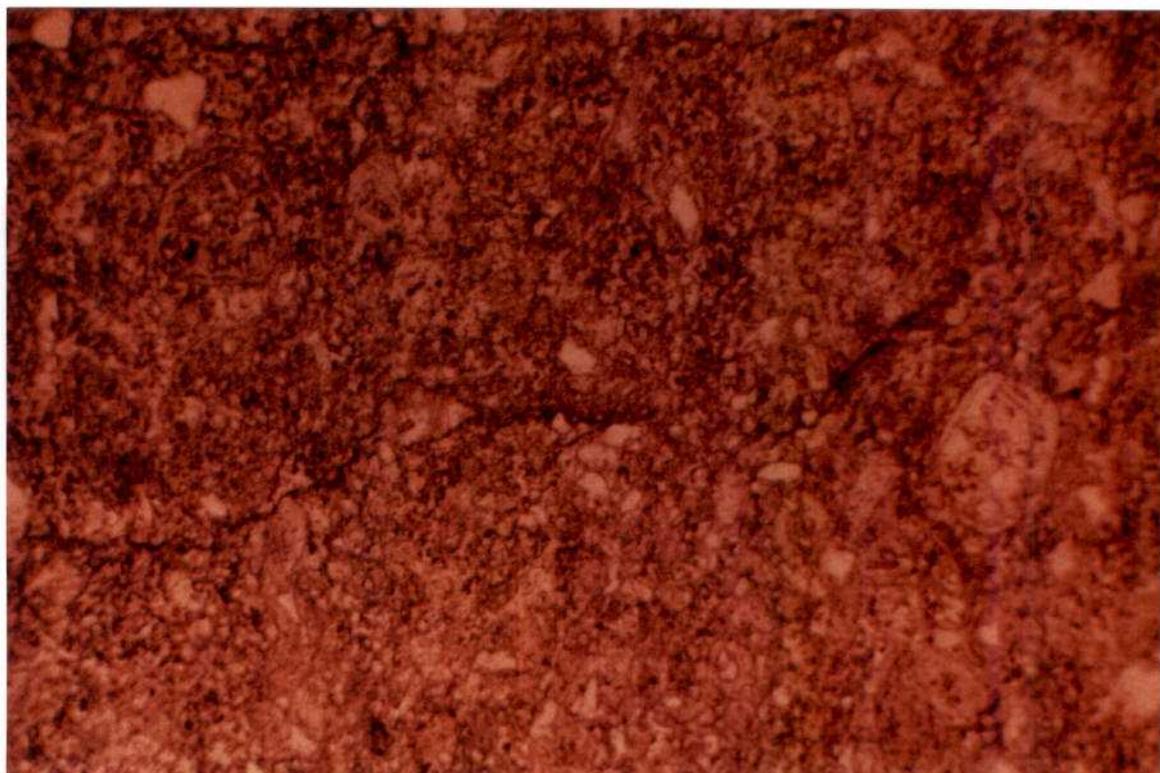
(1,25x2,25x2,5)



Muestra CD-6. (Foto 8) con nicoles cruzados.

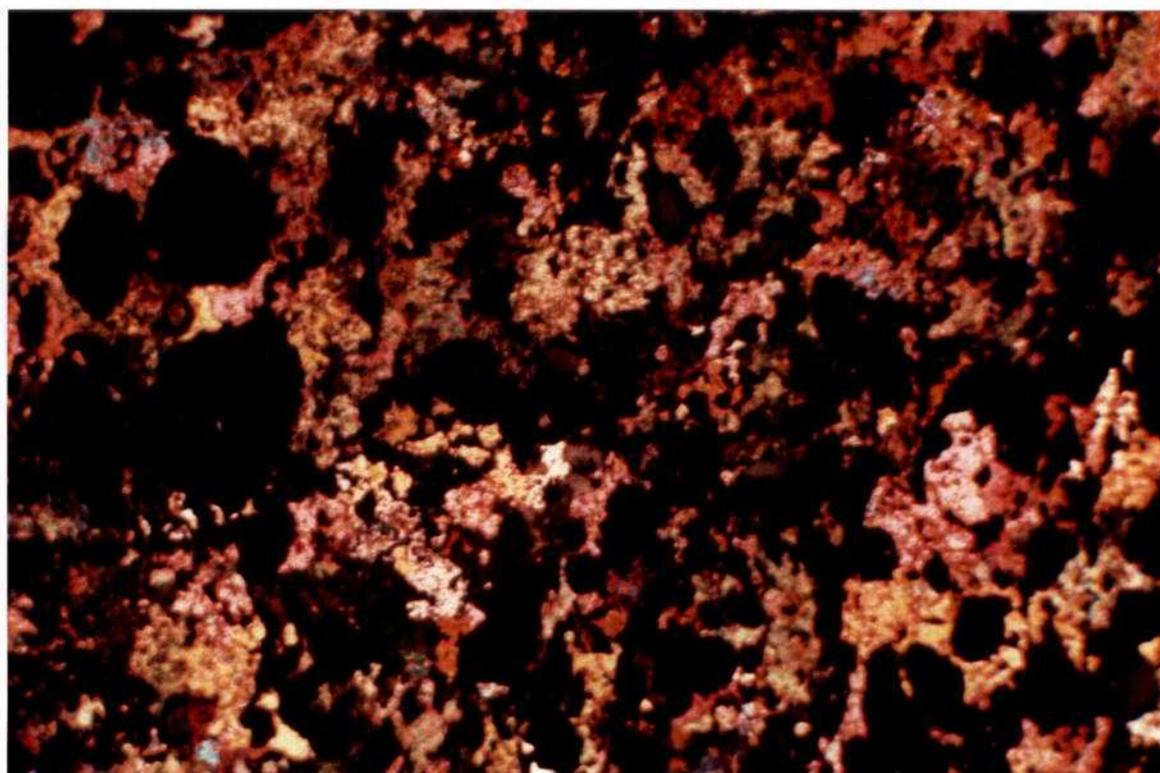
(1,25x2,25x2,5)

MUESTRA CD-6.- Sedimento secuenciado. Lámina de posible génesis algal (estomatolitos) con oncolitos y gravels fosfatizados y lámina de limolita arenosa con fuerte silicificación y granos de apatito euhedral.



Muestra CD-11. (Foto 9)

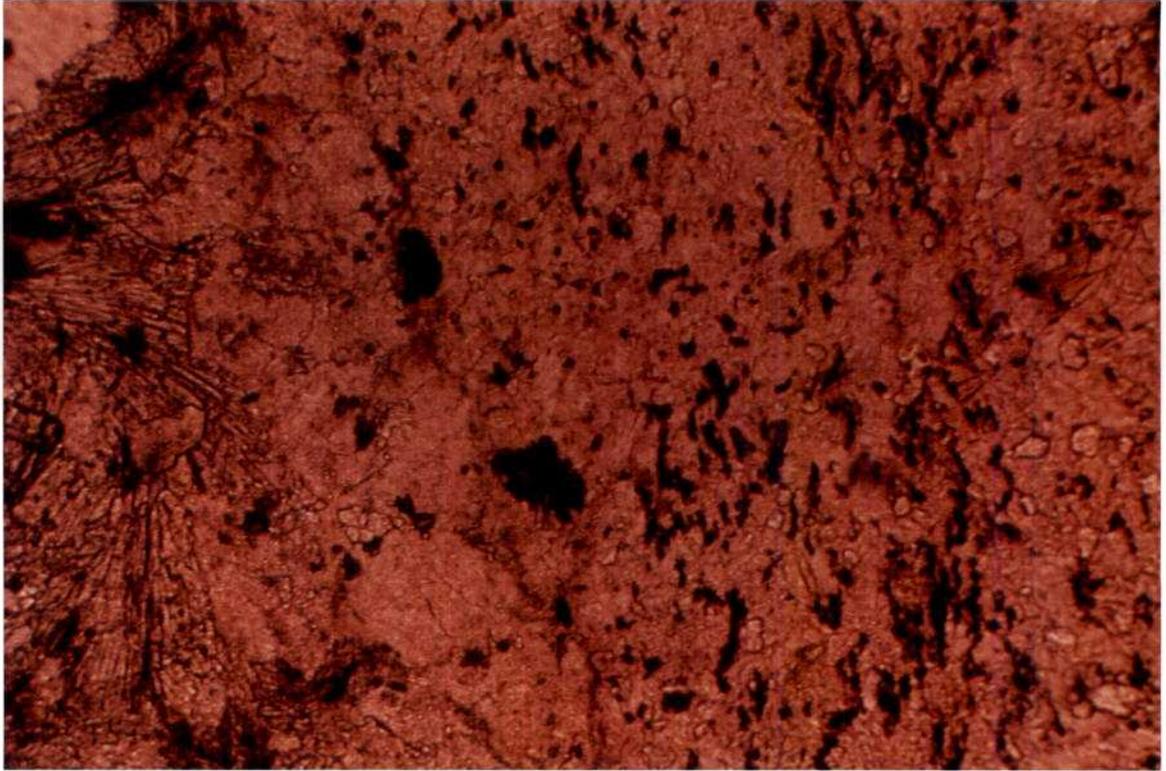
(1,25x2,25x2,5)



Muestra CD-11. (Foto 10) con nicoles cruzados.

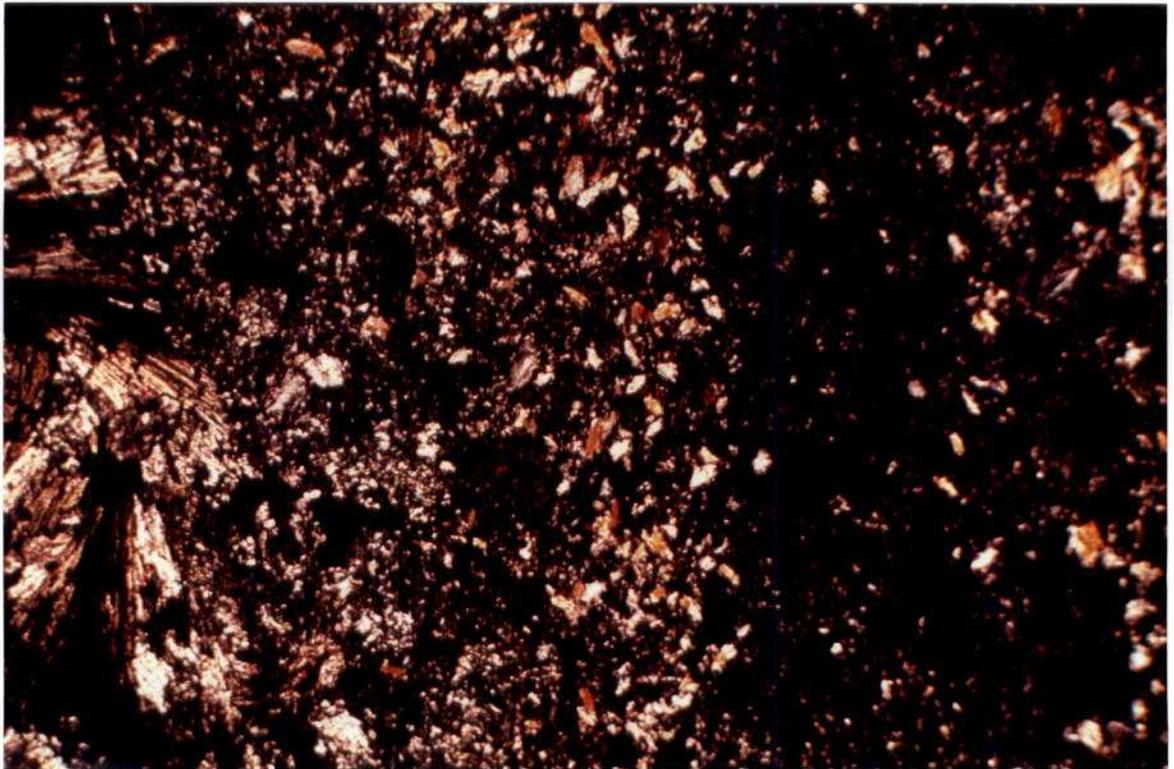
(1,25x2,25x2,5)

MUESTRA CD-11.- Dolomia con oncolitos y gravels levemente arenoso-limosa, silicificada y recrystalizada. Oncolitos y gravels fosfatizados.



Muestra CD-17. (Foto 11)

(10x2x1,25)



Muestra CD-17. (Foto 12) con nicoles cruzados.

(10x2x1,25)

MUESTRA CD-17.- Roca sedimentaria profundamente alterada con alternancia de láminas limoso-pelíticas y láminas carbonatadas o mixtas. Se conservan oofomas fosfatizadas, cristales de apatito, euhedral abundante y rutilo tamaño limo fino grueso.

4.- AREA DE CALATAYUD-LA ALMUNIA

4.1.- INTRODUCCION

4.1.1.- Antecedentes

La existencia de indicios fosfáticos importantes, por su contenido en P_2O_5 , en niveles carbonatados atribuidos al Proterozoico superior, en la zona de Codos (Cordillera Ibérica) aconsejó el reconocimiento del área precámbrica de Calatayud situada al W de la anterior y que podría formar parte de la misma unidad. Con estos antecedentes, y con el fin de investigarlos convenientemente, se propuso la petición de un permiso de exploración, sobre el que realizar una serie de labores previas de investigación geológico-minera.

Este informe recoge los resultados obtenidos en estos trabajos.

4.1.2.- Objetivos y trabajos realizados

El objeto de los trabajos programados era el reconocimiento de la superficie ocupada por los materiales precámbricos, estableciendo sus relaciones con el Cámbrico suprayacente. Para ello se ha realizado una cartografía y levantamiento de columnas estratigráficas detalladas, muestreándose todos los niveles en cada una de las zonas para su posterior análisis. Se estudió también las características sedimentológicas

y petrográficas. Con este fin se han realizado las actividades siguientes:

- Restitución fotogramétrica de un área de 10.000 Ha, a escala 1:25.000.
- Cartografía geológico-minera a escala 1:25.000 de un área de 7.000 Ha.
- Columnas estratigráficas y estudio sedimentológico con levantamiento de 1.092 metros de columna estratigráfica a escala 1:100, reconociéndose las diversas estructuras de ordenamiento interno, análisis secuencial, etc.
- Análisis colorimétricos, sobre un total de 774 muestras, realizándose los análisis por el método SAHIHO.
- Con el fin de caracterizar petrográficamente los materiales, se realizaron desmuestres para lámina transparente, que posteriormente fueron estudiadas. El número de láminas estudiadas fue de 40.
- Con el objeto de determinar la edad de estos materiales se realizaron estudios bioestratigráficos (paliología) de 10 muestras.

4.1.3.- Situación geográfica y encuadre geológico regional

El área estudiada comprende los materiales precámbricos, que se disponen en una franja de dirección NNO-SSE que recorre la parte Sur de la Hoja 1:50.000 de Illueca (381) la esquina

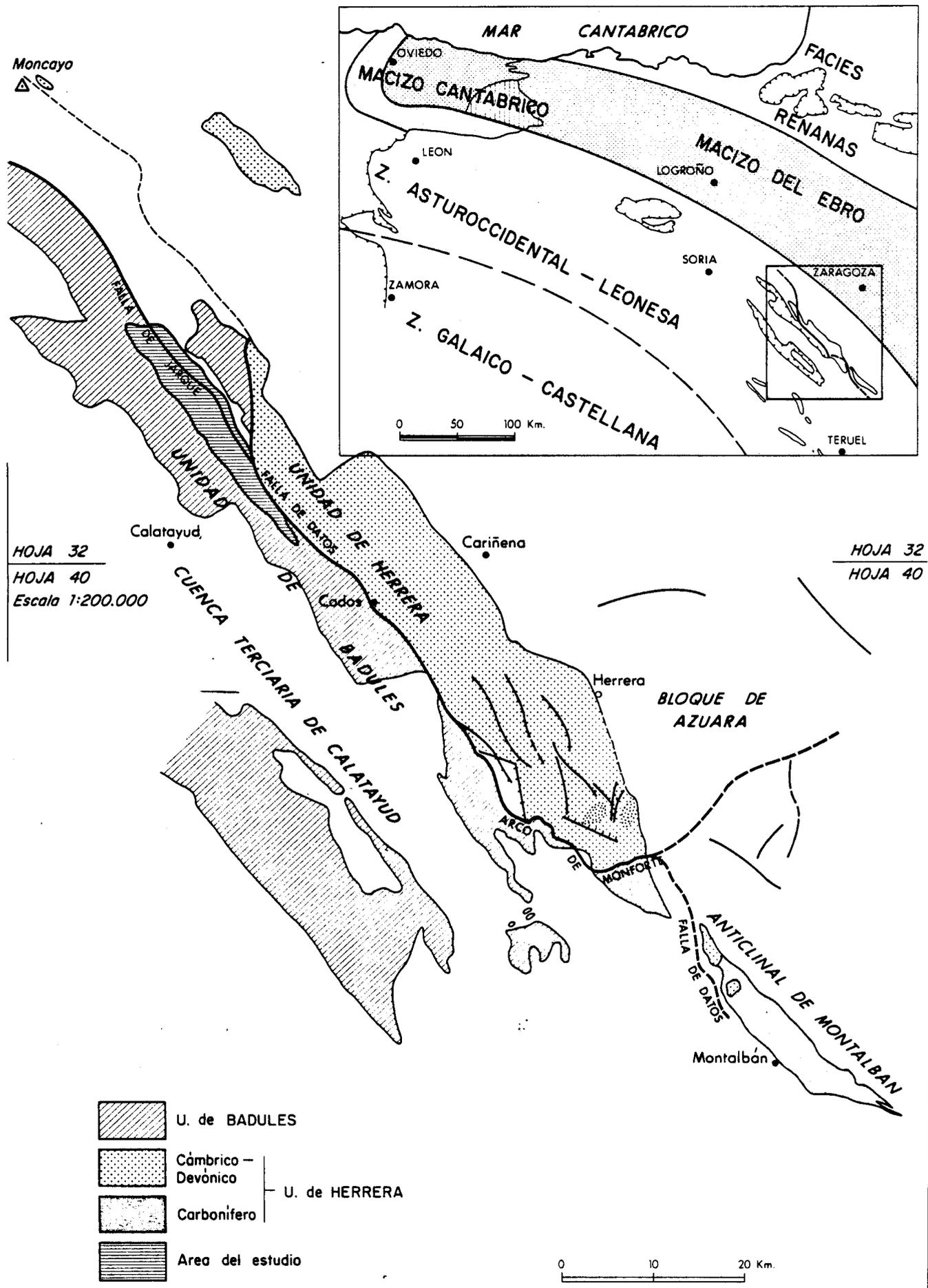


Fig. 4.1-ESQUEMA DE SITUACION DEL AREA ESTUDIADA

NE de la de Calatayud (409) y finaliza en un pequeño apéndice en la parte oeste de la 410 (La Almunia de Dña. Godina).

La zona se sitúa en la Unidad de Badules de la rama aragonesa de la Cordillera Ibérica, dentro de la zona Astur-occidental-Leonesa, tal como se puede apreciar en el esquema adjunto de la Fig.4.1.

4.2.- ESTUDIO GEOLOGICO-MINERO

En el área afloran materiales pertenecientes al Precámbrico, Cámbrico inferior y Triásico. En este estudio, se define fundamentalmente las características de los materiales precámbricos, describiéndose someramente los pertenecientes al Cámbrico Inferior y Triásico, que solo fueron reconocidos para delimitar el área de estudio que nos interesa.

4.2.1.- Estratigrafía

4.2.1.1.- Precámbrico

Se atribuyen a esta edad una sucesión de materiales denominados por Lotze "pizarras de Paracuellos" que afloran bajo la discordancia de las cuarcitas cámbricas de Bámbola.

Se presenta como una serie monótona constituida por lutitas con proporción variable de componentes limoso-arenosos, con colores de gris oscuro a gris verdoso y meteorizaciones pardo violáceas; las superficies de exfoliación son más o menos satinadas.

Como minerales principales presentan: cuarzo, clorita, plagioclasa y opacos, y, como accesorios detríticos: rutilo, circón y turmalina. Se aprecia un metamorfismo incipiente

(recristalización de cloritas y estiramiento de cuarzos) que correspondería a la facies de los esquistos verdes.

La dificultad para establecer tramos estratigráficos correlacionables en base a variaciones litológicas, así como la complejidad estructural presente, no permite dar una potencia exacta de la serie. Utilizando como referencia los cortes estructurales y de detalle para su estimación, se puede establecer en unos 600 m como mínimo.

El único nivel guía que se ha podido determinar está constituido por una banda de sílex negro, localizada y cartografiada en la parte meridional del área de estudio. Por desgracia no ha sido posible reconocerlo más al NO, a pesar de que al E de Saviñán, en las cercanías del contacto con el Cámbrico y en la teórica extrapolación del nivel, se han encontrado cantos sueltos de una roca semejante, insinuando una posible proximidad.

El ambiente general de depósito debe ser el de una extensa plataforma somera con ligeras oscilaciones dentro de un nivel de muy baja energía.

4.2.1.2.- Cámbrico Inferior

En contacto con Precámbrico, bien mediante discordancia, bien por falla, aparece generalmente su término inferior de cuarcitas de Bámbola. Puntualmente, y siempre por medio de contacto mecánico, pueden aparecer términos algo más altos, como son las "Capas de Embid" o las "Capas de Jalón".

- Cuarcitas de Bámbola

Yacen mediante discordancia sobre el Precámbrico. Los

niveles más bajos los constituyen bancos gruesos de cuarcitas blancas con cantos de cuarzo, de hasta 5 cm, que presentan estructuras canalizadas, destacando los "lags" con carácter erosivo. El tamaño de grano de los términos secuenciales disminuye hacia techo, pudiendo aparecer niveles lutíticos (a veces relativamente próximos al muro). La megasecuencia, igualmente es de carácter positivo y su desarrollo es de unos 400 m de potencia.

Aunque no era objeto de estudio en el presente proyecto, integrados en los cortes correspondientes del Precámbrico se tomaron varias muestras de los niveles blandos intercalados hacia la base (FC-1 a FC-4), de las que una, como excepción a toda la zona, dió un contenido en P_2O_5 algo superior al 1%.

- Capas de Embid

Sobre el tramo anterior yace concordantemente una serie de unos 280 m que se caracteriza por la alternancia de areniscas y limolitas compuestas por cuarzo y plagioclasa con matriz clorítico-sericítica, que destaca, por sus colores verdosos, de los blancos de la cuarcita de Bámbola.

Especialmente, aparece este tramo, limitando, mediante contacto mecánico al Precámbrico, en el flanco NE del anticlinorio.

- Capas de Jalón

Como límite del Precámbrico, solamente se ha reconocido en el flanco NE del anticlinorio, en el Puerto del Frasnó, siendo su contacto de tipo mecánico.

Está constituido por limolitas calcáreas más o menos

arenosas y dolomías en las que se hizo un pequeño desmuestre (FR-1 a FR-6) con resultado negativo.

4.2.1.3.- Triásico

No tiene mayor interés para nuestro objetivo que el de su reconocimiento para establecer los límites del área de estudio.

Mediante contacto mecánico con el Precámbrico y Cámbrico, entre Gódor y alrededores de Morés, puede aparecer en cualquiera de sus tres facies: (arenosa, carbonatada y arcillosa) que son fácilmente detectables por su litología y predominio de colores rojizos.

4.2.1.4.- Plio-Cuaternario

Se atribuyen a esta edad unos restos de glacias constituidos por para y ortoconglomerados con bolos y cantos de cuarcita y caliza dentro de una matriz arcillosa rojiza.

Deben ser los relictos de las principales salidas de carácter torrencial del drenaje del alto relieve cámbrico occidental que darían depósitos de raña hacia la depresión precámbrico-triásica del NE.

4.2.1.5.- Cuaternario

Se han atribuido a esta edad los materiales detríticos de carácter fluvial de las terrazas y cauce de la red de drenaje actual, en la que destaca el río Jalón.

4.2.2.- Tectónica

El área de estudio se encuentra emplazada dentro de la Unidad de Badules perteneciente a la rama Oriental o Aragonesa de la Cordillera Ibérica.

4.2.2.1.- Tectónica regional

Es de aceptación general que el área de estudio ha sido afectada al menos por dos orogenias: la hercínica y la alpina. De forma más controvertida se puede también aceptar la presencia de movimientos assínticos que exclusivamente afectarían a los materiales precámbricos.

4.2.2.1.1.- Movimientos assínticos

Se ponen de manifiesto por la clara discordancia existente entre la cuarcita de Bámbola y los materiales del Precámbrico previamente verticalizados en la fase assíntica.

Los criterios que se exponen como argumento para evidenciar su existencia son tanto de índole estratigráfica como estructural.

Los primeros se refirieron, ya, en el apartado 4.2.1.2. correspondiente al Cámbrico, tratándose aquí exclusivamente los estructurales, que son según las observaciones realizadas en este área, y más detalladamente en la próxima de Codos, los de no conformidad entre las líneas estructurales marcadas en el Precámbrico y los niveles basales del Cámbrico, particularmente su contacto cuando no hay signos de mecanización.

La disarmonía entre el plegamiento de las cuarcita de Bámbola y las pizarras infrayacentes se ha evidenciado

tras haber realizado un estudio comparativo de distribución de polos, tanto de la estratificación como de los ejes de pliegues y lineaciones de intersección en que es clara la falta de coincidencia entre ambas formaciones.

Esta disarmonía solamente atribuible a una discordancia se explica invocando a qué, previamente al depósito de las cuarcitas de Bámbola y, por tanto, de su acortamiento por plegamiento, el Precámbrico infrayacente ya hubiese sufrido un giro de más de 45° respecto a la horizontal. Así se compensaría en los materiales del infrayacente la deformación de plegamiento de las cuarcitas por la de aplastamiento, dando lugar a una esquistosidad, generalmente coincidente con la estratificación So.

4.2.2.1.2.- Orogenia hercínica

Durante esta orogenia los materiales precámbricos y paleozoicos del área de estudio han sufrido tres fases sucesivas de deformación con grado de penetratividad diferente que, en general, están admitidas para la Zona Asturoccidental-Leonesa.

4.2.2.1.2.1.- Primera Fase

Las estructuras originadas en esta fase son consecuencia de una deformación progresiva en que se pueden distinguir sucesivamente las tres etapas siguientes:

- 1ª etapa. Plegamiento por "buckling", en que se generan pliegues de amplio radio de dirección NNO-SSE a NO-SE, verticales o con vergencia al NE, pertenecientes a la clase 1 B de Ramsay. El flexodeslizamiento entre capas competentes-incompetentes, quedaría marcado por estriás perpendiculares

a la dirección de los ejes de pliegue.

- 2ª etapa. Aplastamiento, donde los pliegues originados en la etapa anterior evolucionarían a paralelos aplastados. Simultáneamente se desarrollará la esquistosidad y un metamorfismo incipiente.

La esquistosidad es de plano axial en los pliegues precisados y, por tanto, de su misma dirección, y alto buzamiento. En las pizarras precámbricas se manifiesta como de flujo, mientras que en los conglomerados y cuarcitas del Cámbrico es de fractura.

El débil metamorfismo observado en las pizarras precámbricas es de tipo bajo a muy bajo (facies de illita y clorita), coincidiendo en el tiempo con la generación de la esquistosidad.

- 3ª etapa. Acortamiento, que tiene lugar por mecanismo de flexodeslizamiento en que aparecen estrías con dirección paralela a los pliegues en la zona de charnela de estos. Esta deformación no es coaxial con las etapas anteriores y daría lugar a movimientos sinestrales de cizalla.

En esta etapa final se finaliza con las deformaciones de tipo dúctil, pasándose a las de tipo frágil con las estructuras propicias para el desarrollo de las fallas inversas y cabalgamientos de la segunda fase.

4.2.2.1.2.2.- Segunda fase

Se forman las fallas inversas y cabalgamientos preferentemente en los flancos orientales de los pliegues de la fase anterior. Presentan igual dirección, NO-SE, que dichos pliegues, con buzamientos altos hacia el SO.

El problema para la identificación de las estructuras de esta fase es que aparte de haber sido activas en las fases tardi-hercínicas, con emplazamiento en diques y rocas volcánicas, han rejugado durante los movimientos alpinos. Además, en esta zona, no se observa la presencia de pliegues o esquistosidad correspondientes a esta fase de deformación.

4.2.2.1.2.3.- Tercera fase

Durante esta fase se generan pliegues de dirección E-O a NO-SE con planos axiales verticales o vergentes al N, y también, en las capas incompetentes, una esquistosidad de crenulación, observada localmente, que se origina por interferencia con la preexistente de la fase primera.

4.2.2.1.2.4.- Distensión generalizada

Tras las tres fases de plegamiento anteriormente descritas, que tienen lugar entre el Carbonífero Inferior y el Superior, comienza una etapa de distensión generalizada en que la primacía de los movimientos horizontales va a ser sustituida por los epirogénicos, enlazando así con la orogenia alpina.

4.2.2.1.3.- Orogénia Alpina

Desde el Triásico hasta el Cenomanense la zona está sujeta a la fase kimmérica de distensión en la que predominan los movimientos verticales, configurándose el umbral de Ateca y la fosa de Cameros según las fracturas previas del zócalo hercínico.

Posteriormente tienen lugar las etapas compresivas que pliegan la cobertera mesozoica. Se trata fundamentalmente de las fases pirenaicas y sábrica. La primera; a favor del

zócalo fragmentado según fallas longitudinales NO-SE, esboza las cuencas terciarias del Ebro y Calatayud, que se configurarán definitivamente durante la fase Sávica, etapa principal del plegamiento alpino.

Los materiales paleozoicos constituidos como bloques rígidos continúan su rejuego, respondiendo a los esfuerzos compresivos de estas fases, con la formación de "horsts" con planos estructurales de vergencia NE, que a veces llegan a cobijar la cobertera mesozoica.

Por su parte esta cobertera, teniendo en cuenta que reposa sobre la "almohadilla" triásica, responde normalmente con pliegues de carácter gravitacional, disarmónicos con los del zócalo.

Hay que reseñar una última fase distensiva en que se producen fallas de gravedad y reajustes de bloques a partir del Mioceno.

4.2.2.2. Estructuras locales

Los materiales del Precámbrico del área de estudio se disponen en el núcleo de una estructura algo compleja que se puede definir como un anticlinorio marcado fundamentalmente por la cuarcita de Bámbola, base del Cámbrico Inferior, con dirección general NO-SE. Esta estructura se ubica dentro de la unidad tectónica de Badules, justamente al Sur de la falla de Datos (límite con la U. de Herrera).

Los elementos estructurales observados responden, en general, a los descritos en el apartado de tectónica regional, aunque la mayoría de las veces las directrices alpinas por su coincidencia con las hercínicas enmascaran estas últimas cuando no es posible comprobar la implicación de materiales

mesozoicos o terciarios. En definitiva se han agrupado como sigue:

4.2.2.2.1.- Fallas inversas de dirección NNO-SSE y NO-SE

A este tipo pertenecen las fallas de ámbito regional de Jarque y Datos cuya presencia en la parte norte de la cartografía permite establecer en esta zona, mediante sucesivas digitaciones, el releve de una a otra y, por tanto, concluir que se trata de un mismo accidente.

Si está claro su juego en la orogénia hercínica, con cabalgamientos entre materiales paleozoicos a favor de las "capas de Jalón" como nivel de despegue, no es menos evidente su posterior juego en la alpina en que se originan, durante las etapas de máxima compresión, pliegues apretados de vergencia NE y nuevas cobijaduras, en esta dirección, de los materiales triásicos por parte de los cambro-precámbricos.

El salto resultante de este importante accidente se estima en unos 1.500 m.

4.2.2.2.2.- Fallas inversas satélites

Se trata de fallas inversas subparalelas a la regional de Jarque-Datos y con características semejantes, salvo que presentan mucha menor entidad en su continuidad y desplazamientos. Se han podido definir en la parte SE del trabajo porque implican el contacto cambro-precámbrico con un claro contraste de litologías, pero ello no niega su posible presencia en la franja exclusivamente precámbrica, donde dicho contraste o el control estratigráfico no existen.

4.2.2.2.3.- Fallas de gravedad

Igualmente que las precedentes, son detectables cuando interesan al contacto cambro-precámbrico, permitiendo observar hundimientos y reajustes de bloques a favor de las fallas prefiguradas en anteriores etapas orogénicas.

Las más importantes tienen dirección que varía entre NNO-SSE y NO-SE, y aunque son importantes para la definición de la actual zona deprimida de Jarque-Morés-Paracuellos, la ausencia de sedimentos propios de las cuencas terciarias adyacentes indican su escasas relevancia.

4.2.2.2.4.- Estructuras de detalle de los materiales precámbricos

Se han considerado las siguientes:

- Esquistosidad S1), por lo general poco marcada, consignándose en el plano su medida en los lugares donde claramente no coincida con la S₀ y generaba efecto de crenulación. Estas medidas han oscilado entre N-S y N 45°E de dirección y los buzamientos muy altos tendiendo a la verticalidad. En el resto se ha considerado las de la estratificación, generalmente con dirección N 135 a 175 E y buzamientos variables hacia el oeste.
- Repliegues con eje de alto ángulo de inmersión, observados puntualmente en las proximidades de los puntos AC 6 y 7 del corte de Acerete y SB 11 y 12 del corte de Savián.

Hay que remarcar que al igual que otras estructuras hercínicas mayores, la esquistosidad ha sido deformada durante la orogenia alpina.

4.2.3.- Historia geológica

Como se describe más detalladamente en el apartado 4.3.4., la Formación Pizarras de Paracuellos (Precámbrico), se había depositado en una plataforma de bajo ángulo que se somerizaba progresivamente pero sin llegar a emerger, en la que el transporte se producía esencialmente por agentes desencadenados por causas meteorológicas (tormentas) que redistribuían los sedimentos de costas siliciclásticas de grano fino con disminución progresiva de tamaño hacia mar abierto, en condiciones estáticas de baja energía costera.

Posteriormente al depósito de la formación "Paracuellos" tiene lugar la discordancia assíntica definida perfectamente tanto por criterios estructurales como sedimentológicos.

Del primer tipo es la falta de coincidencia entre las numerosas medidas de dirección y buzamiento de los niveles precámbricos, especialmente en lugares próximos al contacto con la cuarcita de Bámbola, base del Cámbrico, y esta misma.

Del segundo tipo es la aparición de sedimentos como los conglomerados basales del Cámbrico que presentan estructuras canalizadas erosivas sobre el Precámbrico y litología propia de sedimentos de alta energía.

Ambos hechos, unido a la existencia en las "pizarras de Paracuellos" de pliegues con ejes subverticales que no vuelven a estar presentes en formaciones superiores, vienen a corroborar la existencia, en la zona, de los movimientos assínticos que producen una primera fase de pliegues y un rejuvene

cimiento del relieve con desmantelamiento de las zonas más elevadas y depósitos de un amplio manto de areniscas conglomeráticas.

Posteriormente tiene lugar el depósito del resto de los materiales paleozoicos que se pliegan según estructuras de gran radio con ejes de dirección NO-SE. Cuando cesan los empujes tiene lugar la fracturación de distensión tardihercínica con emplazamiento de rocas intrusivas a su favor y compartimentación en bloques, cuyo juego va a condicionar la sedimentación mesozoica, hasta llegar a la Orogenia Alpina que, en el caso del área estudiada, es la que presenta mayor relevancia, pues sin duda se deben a ella los accidentes tectónicos tales como las fallas inversas de Jarque y la de Datos, así como otras subparalelas a éstas, que ponen en contacto entre sí al Precámbrico con el Paleozoico, y a ambos, con el Mesozoico. Lo mismo que las estructuras hercínicas, estas fallas tienen dirección general NO-SE, y responden a una primera fase compresiva alpina que hace jugar a los bloques anteriormente prejulgados, con desplazamientos hacia el E, generando cataclasitas, especialmente en los contactos mecanizados Cámbrico-Precámbricos.

4.2.4.- Estudio detallado de la Formación Paracuellos (Precámbrico)

Como se ha reseñado en apartados anteriores, el interés fosfatífero hipotético del área de Calatayud-Almunia, se centraba en la similitud de edad con el afloramiento de Codos, descrito en el capítulo 3 de este informe. Así pues todos los estudios realizados han tenido como objeto el reconocer los materiales de la Formación Paracuellos (Precámbrico), por si se localizaban niveles carbonatados semejantes a los del área de Codos.

Así, además de la cartografía de los materiales precámbricos y estudio estructural de los mismos, se realizaron numerosos itinerarios, procurando reconocer todos los afloramientos precámbricos y desmuestarlos de la manera mas representativa posible.

Para estudiar las características sedimentológicas de estos materiales, así como la evolución paleogeográfica de los mismos, se procedió a la realización de 3 columnas estratigráficas detalladas, con el desmuestre consiguiente. Tanto las muestras aisladas como las recogidas en itinerarios o en los cortes de detalle, figuran situadas en el plano geológico.

Las columnas sedimentológicas de detalle (escala 1:100) realizadas ha sido:

- a) Serie del Ferrocarril: La potencia estimada de los sedimentos en esta serie es de 571 m. Se han tomado 327 muestras para colorimetrías y 5 muestras para palinomorfos. Se sitúa en el sector meridional del área cartografiada a lo largo de la línea férrea Madrid-Zaragoza.
- b) Serie de Saviñán: La potencia estimada de los sedimentos en esta serie es de 91 m. Se han tomado 18 muestras para colorimetrías. Se sitúa en el sector central del área de investigación a lo largo de la carretera de Saviñán al Puerto del Fresno.
- c) Serie de la Ermita: La potencia estimada de los sedimentos aflorantes en esta serie es de 429 m. Se han tomado 89 muestras para colorimetría. Se sitúa en las proximidades de la localidad de Sestrica en el sector centro-septentrional.

Dado el carácter esencialmente siliciclástico de los sedimentos aflorantes, el espesor de las series realizadas, su escasa variabilidad litológica y esporádica presencia de estructuras sedimentarias, la metodología empleada ha consistido en una descripción de las secuencias de primer orden que se consideran más representativas, bien por su abundancia o por su singularidad sedimentológica.

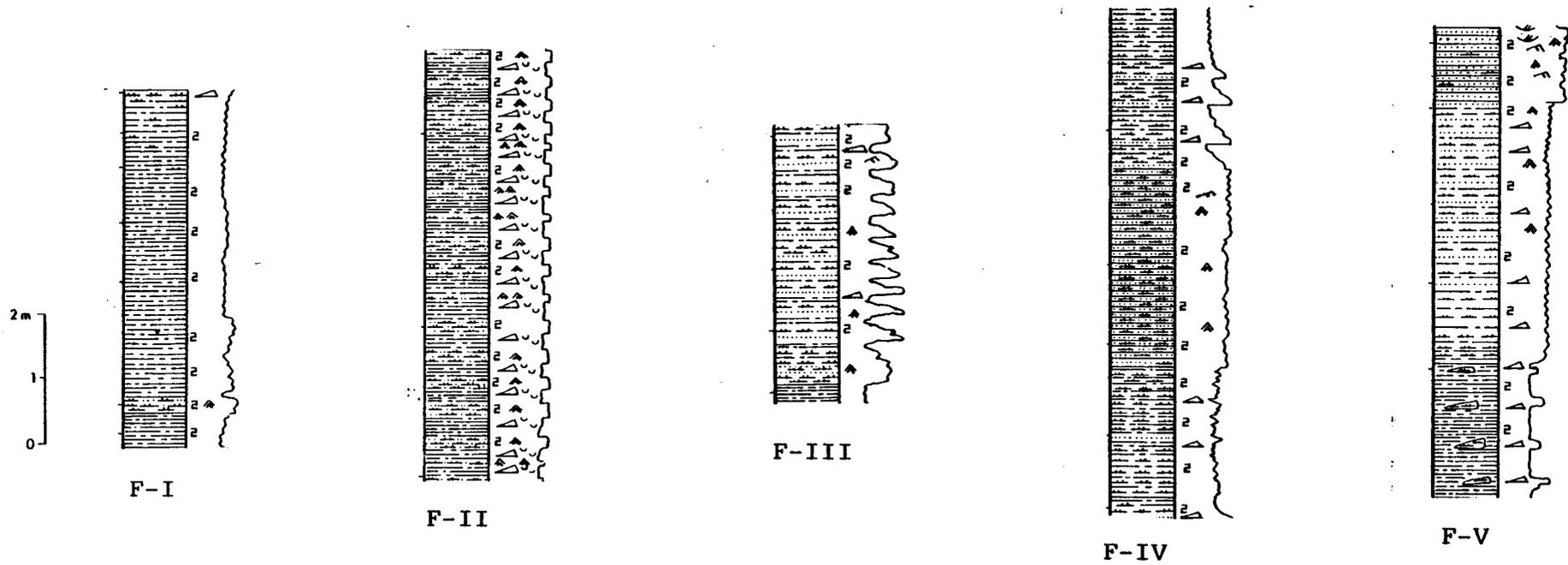
Con posterioridad se realizó un análisis secuencial pormenorizado de las columnas estratigráficas que ha permitido extraer conclusiones paleogeográficas de dicho análisis secuencial, en cuanto a modelos de facies y su evolución en el tiempo y en el espacio.

Así pues, las características sedimentológicas del Precámbrico de Paracuellos pueden resumirse en:

- A Secuencias características

En la fig. 4.2. se esquematizan las secuencias de primer orden extraídas de las columnas estratigráficas, simplificando en algún caso la repetición de secuencias de segundo orden.

F.I.- Esta facies está constituida esencialmente por lutitas negras satinadas ricas en materia orgánica y con núcleos de pirita limonitizados. Presentan un lajeado milimétrico y fractura artillosa. Son muy escasas las intercalaciones en forma de láminas de limo y limo arenoso micáceo de color verde azulado con estructuras "linsen" y esporádicamente ripples de ola ("vawy ripples"). En esta facies se han observado intercalaciones de capas de sílice con espesores de decimétricos a métricos, con laminación paralela y color gris claro-gris oscuro alternante.



Secuencias y megasecuencias características de la Formación Paracuellos

Fig. 4.2.

F.II.- Esta facies está constituida por una monótona alternancia milimétrica a centimétrica de lutitas gris oscuro a gris azulado satinadas, con materia orgánica dispersa y escasos núcleos de pirita limonitizada y limolitas micáceas o limolitas levemente arenoso-micáceas de color gris verdoso con estructuras "linsen-flaser" y ripples de ola milimétricas ("wavy ripples") a techo de las capas. La alternancia litológica motiva un aspecto externo de fino bandeado con lajado y fractura astillosa.

F.III.- Esta facies muestra una alternancia compleja de lutitas, lutitas limosas, limos y areniscas muy finas estructuradas en secuencias centimétricas a decimétricas. El carácter secuencial es alternante con secuencias de aspecto F.U.S. y otras C.U.S. En las capas lutítico-limosas hay un predominio de la laminización paralela y estructuras "linsen-flaser" en tanto que en las arenosas se observa laminación ondulada y ripples de ola. En casos esporádicos se dan ripples de corriente con aspecto de haber sido posteriormente retocados por el oleaje.

El color de los sedimentos varía del gris verdoso a azulado en las capas pelíticas al verde amarillento o pardo en las capas de arena.

F.IV.- Esta secuencia de primer orden muestra una estructuración algo más compleja en la cual pueden diferenciarse al menos tres términos.

El término inferior, está constituido por una fina alternancia de lutitas limosas y limolitas de coloración gris azulada, en las que se intercalan, esporádicamente, finas capas de arenisca. La laminación paralela es la estructura sedimentaria predominante con "linsen" de tamaño milimétrico dispersos.

El término medio, normalmente de espesores métricos a decimétricos, son areniscas muy finas y areniscas limosas, micáceas, en capas centimétricas con laminación paralela, ripples de oscilación y de corriente; en este último caso retocados posteriormente por el oleaje.

El término inferior y medio constituyen una secuencia de segundo orden y carácter C.U.S.

El término superior, a su vez estructurado en secuencias de tercer orden y espesores decimétricos, muestra una constitución litológica con areniscas y areniscas limosas en la base secuencial, en las que se aprecian estructuras de deformación hidroplástica, junto a ripples de ola, y estructuras "linsen", en paso a limolitas micáceas y lutitas de color gris oscuro, a techo de la secuencia.

F.V.- Esta facies, quizás la más abundante cuantitativamente en la en las series realizadas, se estructura en una secuencia de primer orden y carácter C.U.S. con un término inferior constituido por lutita gris azulada, satinadas, con núcleos de pirita limonitizados y "linsen" milimétricos de limolita arenosa de color pardo verdoso. El término medio está constituido por una alternancia milimétrica de areniscas y limolitas micáceas de color gris verdoso, con estructuras de flujo creciente a techo (laminación paralela, "linsen"- "vawy ripples", (ripples de corriente), y esporádicas deformaciones hidroplásticas. El término superior, está constituido por areniscas de grano fino y micáceas en la base, y grano medio a techo, con estructuras de flujo creciente, de "vawy ripples" - ripples de corriente y estratificación cruzada en surco de pequeña a mediana escala en el techo secuencial.

El color de las areniscas varia de gris verdoso a pardo amarillento.

- - Análisis secuencial

Del análisis secuencial realizado en las columnas estratigráficas y que queda reflejado en la Tabla 4.1 pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- a) Puede establecerse una megasecuencia fundamental cuya secuencia de facies es FI-FII-FIII-FIV-FV.
- b) Comparando el análisis secuencial del Corte del Ferrocarril y el Corte de la Ermita, se observa un claro paralelismo a nivel megasecuencial, con un paquete equivalente en potencia y estructuración secuencial en el que se mantiene un acúmulo de FV.
- c) La megasecuencia fundamental, tanto en los tramos de base como de techo, se encuentra normalmente truncada en alguna de sus facies.

Modelos de facies

Como puede deducirse de la composición litológica, estructuración secuencial, esporádica presencia de estructuras sedimentarias mayores y secuencia de fauna (macro, micro e icnofauna), la atribución de modelos sedimentarios a estos sedimentos es, cuando menos, problemática.

Regionalmente y por la presencia de fauna y litologías carbonatadas, se les atribuye a estos sedimentos un origen marino. Aceptando este principio y, dado el rango de las estructuras sedimentarias con ripples de corriente, escasos y retrocados por ola, como exponente del máximo flujo, parece evidente que se trataría de un medio marino con energía débil a moderada.

La litología y estructuración secuencial, unido a lo anterior, nos llevaría a considerar un origen en plataforma siliciclástica protegida (modelo isla barrera-lagoón-llanura de mareas) en la que en ningún caso, se tiene la representación sedimentaria del cuerpo que protegía la plataforma interna, dado que las facies descritas podrían atribuirse a llanuras de marea en la que la FI y FII serían la llanura de marea superior, la FIII la llanura de marea mixta, mientras que en la FIV y FV se tendría una secuencia de facies completas con representación de llanura de marea inferior, mixta e inferior; esta última en los términos de arenas con mayor rango en las estructuras de flujo.

Igualmente podrían atribuirse las secuencias de tipo FI, en las que se intercalan capas silíceas, a depósitos de lagoón, en los que se dan concentraciones en sílice, bien por aporte de aguas continentales frías, ricas en SiO_2 o bien a actividad hidrotermal intracuenca que enriquezca el agua del lagoón.

Esta hipótesis de modelo de facies propuesto, para el conjunto de los sedimentos estudiados, tiene a su favor las litologías, el rango de las estructuras sedimentarias y la estructuración secuencial y megasecuencial, y en su contra la ausencia de una representación litológica de los sedimentos que constituirían el cuerpo sedimentario (isla barrera) que restringe el lagoón y llanura de mareas asociada, aunque puede darse el caso de que en el área de estudio, la serie no llegue a tocar este cuerpo. También es normal la presencia de una fuerte actividad biológica en los sedimentos a los que se atribuye este modelo de facies, hecho que no se observa en las series realizadas. En este supuesto también existe la salvedad de la escasa proliferación de la biofauna durante el Precámbrico Superior, aunque actualmente, y como queda

reflejado en bibliografías recientes, parece constatarse que esta actividad es más intensa de lo que se creía hasta hace pocos años.

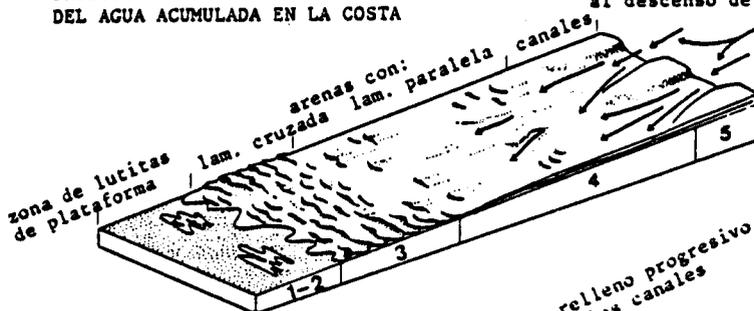
Estos puntos de duda en la atribución del modelo de facies nos lleva a considerar otra hipótesis alternativa, reflejada en bibliografía reciente, para sedimentos sincrónicos a los investigados. Banks (1973, 1980) describe en el Precámbrico Superior de Noruega, para el Miembro Innerelu, con un espesor de 350 a 400 metros, una serie de facies similares a las descritas para el Precámbrico de Paracuellos, tanto en litología como en el rango de estructuras sedimentarias.

Su interpretación sedimentaria se basa en gran medida en las secuencias F.U.S. que se asocian a techo de la FIV, en la unidireccionalidad que se ha medido en las estructuras sedimentarias, y en la ausencia de rasgos que indiquen emersiones periódicas. El modelo que aplica (Fig. 4.3) consiste en una plataforma de bajo ángulo que se somerizaba progresivamente pero sin llegar a emerger, lo cual explica las secuencias C.U.S. de primer orden y las megasecuencias con secuencia de facies (FI-FII-FIII-FIV-FV), en la que el transporte se producía esencialmente por agentes desencadenados por causas meteorológicas (tormentas) que redistribuían los sedimentos de costas siliciclásticas de grano fino con disminución progresiva de tamaño hacia mar abierto, en condiciones estáticas de baja energía costera.

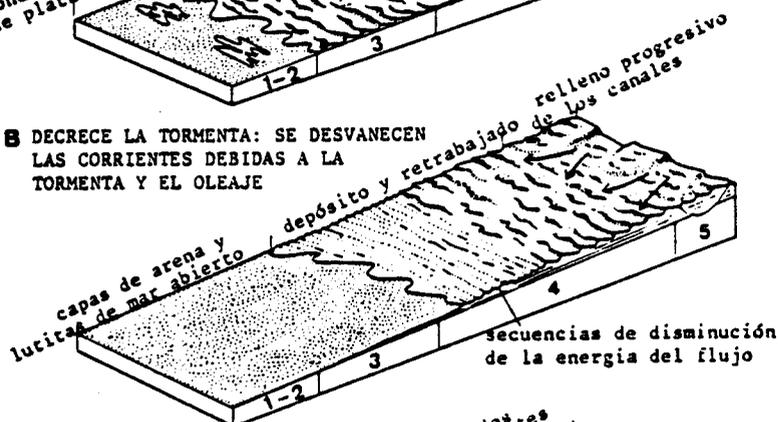
Este modelo de facies explica, de forma más coherente, tanto los conjuntos litológicos como las estructuraciones secuenciales, pero hidrodinámicamente el rango de las estructuras sedimentarias, salvo en la FV, es tan bajo que en los episodios de retorno de tormenta habría que invocar un flujo laminado sin apenas remoción de fondo, con ausencia de cantos blandos y capas heterolíticas propias de estos fenómenos.

A APOGEO DE LA TORMENTA : CORRIENTES PRODUCIDAS POR LA VUELTA HACIA EL MAR DEL AGUA ACUMULADA EN LA COSTA

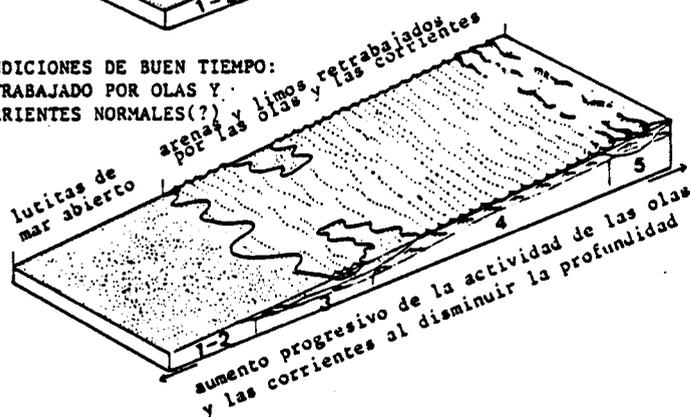
corrientes dirigidas hacia el mar e interpretadas como debidas al descenso del nivel del agua tras la tormenta



B DECRECE LA TORMENTA: SE DESVANECEN LAS CORRIENTES DEBIDAS A LA TORMENTA Y EL OLEAJE



C CONDICIONES DE BUEN TIEMPO: RETRABAJADO POR OLAS Y CORRIENTES NORMALES(?)



Modelo del desarrollo de barras arenosas precámbricas por la acción de corrientes generadas al descender el nivel del agua acumulada en la costa después de las tormentas (modificado de BANKS, 1973)

Fig. 4.3

En los estudios sedimentológicos realizados, y que han quedado descritos anteriormente, no se ha puesto de manifiesto la presencia de los niveles carbonatados con interés fosfatífero presentes en el área de Codos. Tampoco puede deducirse del modelo de depósito propuesto, la existencia de dichos niveles en otros sectores del área. Por otra parte, los resultados de los 774 análisis colorimétricos correspondientes a las muestras recogidas, han dado contenidos en P_2O_5 siempre inferiores al 1%, lo que viene a confirmar la nula importancia fosfatífera del área de Calatayud-Almunia.

En el Anexo de Laboratorios se enumeran los análisis colorimétricos, así como el resultado de los estudios petrográficos y bioestratigráficos (palinología).

4.2.5.- Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- Dentro del área de Calatayud-La Almunia, no se encuentran los niveles carbonatados fosfatados intercalados en la F. Pizarras de Paracuellos (Precámbrico) semejantes al localizado en el área de Codos, ni tampoco algún eventual tramo o nivel de posible interés.
- El espaciado entre itinerarios, su situación, según criterios cartográficos, y la densidad del desmuestre, son suficientes para garantizar la representatividad de este último.
- Los resultados de los análisis colorimétricos de las muestras recogidas (774 muestras) dieron contenidos siempre inferiores al 1%, no siendo necesario, por tanto, la realización de análisis químicos.

Recomendaciones

Por todo lo expuesto anteriormente, se concluye la falta de interés de la zona desde el punto de vista de la investigación de fosfatos, recomendándose el abandono de la misma.

4.2.6.- Bibliografía

- ALIAGA, A. (1968).- "Geologische untersuchungen in den Ostlichen Iberischen Ketten nördlich des Rio Jalón (Zaragoza), Spanien" . Diss., p. 99, Münster.
- ARCHE, A.; HERNANDO, S.; RAMOS, A.; SOPEÑA, A., y VIRGILI, C. (1975). "Distinction between environments in the Permian and Basal Triassic redbeds in Central Spain". IX Congr. Intern. Sedimentologie. Thème 5, tomo 1, pp. 9-14, Nice.
- BARSCHE, G. (1966).- "Geologische Untersuchungen in den östlichen Iberischen Ketten zwischen Rio Jalón und der Strasse Miedes-Codos-Cariñena (Spanien)". Tesis doctoral, Universidad de Münster, 120 págs., Münster.
- BASTIDA, F. (1981).- "Medidas de la deformación a partir de pliegues paralelos aplastados". Trabajos de Geología. U. de Oviedo. 11, 15-33.
- BERGER, E.; KAUFFMAN, E. y SACHER, L. (1968).- "Sedimentologische untersuchungen im Jungpaläozoikum der Ostlichen Iberischen Ketten (Spanien)". Geol. Rdsch, 57, pp. 472-483, Stuttgart.
- BOMER (1956).- "Aspects morphologiques du bassin de Calatayud Daroca et de ses bordures". Bull. Ass. Geogr. Fra., núm. 261-262, pp. 186-194. Paris Trad. en: Est. Geogr., año 21, núm. 80, pp. 893-402, Madrid, 1960.

- CAPOTE, R. y GONZALEZ LODEIRO, F. (1983). "La estructura herciniana en los afloramientos paleozoicos de la Cordillera Ibérica En: IGME (Ed.), Libro Jubilar J.M. Rios. Tomo 1.513-529.
- CARLS, P. (1962).- "Erläuterungen zur geologischen kartierung bei Luesma und Fombuena in den Ostlichen Iberischen Ketten (Nordost-Spanien)". Dipl. Arb., Würzburg.
- (1965).- "Jung-Silurische und unterdevonische schichten den Ostlichen Iberischen Ketten". Inaug. Diss., Würzburg, 155 pp., Würzburg.
- COLCHEN, M. (1974). "Geologie de la Sierra de la Demanda (Burgos. Logroño. Espagne)". Mem. Inst. Geol. Min. España. 85. Tomo I. 436 págs., Madrid.
- FERNANDEZ NIETO, C., GONZALEZ LOPEZ, J.M. y GONZALEZ MARTINEZ, J. (1985). "El grado de metamorfismo de los materiales pelíticos de la zona de Santed (Zaragoza). Bol. Soc. Esp. de Mineralogía (1985). 347-358.
- HERNANDEZ SAMANIEGO, A., ARAGONES, E., RAMIREZ DEL POZO, J. y AGUILAR, M.J. (1980). Mapa Geológico de España. E. 1:50.000 Hoja núm. 410 (La Almunia de Doña Godina). Inst. Geol. Min. España. Memoria. 1-44.
- HERNANDEZ SAMANIEGO, A., ARAGONES, E., RAMIREZ DEL POZO, J. y AGUILAR, M.J. (1981). Mapa Geológico de España, E. 1:50.000 Hoja núm. 409 (Calatayud). Inst. Geol. Min. España. Memoria. 1-10.
- IGME (1980, a).- Mapa geol. de España E. 1:50.000. Hoja 352, Tabuenca.
- IGME (1980, b).- Mapa geol. de España E 1:50.000. Hoja 410, La Almunia de Doña Godina.

IGME (1980, c).- Mapa geol. de España E. 1:50.000. Hoja 438, Pa-
niza.

IGME (1981, a).- Mapa geol. de España E. 1:50.000. Hoja 381, --
Illueca.

IGME (1981, b).- Mapa geol. de España E. 1:50.000. Hoja 409, Ca-
latayud.

IGME (1987). Convenio IGME-ADARO para la exploración de fosfatos
sedimentarios en España. Informe inédito. Madrid.

JOSOPAIT, V. (1970).- "Trilobiten-Funde in Tremadoc der Iberis--
chen Ketten". N. Jb. Geol. Paläont. Mh., vol. 2, pp. 127-128,
Stuttgart.

- (1971).- "Das kambrium und das Tremadoc von ateca (Wstliche
Iberische Ketten, NE-Spain)". Münster. Forsch. zur Geol. und
Paläontol., H-23, 121 pp., Münster.

JOSOPAIT, V. y SCHMITZ, V. (1971).- "Beitrag zur Stratigraphie im
Unter und Mittelkambrium der Sierra de la Demanda (NE-Spanien)"
Münster. Forsch. zur Geol. und Paläontol. 19, pp. 85-99.

LOTZE, F. (129).- "Stratigraphie und tektonik des Keltiberischen
grundgebirges (Spanien)". Abh. Ges. Wiss. Gött. Math. Phys. -
Kinf., vol. 14, número 2, pp. 1-320, Berlin. Trad. en Geol.
de España, VIII, 343 pp., Madrid, 1954-55.

- (1956).- "Das Präkambrium Spaniens". N. Jb. Geol. Paläontol.
pp. 373-380, Stuttgart. Trad. en: Not. Com. inst. Geol. Min.
de España, 60, pp. 227-240, Madrid, 1960.

- (1956).- "Über Sardische Bewegungen in Spanien und ihre Bez
lechnungen zur assyntischen Faltung". Geotektonisches Symposium
Hans Stille, pp. 128-139, Stuttgart.

- (1958).- "Zur stratigraphie des spanischen Kambriums". Geo-
logie, 7, 3-6, pp. 727-750. Berlin. Trad. en: Not. com. IGME,
61, pp. 131-164, Madrid, 1961.

- + (1961).- "Das Kambrium Spaniens". Teil: I. Stratigraphie Abh. Akad. Wiss. Lit. math-naturw. Kl., 6; pp. 238-498. Trad. en: Mem. Inst. Geol. Min. España, 75, 256 pp., Madrid.
- (1966).- "Präkambrium Spaniens. Literaturbericht, 1956-1965". Zbl. Geol. Paläontol. TI, 5 pp. 983-1006, Stuttgart.

- MELLENDEZ, B. (1942).- "Los terrenos cámbricos de la Península Ibérica". Trab. Inst. Cienc. Nat. "José de Acosta". Ser. Geol., tomo 1, p. 179, Madrid.
- (1944).- "Contribución al estudio del Paleozoico Aragonés". Trab. Inst. Ciencias Nat. "José de Acosta". Ser. Geol., tomo 1, p. 179, Madrid.
 - (1948).- "Consideraciones tectónicas sobre el Cámbrico Aragonés". Las Ciencias, vol. 13, núm. 2, pp. 23-360.

- QUARCH, H. (1967).- "Erläuterungen zur geologischen kartierung bei Borobia in den Ostlichen Iberischen Ketten (Nordost-Spanien)". Diplomarbeit. Univ. Würzburg., pp. 1-115.

- SCHMIDT-THOME, M. (1968).- "Beiträge zur Feinstratigraphie des Unterkambriums in dem Iberischen Ketten (Nordost-Spanien)". Diss. Univ. Würzburg, p. 141. Würzburg.

- SCHMITZ, U. (1971).- "Geologische untersuchungen im Kambrium und Tremadoc der Westlichen Iberischen Ketten nördlich Areca (Zaragoza). NE-Spanien". Diss., p. 132, Münster.
- (1971).- "Stratigraphie und sedimentologie im Kambrium und Tremadoc der Westlichen Iberischen Ketten nördlich Ateca (Zaragoza), NE-Spanien". Münster. Forsch. Geol. Paläontol., vol. 22, pp. 1-123, Münster.

- SDZUY, K. (1958).- "Neue Trilobiten aus dem Mittelkambrium von Spanien". Senk. Leth., 39, pp. 235-253, Frankfurt.

- (1960).- "Zur Wende Präkambrium/Kambrium". Paläontol., Z., 34, pp. 154-160, Stuttgart.
- (1961).- "Das Kambrium Spaniens". Teil II: Trilobiten Akad. Wiss. Lit. Mainz. Abh. Naturw. Kl. 7/8, pp. 218-411, Mainz.
- (1971).- "Acerca de la correlación del Cámbrico inferior en la Península Ibérica". I Congr. Hispano-Luso Amer. de Geol. Econ. Secc. Geol., tomo 2, pp. 753-768.
- (1971).- "La subdivisión litoestratigráfica y la correlación del Cámbrico Medio de España". I Congr. Hispano-Luso-Amer. de Geol. Econ. Secc. Geol., tomo 2, pp. 769-782.

TEJERO, R. y CAPONEZ R. (1987).- "La deformación hercínica en los macizos paleozoicos nororientales de la Cordillera Ibérica. Est. Geol. 43, 425-434, Madrid.

TEJERO, R. y RABIN, R. (1988).- "Características de las rocas de falla de la falla de Grió (Rama Aragonesa. Cordillera Ibérica). Congr. Geol. de España, comunicaciones, Vol. 2. Madrid.

TEYSSEN, T. (1980).- "Acerca de una discordancia assintica en las Cadenas Ibéricas (NE-España). Est. Geol., 36, 403-407, Madrid.

TEYSSEN, T. (1980).- "Erläuterungen zur geologischen Kartierung des Gebietes SE Codos in den östlichen Iberischen Ketten (NE-Spanien). Tesina, Universidad de Würzburg, 125 págs. Würzburg.

ANEXO I
LABORATORIOS

1.- ANALISIS COLORIMETRICOS

Se han tomado las muestras tanto en las columnas estratigráficas de detalle como en los itinerarios de toma de muestras y muestras aisladas. En la relación siguiente, sólo se hace referencia a la litología de las muestras aisladas e itinerarios. En las muestras situadas en columna de detalle se prescinde de dicha descripción que figura ya en la representación gráfica de la misma.

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P2O5</u> |
|-------------------|-------------------------------|---------------|
| C. Jarque | | |
| J-1 | Pizarra algo arenosa | < 0,1 |
| J-2 | " " " | 0,3 |
| J-3 | " " " | 0,4 |
| J-4 | " " " | 0,3 |
| C. Gotor | | |
| G-1 | Pizarra algo arenosa.Micácea. | 0,2 |
| G-2 | " " " " | 0,1 |
| G-3 | Arenisca de grano fino | < 0,1 |
| G-4 | Pizarra algo arenosa.Micácea. | < 0,1 |
| G-5 | " " " " | " |
| G-6 | " " " " (Aislada) | 0,1 |
| G-7 | " " " " | " " |
| G-8 | " " " " | " " |
| G-9 | " " " " | " " |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P₂O₅</u> |
|-------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| G-10 | Arenisca algo arenosa.Micácea. | 0,2 |
| G-11 | " " " " | " |
| G-12 | " " " " | " |
| G-13 | " " " " | " |
| G-14 | " " " " | " |
| G-15 | " " " " | 0,1 |
| G-16 | " " " " | " |
| G-17 | " " " " | " |
| G-18 | " " " " | " |
| G-19 | " " " " | " |
| G-20 | " " " " | " |
| G-21 | " " " " | " |
| G-22 | " " " " | " |
| G-23 | " " " " | " |
| G-24 | " " " " | " |
| G-25 | " " " " | 0,3 |
| G-26 | " " " " | 0,1 |
| G-27 | " " " " | 0,2 |
| G-28 | " " " " | 0,1 |
| G-29 | " " " " | " |
| G-30 | " " " " | " |
| G-31 | " " " " | " |
| G-32 | " " " " | " |
| G-33 | " " " " | " |
| G-34 | " " " " | < 0,1 |
| G-35 | " " " " | " |
| G-36 | " " " " | " |
| G-37 | " " " " | " |
| G-38 | " " " " | " |
| G-39 | " " " " | " |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P₂O₅</u> |
|-------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| C. Brea | | |
| BR-1 | Pizarra fina. Superficies satinadas. | 0,1 |
| BR-2 | " " " Negras | < 0,1 |
| BR-3 | " " " " | 0,2 |
| BR-5 | Pizarra poco arenosa | 0,3 |
| BR-7 | Pizarra poco arenosa, micácea | 0,2 |
| BR-8 | " " " " | 0,3 |
| BR-9 | " " " " | 0,2 |
| BR-10 | " " " " | 0,1 |
| BR-11 | " " " " | 0,8 |
| BR-12 | " " " " | 0,5 |
| BR-13 | " " " " | 0,2 |
| BR-14 | " " " " | 0,1 |
| BR-15 | " " " " | " |
| BR-16 | " " " " | < 0,1 |
| BR-17 | " " " " | " |
| BR-18 | " " " " | 0,4 |
| BR-19 | " " " " | < 0,1 |
| BR-20 | " " " " | 0,1 |
| BR-21 | " " " " | 0,1 |
| BR-22 | " " " " | 0,3 |
| BR-23 | " " " " | 0,1 |
| BR-24 | " " " " | " |
| BR-25 | " " " " | " |
| BR-26 | " " " " | " |
| BR-27 | Caliza | 0,4 |
| BR-28 | Pizarra arenoso-micácea | 0,1 |
| BR-29 | " " " | < 0,1 |
| BR-30 | Pizarra fina. Superficies satinadas. | " |
| BR-31 | " poco arenosa. Micácea | 0,1 |
| BR-32 | " " " " | " |
| BR-33 | " " " " | 0,2 |
| BR-34 | " " " " | < 0,1 |
| BR-35 | " " " " | " |
| BR-36 | " " " " | " |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P2O5</u> |
|-------------------|--------------------------------|---------------|
| C.La Ermita | Ver columna estratigráfica nº3 | |
| ER-1 | | 0,3 |
| ER-2 | | 0,1 |
| ER-3 | | 0,5 |
| ER-4 | | 0,1 |
| ER-5 | | 0,1 |
| ER-6 | | 0,1 |
| ER-7 | | 0,6 |
| ER-8 | | 0,4 |
| ER-9 | | 0,6 |
| ER-10 | | 0,3 |
| ER-11 | | 0,5 |
| ER-12 | | 0,1 |
| ER-13 | | < 0,1 |
| ER-14 | | " |
| ER-15 | | " |
| ER-16 | | " |
| ER-17 | | " |
| ER-18 | | " |
| ER-19 | | " |
| ER-20 | | " |
| ER-21 | | " |
| ER-22 | | " |
| ER-23 | | " |
| ER-24 | | " |
| ER-25 | | " |
| ER-26 | | " |
| ER-27 | | " |
| ER-28 | | " |
| ER-29 | | 0,1 |
| ER-30 | | " |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P₂O₅</u> |
|-------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| C.La Ermita | Ver columna estratigráfica nº3 | |
| ER-31 | | < 0,1 |
| ER-32 | | " |
| ER-33 | | " |
| ER-34 | | " |
| ER-35 | | " |
| ER-36 | | " |
| ER-37 | | " |
| ER-38 | | " |
| ER-39 | | " |
| ER-40 | | 0,7 |
| ER-41 | | " |
| ER-42 | | 0,6 |
| ER-43 | | " |
| ER-44 | | 0,9 |
| ER-45 | | 0,7 |
| ER-46 | | 0,6 |
| ER-47 | | 0,3 |
| ER-48 | | 0,9 |
| ER-49 | | < 0,1 |
| ER-50 | | " |
| ER-51 | | " |
| ER-52 | | 0,1 |
| ER-53 | | " |
| ER-54 | | " |
| ER-55 | | " |
| ER-56 | | < 0,1 |
| ER-57 | | " |
| ER-58 | | 0,2 |
| ER-59 | | < 0,1 |
| ER-60 | | " |
| ER-61 | | " |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P2O5</u> |
|-------------------|--------------------------------|---------------|
| C.La Ermita | Ver columna estratigráfica nº3 | |
| ER-62 | | 0,1 |
| ER-63 | | " |
| ER-64 | | " |
| ER-65 | | " |
| ER-66 | | " |
| ER-67 | | " |
| ER-68 | | " |
| ER-69 | | " |
| ER-70 | | " |
| ER-71 | | " |
| ER-72 | | " |
| ER-73 | | 0,6 |
| ER-74 | | 0,4 |
| ER-75 | | 0,5 |
| ER-76 | | 0,7 |
| ER-77 | | 0,4 |
| ER-78 | | 0,5 |
| ER-79 | | 0,5 |
| ER-80 | | 0,4 |
| ER-81 | | " |
| ER-82 | | " |
| ER-83 | | 0,5 |
| ER-84 | | 0,4 |
| ER-85 | | " |
| ER-86 | | 0,5 |
| ER-87 | | " |
| ER-88 | | 0,4 |
| ER-89 | | 0,9 |
| ER-90 | | 0,5 |
| ER-91 | | 0,3 |
| ER-92 | | 0,1 |
| ER-93 | | 0,4 |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P₂O₅</u> |
|--------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| <u>C. Ca Viver</u> | | |
| VI-1 | Pizarra poco arenosa | 0,1 |
| VI-2 | " " " | 0,2 |
| VI-3 | " " " | 0,1 |
| VI-4 | " " " | " |
| VI-5 | " " " | 0,4 |
| VI-6 | Pizarra fina. Superficie satinada. | 0,1 |
| VI-7 | " " " " | 0,1 |
| VI-8 | " " " " | 0,2 |
| VI-9 | " " " " | 0,5 |
| VI-10 | " " " " | 0,3 |
| VI-11 | " " " " | 0,1 |
| VI-12 | Pizarra arenoso-micácea | " |
| VI-13 | " fina | " |
| VI-14 | " arenoso-micácea | " |
| VI-15 | " fina. Superficie satinada. | 0,2 |
| VI-16 | " " " " | " |
| VI-17 | " " " " | " |
| VI-18 | " " " " | 0,1 |
| VI-19 | " " " " | < 0,1 |
| VI-20 | " " " " | " |
| <hr/> | | |
| <u>C. Sestrica</u> | | |
| EX-1 | Pizarra algo arenosa | 0,6 |
| EX-2 | " " " | 0,1 |
| EX-3 | " fina | 0,1 |
| EX-4 | " " " | < 0,1 |
| EX-5 | " " " | " |
| <hr/> | | |
| <u>C. Morés</u> | | |
| MO-1 | Pizarra algo arenosa. Micácea. | < 0,1 |
| MO-2 | " " " " | " |
| MO-3 | " " " " | 0,2 |
| MO-4 | " " " " | " |

| <u>Nº MUESTRAS</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P2O5</u> |
|--------------------|--|---------------|
| C. Morés | | |
| MO-5 | Pizarra algo arenosa, micácea | 0,3 |
| MO-6 | " " " " | < 0,1 |
| MO-8 | " " " " | 0,2 |
| MO-9 | " " " " | 0,1 |
| MO-10 | " " " " | < 0,1 |
| MO-11 | " " " " | " |
| MO-13 | " " " " | < 0,1 |
| MO-14 | " " " " | 0,1 |
| MO-15 | " " " " | " |
| MO-16 | " " " " | " |
| MO-17 | " " " " | " |
| MO-18 | " " " " | " |
| MO-19 | " " " " | " |
| MO-20 | " " " " | " |
| MO-21 | " " " " | " |
| MO-22 | " " " " | 0,1 |
| MO-24 | " " " " | " |
| C. Acerete | | |
| AC-1 | Pizarras negras.Superf.satinada.(Ais.)<0,1 | |
| AC-2 | " " " " | " 0,2 |
| AC-3 | " " " " | " < 0,1 |
| AC-4 | " " " " | " 0,1 |
| AC-5 | " " " " | " " |
| AC-6 | " " " " | " < 0,1 |
| AC-7 | " " " " | " 0,2 |
| AC-8 | " " " " | " < 0,1 |
| AC-9 | " " " " | " " |
| C.Línea Fe- | | |
| rrocarril | Ver columna estratigráfica nº5 | |
| LFC-1 | | 0,6 |
| LFC-2 | | " |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P2O5</u> |
|---------------------------|--------------------------------|---------------|
| C. Línea Fe- rrocarril | Ver columna estratigráfica nº5 | |
| LFC-3 | | 0,6 |
| LFC-4 | | 0,5 |
| LFC-5 | | 0,4 |
| LFC-6 | | " |
| LFC-7 | | " |
| LFC-8 | | " |
| LFC-9 | | " |
| LFC-10 | | 0,3 |
| LFC-11 | | 0,2 |
| LFC-12 | | 0,3 |
| LFC-13 | | " |
| LFC-14 | | 0,2 |
| LFC-15 | | 0,1 |
| LFC-16 | | " |
| LFC-17 | | 0,2 |
| LFC-18 | | 0,4 |
| LFC-19 | | 0,1 |
| LFC-20 | | 0,5 |
| LFC-21 | | 0,4 |
| LFC-22 | | < 0,1 |
| LFC-23 | | " |
| LFC-24 | | 0,2 |
| LFC-25 | | < 0,1 |
| LFC-26 | | " |
| LFC-27 | | 0,2 |
| LFC-28 | | 0,1 |
| LFC-29 | | " |
| LFC-30 | | " |
| LFC-31 | | " |
| LFC-32 | | < 0,1 |
| LFC-33 | | 0,1 |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P2O5</u> |
|---------------------------|--------------------------------|---------------|
| C. Línea Fe- rrocarril | Ver columna estratigráfica nº5 | |
| LFC-34 | | 0,1 |
| LFC-35 | | " |
| LFC-36 | | 0,2 |
| LFC-37 | | " |
| LFC-38 | | 0,4 |
| LFC-39 | | 0,2 |
| LFC-40 | | 0,4 |
| LFC-41 | | " |
| LFC-42 | | 0,2 |
| LFC-43 | | 0,5 |
| LFC-44 | | 0,4 |
| LFC-45 | | 0,6 |
| LFC-46 | | 0,1 |
| LFC-47 | | 0,3 |
| LFC-48 | | 0,2 |
| LFC-49 | | 0,1 |
| LFC-50 | | " |
| LFC-51 | | 0,2 |
| LFC-52 | | 0,1 |
| LFC-53 | | " |
| LFC-54 | | " |
| LFC-55 | | " |
| LFC-56 | | < 0,1 |
| LFC-57 | | " |
| LFC-58 | | 0,2 |
| LFC-59 | | " |
| LFC-60 | | " |
| LFC-61 | | < 0,1 |
| LFC-62 | | " |
| LFC-63 | | 0,2 |
| LFC-64 | | 0,1 |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P₂O₅</u> |
|--------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| C.Línea Fe- rrocarril | Ver columna estratigráfica nº5 | |
| LFC-65 | | 0,1 |
| LFC-66 | | " |
| LFC-67 | | 0,3 |
| LFC-68 | | 0,1 |
| LFC-69 | | " |
| LFC-70 | | 0,2 |
| LFC-71 | | " |
| LFC-72 | | 0,3 |
| LFC-73 | | 0,1 |
| LFC-74 | | 0,2 |
| LFC-75 | | 0,1 |
| LFC-76 | | " |
| LFC-77 | | " |
| LFC-78 | | " |
| LFC-79 | | " |
| LFC-80 | | < 0,1 |
| LFC-81 | | 0,1 |
| LFC-82 | | 0,2 |
| LFC-83 | | " |
| LFC-84 | | " |
| LFC-85 | | " |
| LFC-86 | | " |
| LFC-87 | | " |
| LFC-88 | | " |
| LFC-89 | | " |
| LFC-90 | | " |
| LFC-91 | | 0,3 |
| LFC-92 | | 0,2 |
| LFC-93 | | " |
| LFC-94 | | 0,3 |
| LFC-95 | | 0,2 |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P2O5</u> |
|---------------------------|--------------------------------|---------------|
| C. Línea Fe- rrocarril | Ver columna estratigráfica nº5 | |
| LFC-96 | | < 0,1 |
| LFC-97 | | " |
| LFC-98 | | " |
| LFC-99 | | " |
| LFC-100 | | " |
| LFC-101 | | " |
| LFC-102 | | " |
| LFC-103 | | " |
| LFC-104 | | 0,4 |
| LFC-105 | | 0,2 |
| LFC-106 | | < 0,1 |
| LFC-107 | | " |
| LFC-108 | | " |
| LFC-109 | | 0,2 |
| LFC-110 | | 0,1 |
| LFC-111 | | 0,2 |
| LFC-112 | | 0,3 |
| LFC-113 | | " |
| LFC-114 | | " |
| LFC-115 | | 0,1 |
| LFC-116 | | " |
| LFC-117 | | " |
| LFC-118 | | " |
| LFC-119 | | " |
| LFC-120 | | " |
| LFC-121 | | " |
| LFC-122 | | < 0,1 |
| LFC-132 | | " |
| LFC-133 | | " |
| LFC-134 | | 0,2 |
| LFC-135 | | " |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P2O5</u> |
|---------------------------|--------------------------------|---------------|
| C. Línea Fe- rrocarril | Ver columna estratigráfica nº5 | |
| LFC-136 | | 0,2 |
| LFC-137 | | < 0,1 |
| LFC-138 | | 0,1 |
| LFC-139 | | " |
| LFC-140 | | < 0,1 |
| LFC-141 | | " |
| LFC-142 | | " |
| LFC-143 | | 0,3 |
| LFC-144 | | 0,1 |
| LFC-145 | | " |
| LFC-146 | | " |
| LFC-147 | | " |
| LFC-148 | | < 0,1 |
| LFC-149 | | 0,1 |
| LFC-150 | | " |
| LFC-151 | | " |
| LFC-152 | | " |
| LFC-153 | | 0,2 |
| LFC-154 | | " |
| LFC-155 | | " |
| LFC-156 | | " |
| LFC-157 | | " |
| LFC-158 | | " |
| LFC-159 | | " |
| LFC-160 | | " |
| LFC-161 | | " |
| LFC-162 | | " |
| LFC-163 | | 0,1 |
| LFC-164 | | 0,2 |
| LFC-165 | | " |
| LFC-166 | | 0,3 |
| LFC-167 | | 0,2 |
| LFC-168 | | 0,3 |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P2O5</u> |
|--------------------------|--------------------------------|---------------|
| C.Línea Fe- rrocarril | Ver columna estratigráfica nº5 | |
| LFC-169 | | 0,6 |
| LFC-170 | | 0,5 |
| LFC-171 | | 0,4 |
| LFC-172 | | 0,3 |
| LFC-173 | | 0,2 |
| LFC-174 | | 0,3 |
| LFC-175 | | 0,2 |
| LFC-176 | | " |
| LFC-177 | | " |
| LFC-178 | | " |
| LFC-179 | | " |
| LFC-180 | | " |
| LFC-181 | | " |
| LFC-182 | | " |
| LFC-183 | | 0,3 |
| LFC-184 | | 0,2 |
| LFC-185 | | 0,1 |
| LFC-186 | | 0,5 |
| LFC-187 | | " |
| LFC-188 | | 0,4 |
| LFC-189 | | 0,2 |
| LFC-190 | | " |
| LFC-191 | | 0,1 |
| LFC-192 | | 0,1 |
| LFC-193 | | " |
| LFC-194 | | " |
| LFC-195 | | " |
| LFC-196 | | " |
| LFC-197 | | < 0,1 |
| LFC-198 | | " |
| LFC-199 | | " |
| LFC-200 | | " |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P2O5</u> |
|---------------------------|--------------------------------|---------------|
| C. Línea Fe- rrocarril | Ver columna estratigráfica nº5 | |
| LFC-201 | | 0,1 |
| LFC-202 | | 0,1 |
| LFC-203 | | " |
| LFC-204 | | 0,3 |
| LFC-205 | | 0,1 |
| LFC-206 | | 0,2 |
| LFC-207 | | 0,3 |
| LFC-208 | | 0,1 |
| LFC-209 | | 0,4 |
| LFC-210 | | 0,1 |
| LFC-211 | | 0,2 |
| LFC-212 | | " |
| LFC-213 | | " |
| LFC-214 | | 0,1 |
| LFC-215 | | " |
| LFC-216 | | " |
| LFC-217 | | " |
| LFC-218 | | " |
| LFC-219 | | " |
| LFC-220 | | " |
| LFC-221 | | " |
| LFC-222 | | " |
| LFC-223 | | 0,3 |
| LFC-224 | | 0,1 |
| LFC-225 | | 0,3 |
| LFC-226 | | 0,2 |
| LFC-227 | | 0,4 |
| LFC-228 | | 0,5 |
| LFC-229 | | 0,2 |
| LFC-230 | | 0,1 |
| LFC-231 | | < 0,1 |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P2O5</u> |
|---------------------------|--------------------------------|---------------|
| C. Línea Fe- rrocarril | Ver columna estratigráfica nº5 | |
| LFC-232 | | 0,1 |
| LFC-233 | | " |
| LFC-234 | | " |
| LFC-235 | | " |
| LFC-236 | | " |
| LFC-237 | | " |
| LFC-238 | | " |
| LFC-239 | | " |
| LFC-240 | | " |
| LFC-241 | | " |
| LFC-242 | | " |
| LFC-243 | | " |
| LFC-244 | | " |
| LFC-245 | | " |
| LFC-246 | | " |
| LFC-247 | | 0,1 |
| LFC-248 | | " |
| LFC-249 | | 0,2 |
| LFC-250 | | " |
| LFC-251 | | 0,1 |
| LFC-252 | | " |
| LFC-253 | | " |
| LFC-254 | | " |
| LFC-255 | | " |
| LFC-256 | | " |
| LFC-257 | | " |
| LFC-258 | | " |
| LFC-259 | | 0,6 |
| LFC-260 | | 0,1 |
| LFC-261 | | 0,2 |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P₂O₅</u> |
|---------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| C. Línea Fe- rrocarril | Ver columna estratigráfica nº5 | |
| LFC-262 | | 0,4 |
| LFC-263 | | 0,5 |
| LFC-264 | | 0,3 |
| LFC-265 | | 0,2 |
| LFC-266 | | 0,1 |
| LFC-267 | | 0,2 |
| LFC-268 | | < 0,1 |
| LFC-269 | | 0,1 |
| LFC-270 | | < 0,1 |
| LFC-271 | | " |
| LFC-272 | | 0,2 |
| LFC-273 | | " |
| LFC-274 | | 0,3 |
| LFC-275 | | 0,2 |
| LFC-276 | | " |
| LFC-277 | | 0,3 |
| LFC-278 | | 0,4 |
| LFC-279 | | 0,6 |
| LFC-280 | | 0,7 |
| LFC-281 | | " |
| LFC-282 | | 0,3 |
| LFC-283 | | " |
| LFC-284 | | 0,2 |
| LFC-285 | | 0,3 |
| LFC-286 | | 0,4 |
| LFC-287 | | " |
| LFC-288 | | 0,3 |
| LFC-289 | | " |
| LFC-290 | | " |
| LFC-291 | | 0,2 |

| <u>Nº MUESTRAS</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P₂O₅</u> |
|---------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| C. Línea Fe- rrocarril | Ver columna estratigráfica nº5 | |
| LFC-292 | | 0,2 |
| LFC-293 | | " |
| LFC-294 | | " |
| LFC-295 | | 0,2 |
| LFC-296 | | " |
| LFC-297 | | " |
| LFC-298 | | 0,1 |
| LFC-299 | | 0,1 |
| LFC-300 | | 0,2 |
| LFC-301 | | " |
| LFC-302 | | " |
| LFC-303 | | 0,1 |
| LFC-304 | | 0,3 |
| LFC-305 | | 0,2 |
| LFC-306 | | < 0,1 |
| LFC-307 | | 0,4 |
| LFC-308 | | < 0,1 |
| LFC-309 | | < 0,1 |
| LFC-310 | | " |
| LFC-311 | | " |
| LFC-312 | | 0,1 |
| LFC-313 | | " |
| LFC-314 | | 0,2 |
| LFC-315 | | < 0,1 |
| LFC-316 | | " |
| LFC-317 | | 0,1 |
| LFC-318 | | " |
| LFC-319 | | " |
| LFC-320 | | " |
| LFC-321 | | " |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P₂O₅</u> |
|-------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| C.Paracuellos | | |
| PA-9 | Pizarra arenosa, micácea | 0,1 |
| PA-10 | " " " | " |
| PA-11 | " " " | 0,1 |
| PA-12 | " " " | < 0,1 |
| PA-13 | " " " | 0,2 |
| PA-14 | " " " | 0,2 |
| PA-15 | " " " | " |
| PA-16 | " fina. Superfic. satinadas | 0,4 |
| PA-17 | " " " " | 0,3 |
| PA-18 | " " " " | 0,2 |
| PA-19 | " " " " | 0,1 |
| PA-20 | " " " " | 0,2 |
| PA-21 | " " " " | 0,3 |
| PA-22 | " " " " | 0,4 |
| PA-23 | Arenisca fina cuarcítica | 0,3 |
| PA-24 | " " " | 0,1 |
| PA-25 | Caliza | 0,2 |
| PA-26 | " | 0,6 |
| PA-27 | " | 0,1 |
| PA-28 | Pizarra. Superficies satinadas. | " |
| PA-29 | Caliza | " |
| PA-30 | Pizarra fina. Superfic. satinadas. | 0,3 |
| PA-31 | " poco arenosa, micácea | 0,2 |
| PA-32 | " " " " | 0,1 |
| PA-33 | " " " " | " |
| PA-34 | " " " " | < 0,1 |
| PA-35 | " " " " | 0,6 |
| PA-36 | Arena de grano fino cuarcítica | < 0,1 |
| PA-37 | " " " " | " |
| PA-38 | " " " " | " |
| PA-39 | " " " " | " |
| PA-40 | " " " " | " |
| PA-41 | " " " " | " |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P₂O₅</u> |
|-------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| C. Paracuellos | | |
| PA-42 | Pizarra fina. Superfic. satinadas. | 0,2 |
| PA-43 | Caliza | 0,1 |
| PA-44 | " | " |
| PA-45 | " | < 0,1 |
| PA-46 | " | 0,3 |
| PA-47 | " | " |
| PA-48 | Pizarra fina. Superfic. satinadas | " |
| PA-49 | " fina, gris oscura | 0,4 |
| PA-50 | " " " " | 0,2 |
| PA-51 | " " " " | " |
| PA-52 | " " " " | 0,1 |
| PA-53 | " " " " | 0,2 |
| PA-54 | Caliza | 0,1 |
| PA-55 | Pizarra poco arenosa, micácea | 0,3 |
| PA-56 | " " " " | " |
| PA-57 | " " " " | 0,2 |
| PA-58 | " " " " | 0,4 |
| PA-59 | " " " " | 0,1 |
| PA-60 | " fina | 0,2 |
| PA-61 | " " | < 0,1 |
| PA-62 | " " | 0,2 |
| PA-63 | " " | 0,3 |
| PA-64 | " " | 0,5 |
| PA-65 | " " | < 0,1 |
| PA-66 | " " | 0,2 |
| PA-67 | " " | " |
| PA-68 | " " | 0,4 |
| PA-69 | " " | 0,1 |
| PA-70 | Arena cuarcítica | " |
| PA-71 | Pizarra fina | " |
| PA-72 | " " | " |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P2O5</u> |
|---------------------|------------------------------------|---------------|
| C.del Frasnó | | |
| FR-1 | Calizas | < 0,1 |
| FR-2 | " | 0,1 |
| FR-3 | " | " |
| FR-4 | " | 0,5 |
| FR-5 | Arenisca de grano fino | 0,4 |
| FR-7 | " " " | 0,2 |
| FR-8 | " " " | < 0,1 |
| FR-9 | " " " | 0,2 |
| FR-10 | " " " | " |
| FR-11 | " " " | " |
| FR-12 | " " " | " |
| FR-13 | " " " | " |
| FR-14 | " " " | " |
| FR-15 | " " " | " |
| FR-16 | " " " | < 0,1 |
| FR-17 | " " " | " |
| FR-18 | " " " | " |
| <hr/> | | |
| C.de Aluenda | | |
| AL-1 | Pizarra fina.Superf.satinadas gris | 0,2 |
| AL-2 | " " " " " | " |
| AL-3 | " " " " " | 0,1 |
| AL-4 | " " " " " | < 0,1 |
| AL-5 | " " " " " | " |
| AL-6 | " " " " " | 0,1 |
| AL-7 | " " " " " | 0,3 |
| AL-8 | " " " " " | < 0,1 |
| AL-9 | " " " " " | 0,1 |
| AL-10 | " " " " " | < 0,1 |
| AL-11 | " " " " " | " |
| AL-12 | " " " " " | " |
| AL-13 | " " " " " | 0,1 |
| AL-14 | " " " " " | < 0,1 |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P₂O₅</u> |
|-------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| C.de Aluenda | | |
| AL-15 | Pizarra fina. Superf.satinadas gris. | <0,1 |
| AL-16 | " " " " " | " |
| AL-17 | " " " " " | " |
| AL-18 | " " " " " | 0,2 |
| AL-19 | " " " " " | 0,1 |
| AL-20 | " " " " " | " |
| AL-21 | " " " " " | 0,2 |
| AL-22 | " " " " " | " |
| AL-23 | " " " " " | " |
| AL-24 | " " " " " | " |
| AL-25 | " " " " " | " |
| AL-26 | " " " " " | " |
| AL-27 | " " " " " | " |

C.de Aluenda ALR

| | | |
|--------|--------------|-------|
| ALR-7 | Pizarra fina | 0,2 |
| ALR-8 | " " | " |
| ALR-9 | " " | 0,3 |
| ALR-10 | " " | 0,4 |
| ALR-11 | " " | 0,2 |
| ALR-12 | " " | " |
| ALR-13 | " " | " |
| ALR-14 | " " | 0,1 |
| ALR-15 | " " | 0,2 |
| ALR-16 | " " | < 0,1 |
| ALR-17 | " " | " |
| ALR-18 | " " | 0,2 |
| ALR-19 | " " | " |
| ALR-20 | " " | 0,3 |
| ALR-21 | " " | 0,2 |
| ALR-22 | " " | " |
| ALR-23 | " " | < 0,1 |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P2O5</u> |
|-------------------|------------------|---------------|
| C.de Aluenda ALR | | |
| ALR-24 | Pizarra fina | < 0,1 |
| ALR-25 | " " | 0,2 |
| ALR-26 | " " | " |
| ALR-27 | " " | 0,4 |
| ALR-28 | " " | 0,2 |
| ALR-29 | " " | 0,1 |
| ALR-30 | " " | 0,2 |
| ALR-31 | " " | 0,1 |
| ALR-32 | " " | " |
| ALR-33 | " " | " |
| ALR-34 | " " | 0,2 |
| ALR-35 | " " | " |
| ALR-36 | " " | 0,3 |
| ALR-37 | " " | 0,2 |
| ALR-38 | " " | 0,4 |
| ALR-39 | " " | 0,6 |
| ALR-40 | " " | 0,5 |
| ALR-41 | " " | 0,6 |
| ALR-42 | " " | 0,5 |
| ALR-43 | " " | 0,1 |
| ALR-44 | " " | < 0,1 |
| ALR-45 | " " | " |
| ALR-46 | " " | 0,1 |
| ALR-47 | " " | " |
| ALR-48 | " " | " |
| ALR-49 | " " | " |
| ALR-50 | " " | " |
| ALR-51 | " " gris | 0,3 |
| ALR-52 | " " | 0,2 |
| ALR-53 | " " | < 0,1 |
| ALR-54 | " " | 0,3 |
| ALR-55 | " " | 0.1 |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P2O5</u> |
|---|-----------------------------------|---------------|
| C.de Aluenda ALR | | |
| ALR-56 | Pizarra fina | < 0,1 |
| ALR-57 | " " | 0,2 |
| <hr/> | | |
| C.Cª General | | |
| CG-1 | Pizarra poco arenosa, micácea | 0,4 |
| CG-2 | " " " .Sup.satinadas | 0,1 |
| CG-3 | " " " " " | " |
| CG-4 | " arenosa, micácea | 0,3 |
| CG-5 | " " " | 0,1 |
| CG-6 | " " " | " |
| CG-7 | " " " | < 0,1 |
| CG-8 | Pizarra fina. Sup.satinadas, gris | " |
| CG-9 | " " " " " | " |
| CG-10 | " " " " " | 0,1 |
| <hr/> | | |
| C. F.C.-1 | | |
| FC-1 | Pizarra fina | 0,6 |
| FC-2 | " " | 0,1 |
| <hr/> | | |
| C. F.C.-2 | | |
| FC-2-1 | Pizarra fina negra | 0,4 |
| FC-2-2 | " " " | < 0,1 |
| FC-2-3 | " " " | " |
| FC-2-4 | " " " | " |
| FC-2-5 | " " " | " |
| FC-2-6 | " " " | " |
| FC-2-7 | " " " | " |
| <hr/> | | |
| C.Saviñán Ver columna estratigráfica nº 4 | | |
| FC-3-1 | | 0,6 |
| FC-3-2 | | 0,3 |
| FC-3-3 | | 0,2 |
| FC-3-4 | | < 1 |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P2O5</u> |
|-------------------|---------------------------------|---------------|
| C. Saviñán I | Ver columna estratigráfica nº 4 | |
| FC-4-1 | | 0,7 |
| FC-4-2 | | 0,2 |
| FC-4-3 | | 0,1 |
| FC-4-4 | | 0,3 |
| <hr/> | | |
| C. Saviñán II | | |
| SB-1 | Cuarcita | < 0,1 |
| SB-2 | Pizarra | 0,6 |
| SB-3 | " | 0,2 |
| SB-4 | " | 0,3 |
| SB-5 | " | 0,2 |
| SB-6 | " | 0,1 |
| SB-7 | " | " |
| SB-8 | " | " |
| SB-9 | " | < 0,1 |
| SB-10 | " | " |
| SB-11 | " | " |
| SB-12 | Cuarcita | " |
| SB-13 | " | " |
| SB-14 | " | " |
| SB-15 | " | " |
| SB-16 | " | 0,5 |
| SB-17 | Pizarra poco arenosa | 0,2 |
| SB-18 | " " " | < 0,1 |

2.- ESTUDIOS PETROGRAFICOS

ALR - 10

Componentes:

Cuarzo - cuarcita - 50% - (Tamaño arena-gruesa - grava)
Matriz - 35% (sericitica)
Silicificación - 15%

Metaarenisca (cuarzoarenita) con grava lutítica y silicificada.

ALR - 20

Componentes :

Cuarzo - 3% (limo grueso-arena fina)
Lutita - 80% (sericitica)
Silicificación - 17%
Minerales Neoformación - Mica blanca

Metapelita con limo y arena silicificada

ALR - 27

Componentes :

Cuarzo - 45% (tamaño limo grueso - arena fina, subanguloso a subredondeado).
Feldespato K - 5%
Matriz - 30% (sericitica)
Accesorios - 3% (M. hierro, mica blanca)
Silicificación - 17%
Minerales de Neoformación - Mica blanca.

Metaarenisca (Subarcosa) limo arcillosa, silicificada.

ALR - 29

Componentes

| | | |
|---------------------------|-------|---|
| Cuarzo | - 30% | (limo grueso - arena fina, suban- gulos a subredondeada) |
| Feldespato K | - 2% | |
| Matriz | - 40% | |
| Accesorios | - 5% | (M. hierro y mica blanca) |
| Silicificación | - 20% | |
| Minerales de Neoformación | - 3% | (Mica blanca) |

Metapelita limo-arenosa, silicificada

ALR - 36

Componentes

| | | |
|---------------------------|-------|--|
| Cuarzo | - 52% | (Arena media fina, subredondeada a subangulosa) |
| Feldespato K | - 8% | (muy alterado) |
| Matriz | - 15% | (sericitica) |
| Accesorios | - 1% | (M. hierro, turmalina, zircón, Mica blanca) |
| Silicificación | - 20% | |
| Minerales de Neoformación | - 4% | (Mica blanca) |

Metaarenisca (Subarcosa) limoso-lutítica, silicificada

ALR - 38

Componentes

| | | |
|--------------|-------|--|
| Cuarzo | - 40% | (Tamaño arena fina - limo grueso subredondeado a subanguloso) |
| Feldespato K | - 5% | (alterado) |

Matriz - 35% (sericitica)
Accesorios - 4% (M. hierro, mica blanca, turmalina)
Silicificación - 15%
Minerales de Neoformación - 1% (Mica blanca)

Metaarenisca (Subarcosa) limo-arcillosa. Silicificada

ALR - 39

Componentes

Cuarzo - 45% - Tamaño limo fino-medio.
Feldespato K - 1%
Matriz - 40% (sericitica)
Accesorios - 2% (M. de hierro)
Silicificación - 10%
Minerales de neoformación - 2% (Mica blanca)
Sedimento con fina laminación paralela

Metalimolita arcillosa, silicificada

ALR - 40

Componentes

Cuarzo - 40% (arena media-fina. Subangulosa a subredondeada).
Feldespato K - 15% (muy alterados)
Matriz - 30% (sericitica)
Accesorios - 2% (M. hierro, mica blanca, turmalina)
Silicificación - 10%
Minerales neoformación - 3% (Mica blanca)

Metaarenisca (subarcosa) arcillosa, silicificada

ALR - 41

Componentes

Cuarzo - 25% (limo fino - medio)
Feldespato K - 5% (alterado)
Matriz - 55% (sericitica)
Accesorios - 3% (M. hierro. M. blanca y turmalina)
Silicificación - 19%
Minerales Neoformación - 3% (Mica Blanca)
Sedimento con fina laminación paralela.

Metapelita limoso arenosa y silicificada

ALR - 42

Componentes

Cuarzo - 45% (tamaño limo medio grueso; subangulo
loso a subredondeado)
Feldespato K - 2% (alterado)
Matriz - 25% (sericitica)
Accesorios - 2% (M. hierro y mica blanca)
Silicificación - 18%
Minerales neoformación - 8% (Mica blanca)
Sedimento con fina laminación paralela

Metalimolita arcillosa, silicificada

3.- ESTUDIOS PALINOLOGICOS

Se recogieron un total de 10 muestras; cuatro de ellas (FC-1, FC-2, FC-3 y FC-4) en unos niveles lutíticos gris oscuros que la cuarcita de Bámbola presenta hacia su base, Corte de la Carretera General (C.G.) y la FC-3 y FC-4 en el corte de Saviñán (columna nº 4), y el resto (FC-5, FC-6, FC-7, FC-8, FC-9 y FC-10) en lutitas negro-azuladas de la parte superior del corte LFC en Paracuellos.

Se trataron con HF concentrado y HCl caliente, el residuo se oxidó durante 1/2 hora con HNO₃ y KCl y se filtró con una malla de 1 m.

Estudio de láminas

La materia orgánica está completamente carbonizada, por lo que ha sido imposible identificar algún resto orgánico. El estudio palinológico es NEGATIVO.

5.- AREA DE SANTED

5.1.- ANTECEDENTES

Durante la "Investigación preliminar de Fosfatos Sedimentarios" se localizaron rocas fosfatadas que aparecían dispersas en un campo de labor en las cercanías de Santed (Teruel). Estos materiales de aspecto conglomerático (s.e.) se presentaban en superficie a lo largo de una banda de cerca de un kilómetro, con una anchura desproporcionada, a causa de la natural dispersión producida por las labores agrícolas. En realidad sólo afloraban "in situ" en tres puntos aislados, con una potencia visible máxima de tres metros, mientras que en el resto de la zona existe un importante coluvionamiento y sólo las modernas técnicas de labranza (desfondamiento) ha permitido que el material fosfatado llegue a aflorar, siendo fácilmente reconocible por su aspecto característico : una roca poco habitual de color marrón -violáceo, moteada de blanco (material fosfatado) y bastante deleznable, destacando netamente del material pizarroso gris-verde infra y suprayacente. También se recogieron en superficie fragmentos de una arenisca amarillo-grisácea con pequeños nódulos de un material verdoso, que contenía fosfatos, aunque en su caso la posición estratigráfica resultaba todavía más dudosa.

Con estos antecedentes se plantea la investigación cuyos resultados se recogen en esta Memoria.

5.2.- OBJETIVOS Y TRABAJOS REALIZADOS

El objetivo de estos trabajos en el área de Santed, fue determinar el espesor, desarrollo lateral e interrelaciones con los materiales infra y suprayacentes, de los materiales con un contenido anómalo en fosfato; así como analizar sus características sedimentológicas y petrográficas. Con este fin se han realizado las actividades siguientes:

- Restitución fotogramétrica de un área de 2.000 ha a escala 1:10.000, a partir de foto aérea a escala 1:18.000.
- Cartografía geológica detallada a escala 1:10.000 de un área de 2.000 ha. Debido al potente recubrimiento existente, se puso especial énfasis en la búsqueda e identificación de indicios superficiales. Se decidió la obtención de dos documentos geológicos: una cartografía con diferenciación de los diferentes materiales de recubrimiento y un mapa interpretativo de las distintas Formaciones del Paleozoico, así como de los niveles con anomalía de fosfatos.
- Con el fin de reconocer el espesor de los niveles con contenidos altos en fosfatos, de acuerdo con los datos proporcionados por la cartografía y el reconocimiento de superficie, se abrieron ocho calicatas, que supusieron un movimiento de tierras de 3.611 metros cúbicos.
- Se levantaron las columnas estratigráficas de las series puestas a descubierto por las calicatas -840 m de columna-reconociéndose las diversas estructuras sedimentológicas presentes así como los niveles con anomalía en contenido de fosfatos, empleando sólo cualitativamente (presencia/ausencia) el método SAPHIRO; que también se empleó cuantitativamente en diez muestras.

- Todo nivel fosfatado individualizable por alternancia de material no fosfatado o por junta de estratos, fué muestreado (muestras cercanas a 1.000 g de peso) para determinar mediante análisis químico, previa molienda, el contenido en P_2O_5 . No sólo se muestrearon los niveles de aspecto conglomerático sino también los areniscosos (grano más fino). En total se analizaron 96 muestras.
- Con el fin de caracterizar petrográficamente los materiales, se realizaron desmuestres para lámina transparente, que posteriormente fueron estudiadas. No sólo se muestrearon los niveles con anomalía colorimétrica, sino que también lo fueron otros sin contenido aparente en P_2O_5 para poder caracterizar petrográficamente todo el conjunto portador de fosfato. Se estudiaron 46 láminas transparentes.

5.3.- SITUACION GEOGRAFICA Y ENCUADRE GEOLOGICO REGIONAL

La zona objeto de estudio está situada en el ángulo suroccidental de la hoja topográfica 1:50.000 de Daroca (465), ocupando también una porción ínfima de la de Used (464).

En su mayor parte se extiende por el fondo de un amplio valle de suaves márgenes que se orienta en dirección NO-SE, en él se enclavan los parajes denominados Altos del Cabezuelo, la Dehesa y los Poyatos, aunque es el arroyo de la Aldehuela el que caracteriza y controla su desarrollo. Las zahorras de los aluviones y coluviones recientes se cultivan con intensidad, aunque los frecuentes encharcamientos, producidos por la somera presencia de un substrato pizarroso impermeable, hace necesario el empleo de drenajes artificiales.

El valle queda flanqueado por dos sierras relativamente abruptas, formadas por cuarcitas paleozoicas, "Cuarcitas del Tremadoc" al Este, con los altos de Mojón Blanco, la Magdalena, Las Navas, Cerro Gordo y el Gollizno; mientras que la Cuarcita Armoricana, al Oeste, da los picos de Peña Alta, Cruz del Pobre y Pata de Caballo. En la Peña Alta se alcanza la máxima altura (vértice topográfico de Valdelacasa, 1.391 m), mientras que la parte central del valle está a unos 1.100 m de altura.

El flanco oriental del valle se acomoda a una suave cuésta desarrollada sobre pizarras a favor del buzamiento, mientras que el flanco opuesto es mucho más abrupto, condicionado por el marcado "hog back" de los niveles competentes de Cuarcita Armoricana.

En la zona no hay núcleos urbanos ni caserios habitados, quedan sólo parideras y corrales con diferentes niveles de uso, así como la ahora deshabitada Venta del Camino Real Madrid-Sagunto.

La vegetación actual es muy escasa, dado el intenso cultivo de las zonas de litologías blandas; sobre los niveles más cuarcíticos se desarrollan pequeñas manchas de coscojar.

De una manera sucinta, puede describirse el área paleozoica objeto de este estudio, como parte de un bloque levantado de dirección NO-SE, que constituye parte de la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica, que da al límite occidental de la Fosa de Calatayud-Jiloca, colmatada por materiales fundamentalmente neógenos. Hacia el Oeste contacta con las estratificaciones de la Sierra de Albarracín, fundamentalmente compuesta por rocas mesozoicas.

5.4.- ESTUDIO GEOLOGICO-MINERO

En la zona afloran materiales que van del Cámbrico inferior al Ordovícico superior, según una serie monoclinial que se corta entre las localidades de Báguena y Santed.

En el área cubierta por la restitución fotogramétrica, sólo afloran materiales ordovícicos y recubrimientos recientes.

5.4.1.- Estratigrafía

5.4.1.1.- Paleozoico

En los materiales del Paleozoico, siguiendo la nomenclatura de la hoja MAGNA 465, IGME (1983), se han separado de techo a muro las siguientes formaciones:

- Fm Cuarcita Armoricana.
- Fm Santed.
- . Fm Cuarcita de Scolithus.
- Fm Borrachón.

5.4.1.1.1.- Formación Borrachón

Está representada en parte en el extremo suroriental del área cubierta por la cartografía. De los tres tramos en que usualmente se divide, con una potencia en la zona superior a los 600 m, sólo aparece el más alto, formado por pizarras y areniscas gris-amarillentas en las que es posible apreciar una bioturbación discreta, y estructuras hidrodinámicas de pequeña escala: "ripples" de oscilación o "flaser".

Las areniscas están compuestas por cuarzo (45-75%), feldespatos (15-25%) en los que las plagioclasas son dominantes, así como moscovita muy abundante. La matriz es clorítica y los minerales accesorios son: circón, turmalina y rutilo.

Estos materiales se han interpretado como depósitos de llanura mareal fangosa, con aportes de materiales tamaño arena ("sand-mixed flat").

En el área estudiada, esta formación resulta ser azoica, bioturbación excluida. Datos sobre acritarcos de la formación en zonas cercanas, WOLF (1980), permiten atribuirle una edad Tremadociense.

5.4.1.1.2.- Formación Cuarcita de Scolithus

Esta formación está bien representada en la zona estudiada, configurando los relieves más abruptos de su flanco oriental.

Se presenta como una serie (megasecuencia) estrato y granocreciente, predominantemente formada por bancos decimétricos de areniscas gris-amarillentas con laminación horizontal y "ripples"; ocasionalmente aparecen bancos con estratificación cruzada planar. La bioturbación por Scolithus se hace más intensa a techo de la serie, donde también aparece algún nivel con estratificación tipo "hummocky" (capas de tormenta).

Petrográficamente, predominan las areniscas compuestas por cuarzo (50-60%), feldespatos (25%), dominando el feldespato potásico sobre la plagioclasa. También es muy abundante la biotita. La matriz es clorítica y el cemento silíceo. Los minerales accesorios son circón y rutilo.

Sedimentológicamente se interpreta como el resultado de depósitos de llanura mareal, con predominio intermareal ("sand-flat") donde se desarrollaron barras aisladas, reflejadas en los cuerpos con estratificación cruzada planar. La presencia de estratificación "hummocky" indica también la presencia de capas de tormenta.

La fauna está compuesta por Asaphus sp, Cruziana rugosa y Cruziana semiplicata que indican edad Tremadociense.

5.4.1.1.3.- Formación Santed

Básicamente está formada por términos blandos, pizarrosos, en los que se excavan los valles y depresiones del área.

Predominan las pizarras cloríticas, localmente con carácter siltítico dominante, mostrando entonces colores gris-amarillento, mientras que los tramos de dominancia de argilotitas muestran una mayor proporción de colores "reducidos" (gris-verde-negro).

Usualmente la bioturbación que se observa es bastante escasa: tubos y pistas inciertas; son azoicas. Se pueden observar abundantes estructuras de corriente, generalmente de escala milimétrica o centimétrica (las menos): "ripples" de oscilación, interferencia y linguoides. En ocasiones, aparecen "ripples" aislados, centimétricos, de material tamaño arena fina-muy fina (lenticular), más raros son todavía los cuerpos arenosos esferoidales, de tamaño centimétrico (los más frecuentes) hasta métrico, de arena fina-muy fina con cemento silíceo, en los que aparecen cantidades elevadas de fragmentos con conchas de braquiópodos, ocasionalmente ordenados. Se cree que estos cuerpos arenosos pueden corresponder a estruc-

turas de origen biogénico, que se han inyectado en los términos lutíticos por escape de fluidos (deformación hidroplástica) o compactación diferencial. Generalmente contienen una gran cantidad de micas.

De forma esporádica aparecen cuerpos arenosos, lenticulares, de arena de grano fino-medio, con selección positiva, estratificación cruzada en surco ("trough") y con superficie de reactivación, que se interpretan como sedimentos canalizados (canales de marea).

Las intercalaciones arenosas se hacen más frecuentes a techo de la formación, donde tiene lugar un amalgamamiento de litosomas arenosos, que dan una serie de cerros que se alinean al Este de Santed. En estos cuerpos es fácil observar niveles con estratificación cruzada en surco de escala decimétrica hasta métrica; también hay bancos con estratificación cruzada planar. Generalmente hay lutitas (pizarras) a techo de las secuencias arenosas, aunque no siempre se observan debido al desarrollo de superficies de reactivación.

Petrográficamente, estos niveles arenosos corresponden a areniscas líticas, con cuarzo (60%), feldespatos (15-20%), y fragmentos líticos (15%), micas abundantes (biotita-moscovita) y accesorios: circón, turmalina, rutilo.

Merecen especial mención las intercalaciones de ruditas litareníticas, litarenitas rudíticas y litarenitas, que aunque no aflorantes, se han explorado mediante calicatas hacia la base de la Formación Santed, cuyos equivalentes a techo, descritos en el párrafo precedente, ya muestran un componente "exótico" en relación con la serie de componentes petrográficos descritos para otras unidades más antiguas,

como lo son los fragmentos líticos. Estos materiales, generalmente rudíticos, tienen el interés especial de albergar las únicas anomalías de P_2O_5 de toda la zona.

Se trata de materiales tamaño rudita, derivados de la resedimentación de material lutítico ligeramente litificado (intraclastos) con una morfología discoidal-plana ("mud chips" según la terminología anglosajona), con tamaño de grano que va de grava a arena fina, y con espesores totales de varias decenas de metros. Como componentes minoritarios tienen el cuarzo, las micas, los fragmentos de conchas de braquiópodos y los restos de algas. Estos dos últimos componentes suelen mostrar fosfatización. En superficie y en las labores mineras de reconocimiento suelen mostrar una hematización muy profunda y ligera silicificación, generalmente en relación inversa al contenido en hierro. Por su coloración, destacan fuertemente de los niveles pizarrosos infra y suprayacentes, que generalmente tienen tonalidades que indican reducción.

De acuerdo con los datos IGME (op. cit.) la Formación Santed se deposita en una llanura dominada por mareas más fangosa a muro ("mud-mixed flat") y más arenosa a techo ("sand-mixed flat").

En esta hoja no se ha podido datar esta formación, pero los datos sobre Graptolites y Trilobites de la hoja vecina, Ateca (437), permiten datar un Tremadociense aunque el techo ya es del Arenigiense.

5.4.1.1.4.- Formación Cuarcita Armoricana

Esta formación está representada en el borde occidental de la zona estudiada.

En general aparecen tres términos: uno inferior (potencia aproximada 180 m), formado por cuarcitas blancas y rojas, uno intermedio (unos 45 m de espesor) compuesto por pizarras y areniscas en alternancia y otro superior (85 m aprox.) usualmente formado por cuarcitas blancas y rojas. En la zona objeto de este trabajo sólo se ha podido cartografiar el tramo más bajo, a excepción de una zona situada en el tercio más inferior del borde occidental, en el que, por un notable adelgazamiento de la barra cuarcítica de la base, están también representados los dos más altos.

El tramo más inferior, cuarcitas blanquecinas y rojas, tiene algunas pasadas de conglomerados cuarzosos y domina la estratificación cruzada planal sobre la estratificación cruzada en surco. Hay escasa bioturbación; todo el conjunto se interpreta como depósitos de barras.

El tramo medio es fundamentalmente pizarroso con intercalaciones de areniscas de grano fino con estratificación horizontal o planar de bajo ángulo; están ligeramente bioturbadas.

El tramo superior es bastante similar al inferior: cuarcitas blancas y rojas en cuerpos métricos con estratificación cruzada planar.

Al microscopio se presentan como ortocuarцитas, con granos subredondeados de arena fina-media. Cemento silíceo y como accesorios: circón, turmalina y rutilo.

Esta formación se data regionalmente como Arenigiense y contiene Scolithus y Cruziana.

Se interpretan como sedimentos de una área litoral dominada por el desarrollo de barras sobre una llanura litoral.

5.4.1.2.- Materiales recientes

En la zona se han distinguido cuatro tipos de rellenos:

- Glacis antiguos (G).
- Materiales eluviales (El).
- Fondos de Valle (Fv).
- Coluviales (Co).

5.4.1.2.1.- Glacis antiguos

En el ángulo NE del área, se ha podido separar cartográficamente un pequeño cerro, testigo de un glacis de acumulación antiguo, con depósitos de bloques y gravas cuarcíticos subredondeados, empastados en una matriz arcillosa pardo-rojiza.

5.4.1.2.2.- Materiales eluviales

Se han separado, fundamentalmente, en una serie de cerros alineados, paralelos al cierre occidental (Cuarquita Armoricana) del valle en el que se enclava la zona de estudio. Se trata de suelos de alteración ligeramente retocados. Se presentan como brechas muy mal organizadas, con matriz arcillosa roja.

5.4.1.2.3.- Fondos de Valle

Son sedimentos poligénicos, que tras un primer emplazamiento de origen coluvial, han sido retrabajados por algún

arroyo efímero local. Se trata de cantos cuarcíticos y pizarrosos, subredondeados los primeros, ahusados los segundos. A veces aparecen rellenos de este tipo en valles condicionados por la presencia de intercalaciones pizarrosas en una formación cuarcítica, esto se produce de forma más marcada en el borde oriental del área investigada; también a favor del tramo pizarroso intermedio de la Fm Cuarcita Armoricana en el borde Sur.

5.4.2.- Tectónica

La zona estudiada constituye parte de una potente serie paleozoica, que se conoce en trabajos locales como "área monoclinial de la margen izquierda del Jiloca", IGME (op.cit.) la cual, a su vez, forma parte de un bloque levantado que configura el límite suroccidental de la Fosa de Calatayud-Jiloca.

Por lo tanto, esta zona sería parte del límite oriental de la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica y puede considerarse, dentro del conjunto completo de la Cordillera Ibérica, JULIVERT et al (1974), como de tipo intermedio, es decir, la deformación que ha sufrido es de una intensidad intermedia entre la propia de las áreas de plataforma semi horizontales (sin deformar) y los orógenos alpinos (fuertemente deformados). En otras palabras, ha sufrido, en general, deformaciones de pequeña entidad y la actividad magmática fue muy reducida.

Su estilo tectónico corresponde al denominado de zócalo y cobertera, habiendo quedado finalmente configurado tras la acción de los dos grandes ciclos orogénicos: Ciclo Hercínico, que estructuró los materiales paleozoicos, y Ciclo Alpino, que actuó tanto sobre los antes citados como sobre los

mesozóicos y cenozoicos (p.p.) de la cobertera.

5.4.2.1.- Tectónica hercínica

En lo referente al Ciclo Hercínico, según LOTZE (1954) y JULIVERT et al. (op.cit.), por sus características estratigráficas y estructurales, es posible considerarla como una apófisis suroriental dentro de la zona Astur-Leonesa del Macizo Hespérico y, como tal, su rasgo estructural más notorio es el desarrollo de una fase principal de plegamiento, de carácter flexural, a la que corresponden pliegues de direcciones que oscilan de NNO-SSE a N-S, con vergencia ENE, y esquistosidad de plano axial.

También se reconocería una segunda fase de deformación que localmente se manifiesta con el desarrollo de fallas inversas y cabalgamientos, (CAPOTE y GONZALEZ LEDEIRO, 1983).

Finalmente, tuvo lugar la fase de fracturación Permo-Carbonífera (Tardihercínica), de la que existe una amplia representación de fenómenos sincrónicos en el Macizo Hespérico y en el resto de Europa (ARTHAUD y MATTE, 1975-1977), a la que responderán fallas de direcciones NE-SO y NO-SE, que se relacionarán con una actividad magmática importante, cuya manifestación serán los materiales volcánicos del Pérmico.

Esta etapa de fracturación tardihercínica es de una importancia capital ya que estas fallas jugarán un papel muy importante al quedar reactivadas durante la orogenia alpina.

No existen criterios fiables para poder datar la edad concreta de estas formaciones. Regionalmente, se ha establecido la continuidad sedimentaria de todo el Paleozóico hasta

el Devónico medio-superior, faltando todo el Carbonífero superior, mientras que sólo en el área de Montalbán se han localizado materiales de edad Namuriense en una facies "flyschoide" especial, en las que aparecen resedimentados materiales del Devónico superior y Carbonífero inferior (QUARCH, 1975 y CARLS, 1983). Así pues, parece que la orogenia hercínica se prolongó durante parte del Carbonífero superior, mientras que los depósitos del Estefaniense-Autuniense tienen neto carácter de cobertera postorogénica, estando simplemente afectados por desgarres y efectos de la compartimentación de bloques posthercínicos.

5.4.2.2.- Tectónica alpina

Según ALVARO et.al. (1978) la Cadena Celtibérica (Cordillera Ibérica) responde al modelo de tipo aulacógeno, es decir, que funcionó como una estructura de rift complejo, regulado por una tectónica de tipo extensivo, que se desarrolló desde el Triásico hasta el Cretácico superior.

Este estiramiento dió lugar a la reactivación de los sistemas de fallas tardihercínicas, y a la subsiguiente aparición de un graben complejo orientado según una dirección NO-SE, que constituirá uno de los tres elementos de una unión triple, sobre un punto caliente (hot spot) del manto, localizado en la actual región valenciana. En este proceso se pueden separar las siguientes etapas:

- Etapa de pregraben: En esta etapa tiene lugar la denominada actividad Pérmica (sedimentación, volcanismo, fracturación).
- Etapa de graben: Las fallas preexistentes ahora funcionan bajo régimen extensional (ARTHAUD

y MATTE, 1977) pasan a ser fallas normales; se deposita la tectofacies Buntsandstein y finalizará con los carbonatos marinos en facies Muschelkalk.

- Etapa de transición: Aumenta la tectónica extensional, y los "graben" dejan de ser áreas de subsidencia diferencial por amortiguamiento de la actividad de las fallas normales que constituían sus límites. El mayor estiramiento cortical se traducirá en una subsidencia generalizada, con sedimentación de carácter expansivo (F.KEUPÉR) que sobrepasará los límites geográficos de las zonas con desarrollo de sedimentación en graben. El magmatismo, favorecido por el adelgazamiento cortical, se manifestará como efusiones ofíticas, que se adecuan al modelo de HOFFMAN et. al. con el magmatismo básico.
- Etapa de "downwarping": En este momento se generaliza la subsidencia, debido a la extensión y adelgazamiento corticales, alejándose totalmente el esquema de sedimentación del de los depósitos focalizados de las primeras etapas ("graben"). Esta subsidencia se continuará durante todo el Jurásico, con alteraciones relacionadas con los movimientos Neociméricos y Aústricos, desde finales del Jurásico al Cretácico inferior, se traducirán

en alteraciones de caracter paleogeográfico que se manifestarán en la aparición de relieves diferenciales; un fenómeno similar se producirá durante el Cretácico superior.

Esta fenomenología queda quizás más claramente encuadrada si se piensa que esta zona era un área sometida a tectónica extensional, (ALVARO, 1986), en la que una parte de ella (protoibérica) estaba emplazada netamente en una región intracratónica, a la que el estilo tectónico imperante originó primero un rifting y posteriormente la apertura oceánica del Atlántico y Tethys.

Al inicio de este proceso la corteza es frágil (está fría) y se fractura (rifting), dando una estructuración en "graben-horst" que sufrirá un proceso de rápida subsidencia-relleno de materiales clásticos (tectofacies).

Conforme avanza la extensión de la corteza, ésta se adelgaza y se calienta por el progresivo ascenso de la astenosfera produciéndose una subsidencia térmica decadente, que en condiciones de extensión (elevada y uniforme) y de duración adecuada (corta) se traducirá en una acreción importante de la corteza oceánica a lo largo del eje de expansión del margen continental dando un margen continental pasivo, tipo atlántico. El ulterior descenso del gradiente térmico originará una subsidencia por contracción de la corteza, de manera que en la "envolvente" del área sometida a estos procesos, se instaurará una cuenca marina que fosilizará todo el conjunto (Jurásico marino).

A partir del Cretácico superior, la tectónica pasará a ser netamente de caracter compresivo en la que, según ALVARO (1986), se pueden separar tres fases de acortamiento:

- La primera fase tiene una dirección de acortamiento NO-SE y tuvo lugar durante el tránsito Eoceno-Oligoceno.
- La segunda fase origina direcciones de acortamiento NO-SE y generará pliegues de fondo, pliegues de cobertera, fallas inversas y cabalgamientos; en esta fase la cobertera se deslizará a favor de los niveles de despegue del triásico, dando haces de pliegues y cabalgamientos de dirección NO-SE. La edad de esta fase es finioligocena.
- La tercera y cuarta etapas compresivas son de menor entidad y van muy ligadas en el tiempo; darán lugar respectivamente, a pliegues submeridianos y de direcciones NE-SO y ENE-OSO. La primera de ellas se desarrolló en el Aragoniense inferior (Mioceno inferior); la segunda en límite Mioceno inferior-medio.

5.4.2.3.- Tectónica local

Todo lo antedicho puede suponerse válido para la zona de estudio, aunque en ella, su limitada extensión, no permite obtener datos concretos. Tal y como luego se verá, en algunas de las calicatas se han interceptado algunas fracturas, todas ellas de carácter menor, cuya traza podría seguir la dirección de las capas (NO-SE). Se ha identificado una falla en dirección, que en la cartografía MAGNA, IGME (op. cit.) pone en contacto mecánico la Fm. Cuarcita de Scolithus y la Fm. Santed, aunque más propiamente afecta al muro de esta última (Calicata K-1).

5.4.3.- El nivel fosfatado

Como se ha indicado anteriormente, el nivel fosfatado consiste en una potente serie, decamétrica en ocasiones, en la que predominan las ruditas litareníticas gradadas con intercalaciones abundantes de arenitas (litarenitas gradadas más o menos rudíticas, y algunas intercalaciones de lutitas verdes). En los dos primeros casos no existe una diferencia notable en la naturaleza de los componentes de la roca sino únicamente en su tamaño de grano. Se describirán en primer lugar los niveles fosfatados y con posterioridad se tratará su petrografía, consideraciones sobre su contenido en fosfatos y, finalmente, se harán algunas reflexiones sobre su análisis sedimentológico.

5.4.3.1.- Descripción de los niveles fosfatados

Dada la ausencia casi total de afloramientos, se tratará únicamente de los datos proporcionados por las diversas calicatas realizadas (Plano 1), comenzando con la más meridional, aun cuando la numeración de las labores se realizó exclusivamente a partir del orden en que fueron realizadas. De cada una de las calicatas se ha levantado un perfil litológico, a escala 1:200, en donde figuran las características estructurales, litológicas y referencia de muestras.

Asimismo la apertura de calicatas se ha aprovechado también para el levantamiento de columna sedimentológica de detalle en donde se ha determinado potencia, estructura de ordenamiento interno, análisis secuencial, litología, contenido faunístico, etc., que han posibilitado la caracterización del medio ambiente de depósito para la formación Santed y en especial de los niveles fosfatados.

En esta Memoria figuran la representación gráfica de los perfiles de las calicatas y de las columnas estratigráficas correspondientes. (Planos nºs 11 a 25).

Calicata K-8

Esta calicata se realizó fuera ya del nivel fosfatado, que se ha acuñado brúscamente a partir de la calicata situada inmediatamente más hacia el Sur (K-7).

La serie, perteneciente a la Formación Santed, pero inmediatamente a techo de la Fm Cuarcita de Scolithus, comienza con sesenta y cuatro metros de argilolitas verdosas, con escasa bioturbación, micas abundantes a muy abundantes, con alguna pasada métrica en la que domina el tamaño limo. Hacia el metro sesenta y cuatro se cortó un nivel arenoso de grano medio-fino, granoclasificación positiva y base fuertemente erosiva, que fué interpretado como un nivel de arenas canalizadas. Hacia techo la serie sigue siendo muy similar a la descrita, ya que predominan las lutitas con alguna pasada de arenas canalizadas, y un nivel decimétrico de cantos blandos (rudita) en el que la determinación colorimétrica de P_2O_5 no dió resultados positivos. Hacia el metro 114 se identificaron "rill marks".

Esta monótona serie de grano fino, de la que la calicata puso a descubierto más de 129 m, aparentemente parece seguir con características similares, al menos con un espesor dos veces superior al levantado, sin la menor apariencia de niveles fosfatados.

Calicata K-1

Esta calicata, en su inicio, descubre unas cuarcitas blancas, micáceas en bancos decimétricos, que pueden asignarse a la Fm Cuarcitas de Scolithus inmediatamente infrayacente a la Fm Santed.

A continuación aparecen unos cuarenta metros de alternancias de paquetes de areniscas amarillentas de grano muy fino, generalmente en bancos centimétricos, con laminación horizontal, con algunos cantos blandos verdosos dispersos y bases no erosivas, que alternan con paquetes lutíticos verdosos con lenticulas de arena fina y bioturbación visible.

Le siguen algo más de treinta y cinco metros en los que resultan ser dominantes las ruditas litareníticas gradadas, en paquetes que van desde tres metros hasta solo algunos decímetros de espesor, que quedan individualizados por intercalaciones centi o decimétricas de lutitas de color muy vivo, verde turquesa, con algún "ripple" de arena aislado. En la observación directa de la roca, no es posible ver la gradación. Este paquete es el que contiene las anomalías en fosfatos que a simple vista, aparecen como nodulillos verdosos y más frecuentemente como fragmentos de conchas de braquiópodos de color negro, que sólo en una ocasión llegan a constituir una lumaquela de espesor decimétrico.

La serie continúa con unos veinte metros de areniscas de grano fino, color amarillento, cemento hematítico-silíceo, en bancos decimétricos y laminación horizontal, con ausencia de anomalía en P_2O_5 , intercalaciones métricas de argilolitas y limolitas de aspecto masivo, localmente con "ripples", lenticulas y nivelillos de arena fina y color amarillento gris.

A continuación aparecen once metros de ruditas litareníticas gradadas y litarenitas rudíticas gradadas, similares a las descritas en el antepenúltimo párrafo, aunque con intercalaciones lutíticas más conspicuas y un tamaño de grano generalmente menor.

Con el tramo anteriormente descrito, parece que se termina el tramo fosfatado de la Fm Santed, ya que aparecen materiales de grano mucho más fino (8 m de limolitas seguidos de 11,5 m de argilolitas) de colores gris-verde, con micas abundantes, que responden a las características generales de monotonía de la Fm Santed.

Calicata K-7

Aunque esta calicata se abrió algo más hacia el Norte que la calicata K-1, ya descrita en el apartado anterior, se ha preferido alterar ligeramente el orden ya que ésta se abrió para observar la continuidad hacia el N de los niveles puestos a descubierto por la labor K-1, que habían desaparecido a la altura de la calicata K-8; dado que ésta corta mucho menos serie total que la K-1, se ha creído conveniente alterar su descripción.

La calicata comienza exponiendo nueve metros de la Fm Santed típica: lutitas con intercalaciones de areniscas de grano fino y cemento hematítico.

La serie sigue con veinte metros de ruditas litareníticas gradadas (35 m en la labor K-1) a la que siguen treinta metros de litarenitas, con cantos blandos dispersos, en los que está contenido el material fosfatado. Las areniscas son generalmente de grano fino, en bancos decimétricos que se agrupan en niveles métricos, individualizados por intercalaciones métricas de lutitas verdosas con "ripples", en ocasio-

nes de material más grueso. Hacia el techo aparecen cerca de dos metros de ruditas litareníticas gradadas en niveles decimétricos, separados por pasadas centimétricas de lutitas verde-turquesa.

La serie culmina con casi dieciocho metros de lutitas gris verdoso, muy micáceas, con "ripples" y lenticulas de arena, típicas de la Fm Santed.

Calicata K-2

En esta calicata comienza la Fm Santed con 112 m de alternancia de lutitas y niveles métricos de areniscas amarillentas de grano medio-fino-muy fino, con bases planas aparentemente no erosivas, micas abundantes y algún nivelillo slumpado, así como la aparición de "pillow sand" con gran abundancia de fragmentos de conchas en un paquete arenoso cercano a la base. Los paquetes arenosos están separados por intercalaciones métricas de lutitas, que a su vez muestran numerosas intercalaciones decimétricas de areniscas de grano fino-muy fino. En esta parte de la serie no hay una presencia notable de material fosfatado, aunque se ha detectado en algunas pasadas de cantos blandos dispersos en los niveles arenosos. Raramente aparecen niveles rudíticos s.s.

A continuación aparecen los niveles de ruditas litareníticas gradadas con intercalaciones de lutitas verdes, similares a los descritos en la calicata K-1, con una potencia notablemente similar (34 m), aunque hacia techo predominan, más que en el caso anterior, las litarenitas gradadas.

Una intercalación eminentemente lutítica, aunque con pasadas de litarenitas con cantos blandos fosfatados, da paso

a la parte final cortada en esta labor de reconocimiento: ocho metros de areniscas de grano fino, en bancos decimétricos de bases no erosivas, con cantos blandos dispersos fosfatizados, que ocasionalmente aparecen como depósitos muy finos de carga residual ("lag deposits").

Calicata K-6

En la columna de esta calicata, se aprecia netamente como los niveles de ruditas litareníticas gradadas, que ya se habían acuñado sensiblemente en la calicata anterior, aquí han desaparecido totalmente y el material tamaño rudita sólo aparece como cantos blandos verde-amarillentos, dispersos en los niveles de litarenitas gradadas. Tan solo hay un nivel decimétrico a cincuenta y seis metros de la base de la columna, que se puede describir como sigue:

- Un tramo inferior de quince metros de lutitas verdosas micáceas.

- Trece metros de areniscas en paquetes métricos, organizadas en bancos decimétricos de bases no erosivas. Colores amarillentos, granoselección positiva, bioturbación no muy abundante, cemento silíceo. Cantos blandos fosfatados.

- Los restantes sesenta y ocho metros de serie son predominantemente lutíticos: lutitas amarillento-verdosas, con miccas abundantes, "ripples" y algún "pillow sand". Aparecen frecuentes intercalaciones de areniscas verdoso-amarillentas, muy micáceas y de cemento silíceo, con bases planas, no erosivas, con espesores máximos cercanos a los dos metros, aunque no es la tónica habitual. La lámina transparente revela la existencia de abundantes cantos blandos y fragmentos líticos, tamaño arena, que contienen el material fosfatado. Resulta

evidente que hay un neto cambio lateral de las ruditas litare_níticas gradadas de las calicatas situadas más hacia el Norte, a las litarenitas más o menos rudíticas de esta otra labor.

Calicata K-3

La serie comienza con cerca de cuarenta y un metros de alternancia de lutitas y areniscas de grano fino. Las lutitas son de colores amarillos y verdosos con "ripples", bioturbación escasa y lenticulas de arena. Las areniscas son más potentes y de grano más grueso conforme se asciende en la serie. Algunos de los bancos poseen cantos blandos lutíti_cos de color verdoso-amarillento, y en ellos aparecen anomalías de P_2^{05} .

En esta calicata, el nivel pluridecamétrico de ruditas litareníticas gradadas, que se había cortado en las calicatas K-1 y K-3, ha quedado reducido a un espesor de unos seis metros, al que le siguen areniscas (11 m) de grano fino en bancos decimétricos, y con bases planas, mostrando cierta selección positiva. Puede suponerse que éstas (las areniscas) constituirán un cambio lateral de los niveles rudíticos mucho más desarrollados hacia el Norte.

La serie culmina en las argilotitas micáceas y verdosas típicas de la parte más monótona de la Fm Santed.

Calicata K-4

Esta calicata es poco significativa, ya que la presencia de un acuífero superficial y de un potente recubrimiento, hizo imposible reconocer casi toda la serie. Aparentemente en esta zona ya no llegan los niveles "típicos" que se habían

puesto a descubierto en las calicatas K-1, K-2 y K-3, ya que la serie visible es predominantemente de grano muy fino, argilolitas muy micáceas amarillo-verdosas, aunque una intercalación areniscosa, de grano fino con "ripples", color verdoso y una curiosa hematización al ser estudiada en lámina transparente, mostró un cierto contenido de fragmentos de conchas de braquiópodos fosfatizadas, así como algún material rudítico disperso.

Calicata K-5

En esta calicata, ya puede apreciarse de manera absoluta, la completa desaparición de los materiales de tamaño grueso, a la vez que también faltan las litarenitas, que han quedado sustituidas, en su mayor parte, por areniscas cuarzosas de cemento silíceo (ortocuarzitas), aunque en algún caso, la lámina transparente ha permitido evidenciar la existencia de fragmentos líticos, similares al material dominante en las otras calicatas.

La calicata comienza con unos cuatro metros de cuarcitas, que por su posición podrían corresponder al techo de la Fm Cuarcita de Scolithus, dado el carácter gradacional que esta formación tendrá con la Fm Santed.

A continuación aparecen cuarenta metros predominantemente lutíticos, argilolitas verdosas y gris-amarillento muy micáceas, con pasadas centi-decimétricas de arenas finas con "ripples" y base no erosiva. Como en la mayoría de los casos, las lutitas son muy monótonas, presentan bioturbación escasa y "ripples", en ocasiones de arena (lenticulas).

Le siguen en la serie diez metros de cuarcitas amarillentas, con bancos que se hacen más finos hacia techo, sepa-

rándose cinco secuencias merced a cuatro intercalaciones lutíticas decimétricas.

A continuación hay unos seis metros de lutitas similares a las ya descritas, a las que siguen once metros de areniscas de grano fino-medio con "ripples" y laminación horizontal, con sets de morfología lenticular, en especial techos convexos, con cemento silíceo, ocasionalmente muy abundante. La lámina transparente ha permitido observar fragmentos fosfatizados de conchas de braquiópodos. Aparecen intercalaciones de lutitas verdosas con "ripples" y lenticulas de arena.

A techo aparecen treinta metros esencialmente compuestos por lutitas verdosas con "ripples", laminación horizontal y, lo más frecuente, estratificación masiva. También aparecen intercalaciones arenosas, decimétricas o métricas, de grano muy fino, aunque los dos niveles más potentes son de grano medio; en ningún caso las bases son erosivas.

Le siguen en la serie casi treinta metros de alternancia de lutitas y arenas, cuya descripción es similar a la que se ha realizado para el tramo precedente, aunque en este caso hay algún nivel con cantos blandos verdosos, que dieron alguna anomalía colorimétrica.

La serie cortada en la calicata culmina con diecisiete metros de las lutitas verdosas, más o menos arenosas, que constituyen la facies dominante de la Fm Santed.

En conclusión: parece que los niveles de mayor contenido en material fosfatado, RUDITAS LITARENITICAS GRADADAS, se concentran constituyendo una secuencia muy neta, que es una notable singularidad dentro del conjunto conocido de la Fm

CORRELACION TENTATIVA DE LAS COLUMNAS ESTRATIGRAFICAS DE LAS CALICATAS

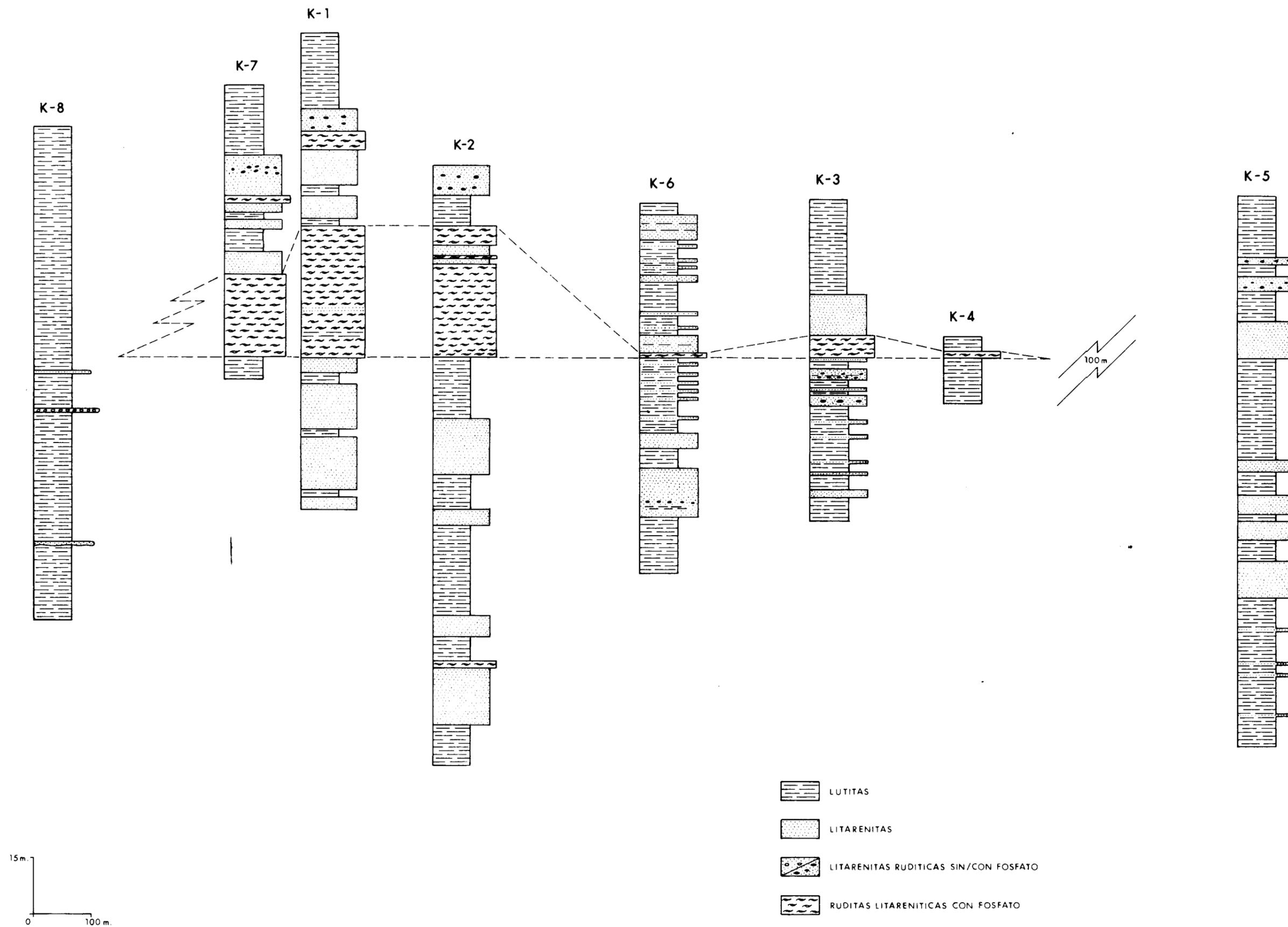


Fig. 5.1

Santed. En la banda en la que aparece, posee un desarrollo importante en espesor (unos 35 m), que rápidamente se acuña lateralmente y desaparece en una distancia inferior a los 800 m. Aparentemente, los niveles métricos de LITARENITAS más o menos RUDITICAS, pero con material fosfatado, en mayor o menor grado, tienen una continuidad mayor y es posible correlacionarlos a lo largo de casi mil quinientos metros.

5.4.3.2.- Los niveles fosfatados en lámina transparente (petrografía)

La mayor parte de las muestras del tramo fosfatizado de la Fm Santed, al ser estudiadas en lámina transparente pueden ser descritas como RUDITAS LITARENITICAS GRADADAS; aunque en la descripción de campo, se recurrió al término anglosajón "mud chip". Estos niveles, petrográficamente, no difieren nada de otros, que por su apariencia más areniscosa, fueron descritos como arenisca con "nódulos", ya que corresponden a LITARENITAS RUDITICAS GRADADAS, en las que los nódulos son fragmentos líticos más o menos rodados; las litarenitas son menos frecuentes.

Fundamentalmente, las muestras están compuestas por fragmentos líticos, y en alguna de ellas, el fuerte empaquetamiento (compactación) hace que lleguen a suponer el 95% de los componentes totales. Todos estos tienen un origen similar: proceden de depósitos fangosos que se estaban sedimentando en áreas adyacentes y que fueron transportados a una distancia presumiblemente corta como copos de barro ("mud chips").

Los componentes petrográficos establecidos fueron los siguientes:

- 1.- Litoclastos verdes, normalmente tamaño arena, de naturaleza glauconítica -chamoisita-. Suelen ser de tamaño intermedio y tienen un buen redondeamiento y esfericidad bastante alta. En campo se han descrito como "nódulos".
- 2.- Litoclastos grises y negros. Son de composición argilítico-arenosa. Algún clasto llega a contener peletoides fosfatados. Poseen un redondeamiento bastante bueno, aunque su esfericidad es realmente muy baja, son los que resultan más visibles y en terminología de campo se han denominado "mud chips" (son discoidales). Son muy abundantes y suponen habitualmente el 60-70% de los componentes de las muestras.
- 3.- Litoclastos marrones. Usualmente contienen restos de algas (mallas) y siempre están fosfatizados; no son muy abundantes.
- 4.- Bioclastos: son fragmentos de braquiópodos de conchas finas. Ocasionalmente alcanzan tamaño rudita; a la lupa presentan colores muy oscuros (negros), en lámina transparente tienen tonos acaramelados, suelen estar orientados y muy frecuentemente están fosfatizados, salvo pérdida ulterior por diagénesis. Ocasionalmente llegan a suponer el 6% de los componentes de la muestra.
- 5.- Cuarzo. Puede llegar a constituir el 10% del total de la muestra, y su tamaño es variable, aunque siempre es de menor tamaño y aparece en menor proporción que los fragmentos líticos. Algunos granos presentan una alta esfericidad y un buen redondeamiento, lo que sugiere un transporte eólico (policíclico).
- 6.- Minerales accesorios: el más abundante es la mica blanca,

que en alguna muestra llega a suponer el 7% del total de componentes. Abundan los circones y las turmalinas; el rutilo es poco abundante, como la biotita.

- 7.- Matriz. Siempre es sericítica llegando, en ocasiones, a suponer el 10% del total de componentes.
- 8.- Cemento: mixto silíceo-hematítico, parece que la llegada de sílice fue anterior a la del hierro.
- 9.- Material fosfatado: su presencia más habitual es sustituyendo el material aragonítico de los fragmentos de conchas de braquiópodos. Más raramente aparece en mallas de algas fosfatizadas o fosfatizando litoclastos (generalmente del tipo 1). La presencia de colofana, apatito o peletoides fosfatizados es, literalmente, excepcional.
- 10.- Diagénesis. Aparentemente, la silicificación parece haber sido el primer proceso diagenético, aunque la fosfatización debió de haber tenido lugar en un estadio todavía más inicial de la diagénesis. La llegada de los fosfatos a los fragmentos orgánicos y líticos debió de ser un proceso literalmente cuasi-sedimentario, anterior a su transporte en forma de partículas fangosas. La silicificación actuó predominantemente sobre la matriz sericítica y los clastos verdosos (1) de naturaleza chamoisítica-glaucónica, en los que dió halos de silicificación. Cuando ésta se hace más intensa, se empiezan a silicificar los fragmentos bioclásticos y los restantes tipos de fragmentos líticos (2,3), y esto se traduce en la expulsión del material fosfatado.

La hematización parece haber sido un fenómeno último: tiñe muy intensamente los fragmentos de conchas de bra-

quiópodos, estén o no previamente silicificados; también desplaza la fosfatización que no hubiera sido afectada por la silicificación, en ocasiones desaparece totalmente. Finalmente rellena huecos y fisuras. En definitiva: es un genuino proceso de cementación que parece haberse dado con preferencia en un material de mayor tamaño de grano, las ruditas, más poroso que los que constituyen su techo y muro o se intercalan en ellos (lutitas verdes y grises). Esta hematización podría variar en intensidad, en profundidad desde la superficie de afloramiento.

A la vez que la silicificación, aparecen arcillas de neoformación que están relacionadas con los clastos verdosos (1) de naturaleza glauconítica-chamoisítica.

Parece posible que los fosfatos sustituidos por sílice o hierro, sean el origen de la presencia de colofana o apatito de neoformación, detectados en alguna muestra.

También a la diagénesis precoz responde la presencia de estructuras de escape de fluidos: "tepees" y deformaciones fluidales.

5.4.3.3.- Análisis químico del material fosfatado

Con el fin de conocer los contenidos en P_2O_5 del material con anomalía colorimétrica, o con una facies favorable para contener fosfatos, se procedió al desmuestre sistemático de todos los niveles de "mud chips" o de areniscas con "nódulos". Se tomó una muestra cercana a los 1.000 g de peso y en los niveles potentes se muestreó el nivel (realizando una roza). Los resultados pormenorizados de los análisis aparecen en el Anexo 1 (Laboratorios), aunque ahora merece hacer algunas consideraciones.

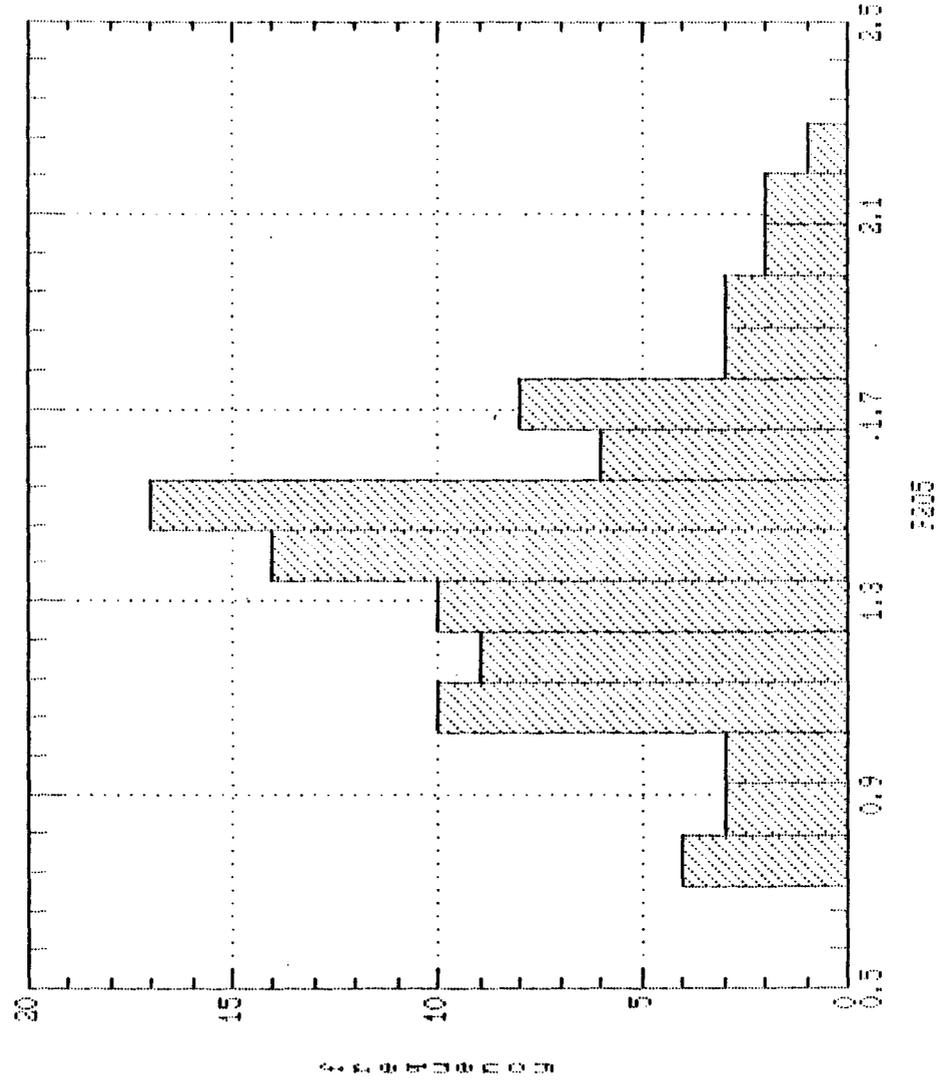
- No se han encontrado unos contenidos elevados en P_2O_5 , ya que el máximo contenido detectado es del 2,25%, mientras que el mínimo es de 0,75%. Si se representan en histograma los valores obtenidos, Fig.5.2, se aprecia claramente que la mayor parte de los valores se sitúan entre 1,0 y 1,7% de contenido en P_2O_5 y si se intenta comprobar si esta distribución es normal, resulta (Fig. 5.3) que se aleja netamente de ella. El test de Kolmogorov-Smirnov indica que hay menos de uno por mil de probabilidad de este ajuste.

- En la Tabla 1 se recogen algunos parámetros estadísticos de interés: el valor medio del contenido en P_2O_5 es del 1,40%, mientras que la desviación típica de la muestra es de 0,103. Estos dos valores indican que la variabilidad de la muestra ($0,103/1,4 \times 100$) es manifiestamente baja (7,3%).

5.4.4.- Características sedimentológicas del material fosfatado

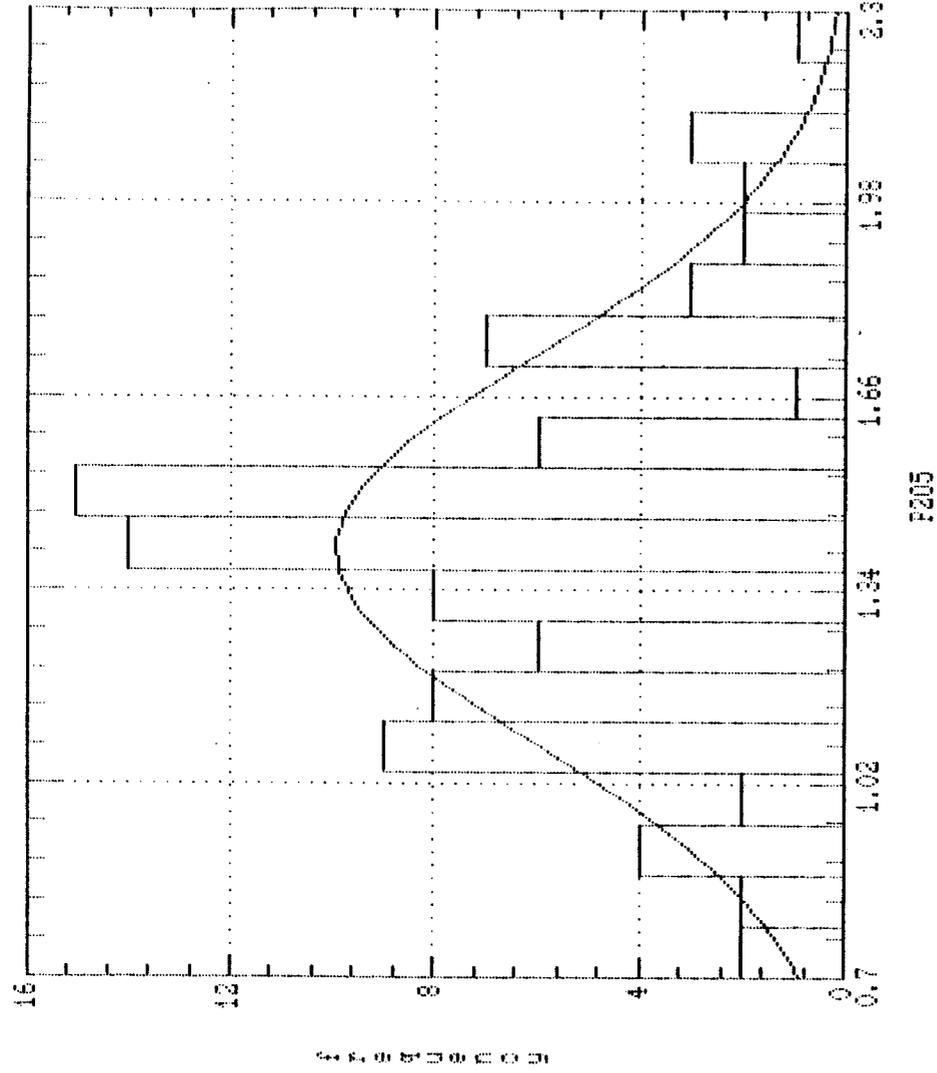
Tal y como se ha visto en la descripción de las calicatas y columnas estratigráficas (Planos nºs 11 a 25) y en el apartado de Petrografía, el material fosfatado queda incluido en una litología muy bien determinada: Ruditas litareníticas gradadas y litarenitas, rudíticas o no. Estos materiales, en los que predominan los fragmentos líticos, están siempre presentes en la Fm Santed, aunque dada su naturaleza, eminentemente lutítica (pizarras), su acumulación en una banda de longitud y espesor determinados, constituyen una singularidad, dentro de las condiciones generales de depósito de la Fm Santed, en realidad de escasa relevancia, dado que se acuñan rápidamente y no vuelven a aparecer.

Se puede suponer que los litoclastos, en su estadio inicial, es decir antes de tener esta naturaleza, formaban



HISTOGRAMA DEL CONTENIDO EN PROM DE LAS MUESTRAS DE LA FORMACION SANTEDE

Fig. 5.2



ESTIMATED PARAMETERS: 1.4068 0.32147
 CHI-SQ GOODNESS-OF-FIT STATISTIC = 13.07 WITH 8 DEGREES OF FREEDOM
 PROBABILITY OF A LARGER VALUE = 0.10945

KOLMOGOROV-SMIRNOV TEST
 ESTIMATED KOLMOGOROV STATISTIC DPLUS = 0.077134
 ESTIMATED KOLMOGOROV STATISTIC DMINUS = 0.049401
 ESTIMATED OVERALL STATISTIC DN = 0.077134
 APPROXIMATE SIGNIFICANCE LEVEL = 0.99946

Fig. 5.3

NUMBER OF OBSERVATIONS = 95

SAMPLE AVERAGE = 1.40684

SAMPLE VARIANCE = 0.103343

SAMPLE STANDARD DEVIATION = 0.32147

MINIMUM VALUE = 0.75 MAXIMUM = 3.25 RANGE = 1.49

LOWER AND UPPER QUANTILES = 1.16 1.58

INTERQUARTILE RANGE = 0.42

MEDIAN = 1.42

COEFF. OF SKEWNESS = 0.237459 STANDARDIZED VALUE = 0.944374

COEFF. OF KURTOSIS = 2.83794 STANDARDIZED VALUE = -0.322425

TABLA 5.1

parte de una llanura fangosa ("mixed-mud flat") dominada por mareas con condiciones de depósito reductoras.

Los intraclastos discoidales ("mud chips") según JAMES (1979) se generan en zonas intermareales altas, HECKEL (1972) les da una distribución ligeramente más amplia ya que en su opinión se pueden generar entre la zona intermareal y submareal muy somera, ambientes que no difieren del que se había supuesto IGME (op.cit.) para esta Formación. No obstante, el nivel con fosfatos presenta algunas características que merecen ser subrayadas:

- Los materiales que forman los fragmentos líticos debieron de tener algún tipo de litificación, aunque también debió de influir el desarrollo de velos de algas, que no suelen abundar. Cabría pensar en una llanura mareal con charcas ("ponds"), dominada por mareas, en la que se precipitarían silicatos ricos en hierro (chamoisita y glauconita) en ambiente reductor (el hierro vendría del continente más o menos cercano).
- La acción de las mareas propicia el arranque y transporte de los litoclastos de naturaleza lutítica, aunque en este caso, la gran potencia de estos materiales, su extensión lateral, su monotonía y la presencia de intercalaciones de lutitas, llevan a pensar en la existencia de un mecanismo genético, (pro parte al menos), de transporte y acumulación, con un nivel de energía netamente mayor.
- La existencia de niveles gradados en todas las muestras, la ausencia de bases erosivas, son factores que coadyudan a pensar en que nos encontramos ante capas de tormentas, quizás acumuladas no en una zona intermareal, sino más po-

posiblemente (dada la envergadura de los depósitos) en una zona en régimen submareal más o menos alto.

5.4.5.- Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

De los datos obtenidos de los trabajos de campo y laboratorio, pueden sacarse las siguientes conclusiones:

- En la Fm Santed existe un nivel fosfatado de importante espesor y desarrollo lateral cercano a los 800 m.
- El nivel fosfatado se sedimentó inicialmente en un ambiente dominado por mareas, siendo acumulado, por la acción de tormentas, como ruditas litareníticas gradadas y litarenitas rudíticas.
- La fosfatación se produjo en la diagénesis precoz, seguida más tarde por una silicificación y, con posterioridad, por una hematización muy importante que desplazó al fosfato y a la sílice.
- Los contenidos en fosfatos son muy bajos, aunque la ausencia de normalidad en la distribución se puede considerar indicativo de que estos bajos contenidos pueden deberse a la diagénesis de la sílice y del hierro, tal como se puso de manifiesto en el estudio en lámina transparente.

Recomendaciones

Los bajos contenidos en P_2O_5 detectados en los análisis químicos, no permiten recomendar la realización de nuevos trabajos de investigación minera en la Fm. Santed. No obstante, ante la gran potencia del nivel de fosfatos, cabe la posibilidad de que un contenido inicial netamente más alto, hubiera quedado enmascarado por la diagénesis del hierro (hematización) con expulsión de fosfatos, y que estos estuvieran en zonas no alteradas del nivel de capas de tormenta (ruditas), más profundas a las que no habrían llegado aguas oxidantes, que se movieron a favor de su granulometría, más grosera que las de las pizarras de techo y muro que están inalteradas. Así pues, se cree oportuno recomendar la realización de algunos sondeos mecánicos de reconocimiento con recuperación de testigo continuo, con una profundidad estimada de 150-200 m, con objeto de cortar la serie fuera de la zona de alteración.

5.4.6.- Bibliografía

- ALVARO, R., CAPOTE, R. y VEGAS, R. (1978).- Un modelo de evolución geotectónica para la Cordillera Celtibérica Acta Geol. Hisp. Libro Hom. Profol Sabaris (in litt.).
- ALVARO, R. (1986).- Análisis preliminar de la subsidencia en el sector central de la Cordillera Ibérica. C.G.S.-IGME. (Inédito).
- ARTHAUD, F. y MATTE, Ph. (1975).- Les décrochements tardy-hercyniens dans le Sud Ouest de l'Europe. Geometrie et essai de reconstruction des conditions de la deformation. Tectonophysics, 25:139-71.
- ARTHAUD, F. y MATTE, Ph. (1977).- Late Paleozoic strike slip faulting in Southern Europe and Northern America: result of a righth lateral shear zone between the Appalachians and the Urals. Geol. Soc. Am. Bull. 88:1305-1320.
- CARLS, P. (1975).- The Ordovician of The Eastern Iberian Chins near Fombuena and Luesma (prov. Zaragoza, Spain). N.Jb. Geol.Pal.Abh. 150 (2): 127-140 Stuttgart.
- HECKEL, P.H. (1972).- Recognition of ancien shallow marine environments. In Recognition of ancien sedimentary environments. RIGBY, J.K. and HAMBLIN W.K. Eds. Soc. Econ. Pal. Min. Spec. Publ., 16: 226-286.
- IGME (1983).- Hoja geológica MAGNA, núm. 465 (DAROCA). 76 p.

- JAMES, N.P. (1979). Shallowing upward sequences in carbonates. In Facies Models WALKER R.G. Ed. Geos. Canada Reprint ser, 1:109-119.
- JULIVERT, M., FONTBOTE, J.M., RIBEIRO, A. y CONDE, C. (1972-1974). Mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares. IGME 113 pp.
- LOTZE, F. (1954). Estratigrafía y tectónica de las Cadenas Paleozóicas Celtibéricas. Publ. Esx. Geol. Esp. Itto. Lucas Mallada, 8:1-315.
- WOLF, R. (1980). The lower and the upper boundary of the Ordovician System of some selected regions (Celtiberia, Eastern, Sierra Morena in Spain). Part 1: The lower Ordovician sequence of Celtiberia. N.Jb. Geol. Pal. Abh. 160 (1): 118-137.

ANEXO I
LABORATORIOS

ANEXO 1. LABORATORIOS

1.- Análisis químicos

En la numeración binaria (primera columna) la primera cifra indica el número de orden de la calicata, la segunda el de la muestra.

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>% P₂O₅</u> |
|-------------------|-------------------------------------|
| I-1 | 2,13 |
| I-2 | 1,54 |
| I-3 | 1,59 |
| I-4 | 1,62 |
| I-5 | 1,45 |
| I-6 | 1,44 |
| I-7 | 1,48 |
| I-8 | 1,69 |
| I-9 | 1,53 |
| I-10 | 1,53 |
| I-11 | 1,29 |
| I-12 | 1,29 |
| I-13 | 1,45 |
| I-14 | 1,75 |
| I-15 | 1,21 |
| I-16 | 1,40 |
| I-17 | 1,42 |
| I-18 | 1,42 |
| I-19 | 1,16 |
| I-20 | 1,40 |
| I-21 | 1,50 |
| I-22 | 1,18 |
| I-23 | 1,14 |
| I-24 | 1,12 |
| I-25 | 0,96 |

| <u>Nº MUESTRA</u> | | <u>% P₂O₅</u> |
|-------------------|-------|-------------------------------------|
| I-26 | ..... | 1,21 |
| I-27 | ..... | 1,51 |
| I-28 | ..... | 1,86 |
| I-29 | ..... | 1,13 |
| I-30 | ..... | 0,81 |
| I-31 | ..... | 0,95 |
| I-32 | ..... | 1,28 |
| I-34 | ..... | 0,81 |
| I-35 | ..... | 0,88 |
| I-36 | ..... | 0,76 |
| I-36B | ..... | 1,53 |
| <hr/> | | |
| II-2 | ..... | 1,11 |
| II-4 | ..... | 1,07 |
| II-6 | ..... | 1,36 |
| II-7 | ..... | 1,75 |
| II-8 | ..... | 2,09 |
| II-10 | ..... | 0,90 |
| II-11 | ..... | 1,43 |
| II-12 | ..... | 1,94 |
| II-13 | ..... | 1,74 |
| II-14 | ..... | 1,40 |
| II-15 | ..... | 1,60 |
| II-16 | ..... | 1,48 |
| II-17 | ..... | 2,05 |
| II-19 | ..... | 1,75 |
| II-20 | ..... | 1,16 |
| II-21 | ..... | 1,97 |
| II-22 | ..... | 1,30 |
| II-23 | ..... | 1,76 |
| II-24 | ..... | 1,80 |

| <u>Nº MUESTRA</u> | | <u>% P₂O₅</u> |
|-------------------|-------|-------------------------------------|
| II-25 | ..... | 1,76 |
| II-26 | ..... | 1,33 |
| II-28 | ..... | 1,31 |
| II-30 | ..... | 1,25 |
| II-31 | ..... | 1,25 |
| II-32 | ..... | 0,76 |
| II-33 | ..... | 1,58 |
| II-34 | ..... | 1,42 |
| II-35 | ..... | 2,25 |
| II-36 | ..... | 1,86 |
| II-37 | ..... | 1,89 |
| II-38 | ..... | 1,75 |
| II-39 | ..... | 1,06 |
| <hr/> | | |
| III-58 | ..... | 2,00 |
| III-59 | ..... | 1,41 |
| <hr/> | | |
| VI-41 | ..... | 0,87 |
| VI-44 | ..... | 1,52 |
| VI-45 | ..... | 1,33 |
| VI-47 | ..... | 1,48 |
| <hr/> | | |
| VII-71 | ..... | 1,38 |
| VII-72 | ..... | 1,46 |
| VII-73 | ..... | 1,48 |
| VII-74 | ..... | 1,56 |
| VII-75 | ..... | 1,53 |
| VII-77 | ..... | 1,18 |
| VII-78 | ..... | 1,62 |
| VII-79 | ..... | 1,35 |
| VII-80 | ..... | 1,43 |

| <u>Nº MUESTRA</u> | | <u>% P₂O₅</u> |
|-------------------|-------|-------------------------------------|
| VII-81 | ..... | 1,44 |
| VII-82 | ..... | 1,27 |
| VII-83 | ..... | 1,20 |
| VII-85 | ..... | 1,46 |
| VII-86 | ..... | 1,15 |
| VII-87 | ..... | 1,08 |
| VII-88 | ..... | 1,06 |
| VII-89 | ..... | 1,11 |
| VII-90 | ..... | 1,02 |
| VII-92 | ..... | 1,12 |
| VII-93 | ..... | 1,06 |
| VII-94 | ..... | 1,53 |
| VII-99 | ..... | 0,70 |

2.- Lámina transparente

Como en el apartado anterior, la numeración de la muestra es binaria, la primera cifra indica el número de orden de la calicata, la segunda el número de orden de la muestra.

. 1-2

RUDITA LITARENITICA GRADADA. Cuarzo 4-5%, subredondeado-subanguloso, heterométrico (limo fino-arena media). Feldespatos (1%). Fragmentos líticos 50-55%. Silicificación, hematización. F. fósiles 5% (t. rudita). Mátrix sericítica. Minerales accesorios: moscovita, turmalina y pirita framboidal.

. 1-4

RUDITA LITARENITICA GRADADA. Cuarzo 3-4%, f. arenisca 1%, litoclastos 70-75%. F. conchas fosfatadas 4%, ligera hematización. Hay litoclastos verdosos con redondeamiento alto (glauconita-chamoisita) y otros de mayor tamaño con peor redondeamiento, de naturaleza argilítico-limolítico. Accesorios: turmalina, moscovita y pirita (rara).

. 1-11

RUDITA LITARENITICA GRADADA. Cuarzo 10% (limo grueso-arena fina), litoclastos 75% tamaño rudita (argilíticos con materia orgánica), arenita (muy bien redondeados de naturaleza chamoisítico-glauconítica). Poca matriz sericítica. Fosfato peloidal en litoclastos tamaño rudita. Micas de neoformación. Hematización y silicificación.

. 1-12

RUDITA LITARENITA GRADADA. Cuarzo 5%, heterométrico (limo grueso-grava), litoclastos 80%, tamaño arena (grises), tamaño rudita (con materia orgánica) y tamaño rudita (en litoclastos de fracción arena). Restos de mallas algales fosfatadas. 6% de restos de conchas fosfatadas. Ligera hematización.

. 1-14

RUDITA LITARENITICA GRADADA. Cuarzo 5% (heterométrico), litoclastos 80% (lutíticos y chamoisíticos-glauconíticos), algunos con textura peloidal con fosfatos. Texturas de compactación diferencial.

. 1-18

RUDITA LITARENITICA GRADADA. Cuarzo 2-3% (limo grueso-arena), 1% de litoclastos de arenisca cuarcítica. 70% de litoclastos lutíticos (30% de naturaleza glauconítica-chamoisítica y el resto argilítica con materia orgánica. 4% de conchas fosfatadas. Silicificación. Arcillas neoformación.

. 1-20

RUDITA LITARENITICA GRADADA. Cuarzo 10% (limo grueso-arena fina) subredondeado-subanguloso. 75% de fragmentos líticos, algunos con granos de cuarzo y mallas de algas, otros argilíticos con abundante materia orgánica y otros de naturaleza chamoisítica-glauconítica. 6% de fragmentos de conchas fosfatadas. Micas de neoformación y silicificación.

. 1-31

RUDITA LITARENITICA GRADADA. Fragmentos de conchas silicificadas. Silicificación y hematización Micas de neoformación, derivadas de los litoclastos de naturaleza chamoisítica-glauconítica.

. 1-36

RUDITA LITARENITICA GRADADA. Cuarzo 2% (arena media), 80% de fragmentos líticos de los que el 30% corresponde a los de naturaleza chamoisítica-glauconítica y el 3-4% a litoclastos de limolitas; el resto son de argilolitas con abundante materia orgánica. 5% de restos fósiles fosfatizados-hematizados. Halos de silicificación.

. 2-1

CUARZANERITA DE CEMENTO SILICEO. Cuarzo 90% (homométrico, bien redondeado), 3% de fragmentos de conchas fosfatizadas. Accesorios: turmalina, circón moscovita. Matriz sericítica.

. 2-3

LUTITA ARENOSA. Cuarzo 25% (limo grueso arena fina), litoclastos 10% (glauconítico-chamoisíticos), 6% de moscovita, 4% de f.fósiles fosfatizados. Accesorios: turmalina, circón. Matriz sericítica silicificada.

. 2-7

LITARENITA. Cuarzo 8% (subanguloso-subredondeado), 70% de fragmentos líticos (arena media-gruesa) de colores verdosos

(glaunoníticos-chamoisíticos) marrones (ligeramente fosfatizados) y negros (argilita con materia orgánica). 5% de fragmentos de fósiles fosfatizados. Silicificación.

. 2-9

RUDITA LITARENITICA GRADADA. Cuarzo 5% (arena media), litoclastos 70%, tamaño grava: verdosos (glaunoníticos-chamoisíticos), grises (f. de lutitas aleuríticas con mallas de algas fosfatizadas), negros (lutíticos con m. orgánica). 6% de f. de conchas fosfatizadas. Silicificación incipiente.

. 2-18

RUDITA LITARENITICA GRADADA. Cuarzo 5% (arena media), 80% de litoclastos, ver muestra anterior. Ligera hematización. Silicificación media.

. 2-27

RUDITA LITARENITICA GRADADA. Cuarzo 5% (arena media-gruesa homométrica), 80% de fragmentos líticos (ver muestra 2-9). 6% de fragmentos de fósiles fosfatizados. Ligera hematización y silicificación.

. 2-29

LITARENITA. Cuarzo 60% (limo grueso-arena media), 20% de fragmentos líticos (tamaño arena media y generalmente silicificados), 5% de moscovita. Turmalina y circón. 2-3% de micas neoformación. 2-3% de fragmentos de fósiles fosfatizados. Matriz sericítica. Sulfuros.

. 2-31

LITARENITA RUDITICA. Cuarzo 70%, 20% fragmentos líticos (ver 2-29), moscovita 5%. Matriz sericítica.

. 2-33

LITARENITA RUDITICA. Cuarzo 60% (arena fina-media), 20% f. líticos (ver 2-29). 3% moscovita. Accesorios: turmalina y circón. Fragmentos de fósiles fosfatizados. Matriz sericítica.

. 2-39

LITARENITA RUDITA. Cuarzo 60% (arena fina-media), 25% fragmentos líticos (ver 2-33). 5% moscovita. Turmalina, circón. Fósiles fosfatizados, matriz sericítica.

. 3-53

LITARENITA. Cuarzo 25% (limo grueso-arena muy fina), fragmentos líticos 30% (arena media-gruesa) verdosos (glauconíticos-chamoisíticos) o negros (con materia orgánica), 4% de fragmentos de fósiles fosfatizados, algo hematizados. Matriz sericítica. Cemento silíceo.

. 3-54

RUDITA LITARENITICA GRADADA. Cuarzo 2-3%. Fragmentos líticos 80% (ver muestra 2-9). Hematización total. Silicificación dando envueltas de granos.

. 3-55

RUDITA LITARENITICA. Cuarzo 3%. Fragmentos líticos 80% (ver muestra 2-9). Hematización total, silicificación importante. Cuarzos idiomorfos de neoformación. Apatito (raro). Cantos blandos fosfatados en envueltas y núcleo.

. 3-56

ARENISCA LITICA. Cuarzo 50% (limo grueso-arena fina), fragmentos líticos 10-15%. Moscovita 5%. Abundante matriz sericitica. Cemento silíceo. 5% de fragmentos de fósiles fosfatados, ligeramente silicificados.

. 3-57

ARENISCA LITICA. Cuarzo 30% (arena fina-media, subredondeada). Fragmentos líticos 45% (arena media-gruesa). 2% de fragmentos de fósiles fosfatizados y hematizados. Turmalina, moscovita. Ligera gradación separada por cicatrices (?) hematizadas.

. 3-60

LITARENITA. Cuarzo 15%. Fragmentos líticos 70% (tamaño arena rudita), cantos de material siliciclástico con fragmentos de mallas de algas fosfatizadas, otros verdosos de naturaleza glauconítica-chamoisítica. Fragmentos de fósiles silicificados. Fuerte silicificación general.

. 3-61

ARENISCA LITICA. Cuarzo 60% (arena media-fina). Fragmentos líticos 15% (glauconíticos-chamoisíticos, arenosos y argilíticos con mallas de algas). 3% de fragmentos de fósiles muy silicificados.

. 3-62

RUDITA LITARENITICA GRADADA. (ver muestra 2-9). Fragmentos de fósiles orientados y fosfatizados. No hay hematización. Ligera silicificación.

. 3-63

RUDITA LITARENITICA GRADADA. Cuarzo 10% (limo-arena fina) 75% de fragmentos líticos (ver 2-9). La silicificación afecta primordialmente los clastos de naturaleza siliciclástica (limolítica). 3% de fragmentos de fósiles fosfatizados. Silicificación media. Hematización importante.

. 4-50

LITARENITA RUDITICA. Cuarzo 15% (arena fina-media), f. líticos (arena gruesa-rudita), 3% de restos fósiles fosfatizados y hematizados.

. 4-51

LITARENITA RUDITICA. Cuarzo 15% (arena fina-media), 60% de fragmentos líticos (arena gruesa-rudita). 3% de fragmentos de fósiles fosfatizados y hematizados. Importante hematización general.

. 5.110

CUARCITA (ORTOCUARCITA) DE GRANO FINO. Cuarzo 95%, granos subredondeados, homométricos. Circón muy abundante, turmalina frecuente. Rutilo y melanócratos raros. Fantasmas de fragmentos de fósiles.

. 6-41

RUDITA LITARENITICA GRADADA. Cuarzo 15% muy heterométrico (limo-arena media), estructuras "flaser" y "tepee". Moscovitas orientadas. Fragmentos fósiles fosfatizados. Litoclastos (ver 2-9).

. 6-42

RUDITA LITARENITICA GRADADA. Cuarzo 15%, heterométrico (limo medio-arena media), subanguloso-subredondeado. Fragmentos líticos 60% (ver muestra 2-9). 6% de fragmentos de fósiles hematizados, silicificados y fosfatizados. Estructuras de escape de fluidos. Matriz sericítica.

. 6-43

RUDITA LITARENITICA GRADADA. Cuarzo 4%. Fragmentos líticos 80% (ver muestra 2-9). Ligera fosfatización general. 5% de fragmentos de fósiles tamaño rudita. Algo silicificada. Muy hematizada.

. 6-45

LITARENITA RUDITICA. Ver muestra 4-51.

. 6-46

LITARENITA. Cuarzo 15% heterométrico (limo grueso-arena media) subanguloso-subredondeado. Fragmentos líticos tamaño arena media, muy silicificados. Matriz sericítica.

. 6-47

LITARENITICA RUDITICA GRADADA. Ver muestra 6-46.

. 7-70

RUDITA LITARENITICA GRADADA. Cuarzo 3%. Fragmentos líticos 70% (ver muestra 3-9). Frecuente arcilla de neoformación a expensas de los cantos chamoisíticos-glaucóníticos (tamaño rudita). Silicificación. Hematización importante que rellena fisuras.

. 7-76

RUDITA LITARENITICA GRADADA. Cuarzo 3% (arena media-gruesa). Fragmentos líticos 85% (ver muestra 3-9) los de glauconita-chamoisita tamaño arena media, los limolíticos son tamaño rudita. Se observa que la materia orgánica abundante inhibe la silicificación y la hematización. Cantos con mallas de algas fosfatizadas. Matriz sericítica.

. 7-91

RUDITA LITARENITICA GRADADA. Cuarzo 5%. Fragmentos líticos 85%. Abundancia de litoclastos ricos en materia orgánica. Ligera hematización y silicificación.

. 7-95

LITARENITA. Cuarzo 15% (arena media-limo). Fragmentos líticos 70% (arena media-gruesa) muy silicificados. 5% de fragmentos de fósiles fosfatizados sobre todo en los bordes. 15% de matriz sericítica. Ligera hematización.

. 7-96

RUDITA LITARENITICA GRADADA. Cuarzo 3% (arena media-gruesa). 75% de fragmentos líticos (ver muestra 3-9), los chamoisítico-glaucionítico son tamaño arena gruesa, mientras que los de material siliciclástico son de tamaño rudita. 4% de fósiles fosfatizados y levemente silicificados. Hematización selectiva: se centra en la fracción rudítica de los clastos de naturaleza siliciclástica. Hematización importante que rellena fisuras.

. 7-97

RUDITA LITARENITICA GRADADA. Cuarzo 3% (arena media-gruesa), rudita; de naturaleza siliciclástica, hay mallas de algas fosfatizadas.

. 7-98

LITARENITA. Ver muestra 7-95

. 7-100

RUDITA LITARENITICA GRADADA. Cuarzo 3% (arena media-gruesa), fragmentos líticos 85% (ver muestra 7-96). Poca hematización y silicificación.

. 7-101

RUDITA LITARENITICA GRADADA. Cuarzo 5%. Fragmentos líticos 85% (ver muestra 7-96). Mallas de algas fosfatizadas. 4% de fósiles (fragmentos) fosfatizados con los bordes silicificados.

. 7-102

LITARENITA. Ver muestra 7-95.

3.-Análisis colorimétricos

Se ha empleado el método Saphiro.

En la numeración binaria de la muestra, la primera cifra indica el número de orden de la calicata, la segunda el de la muestra.

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>%P₂O₅</u> |
|-------------------|------------------------------------|
| 1-33 | >1 |
| 2-1 | 1 |
| 2-18 | 2 |
| 2-27 | >5 |
| 2-29 | <1 |
| 3-53 | >2 |
| 3-55 | 0,5 |
| 3-61 | 1 |
| 6-43 | <1 |
| 7-94 | >2 |

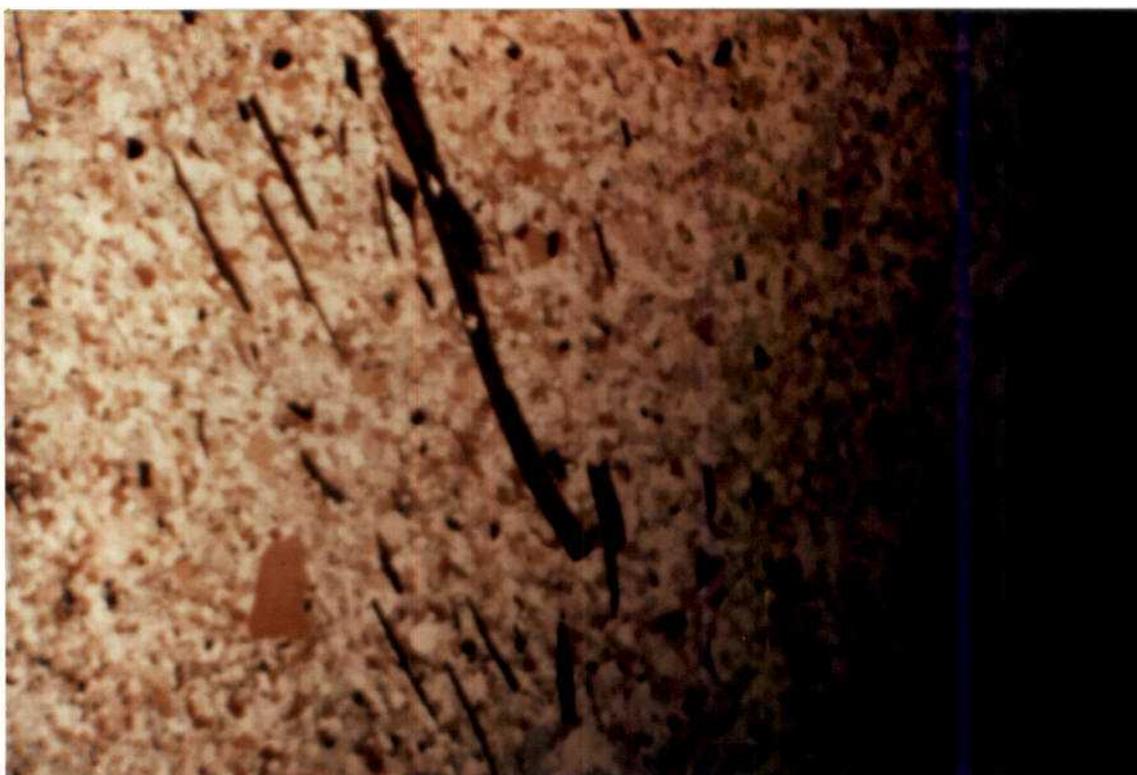
ANEXO II

FOTOGRAFIAS LAMINAS TRANSPARENTES



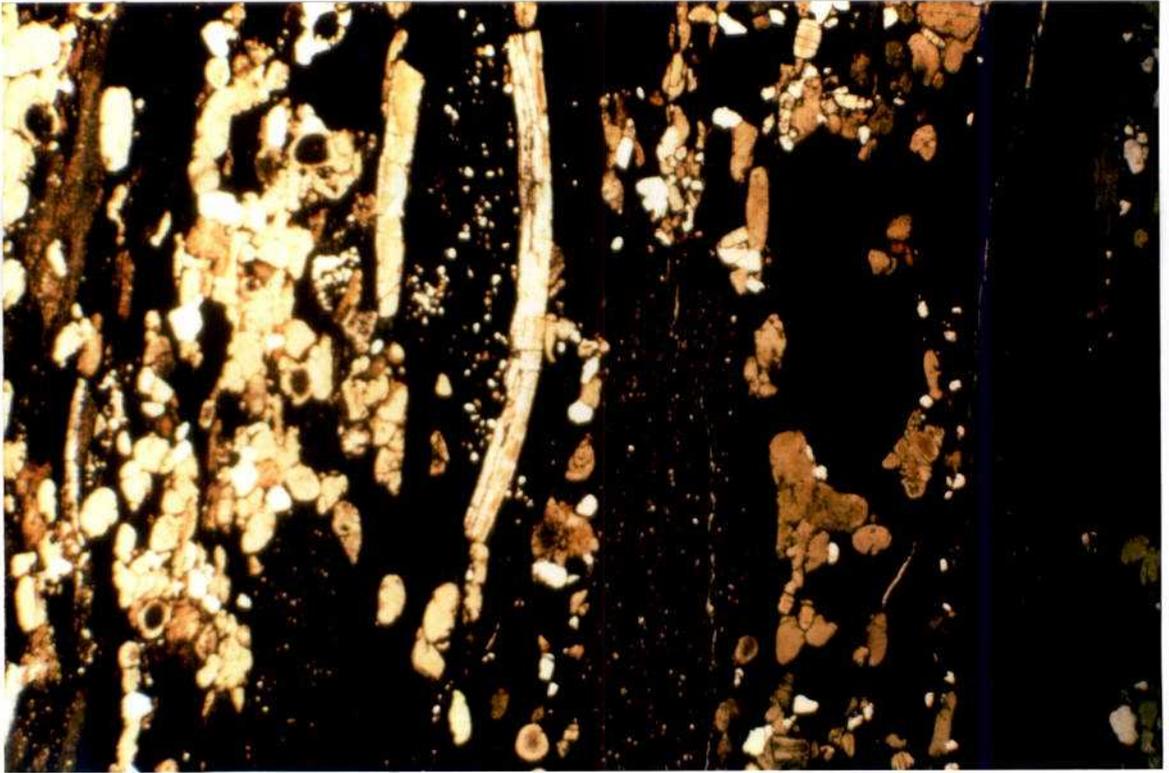
FOTOGRAFIA 1.

Muestra 1-11: RUDITA LITARENITICA GRADADA. Q-10%, Litoclastos 75%, F.fósiles. Conchas fosfatizadas, litoclastos de material siliciclástico (s), chamoisítico-glaucónítico (g) y f. conchas fosfatizadas (c).



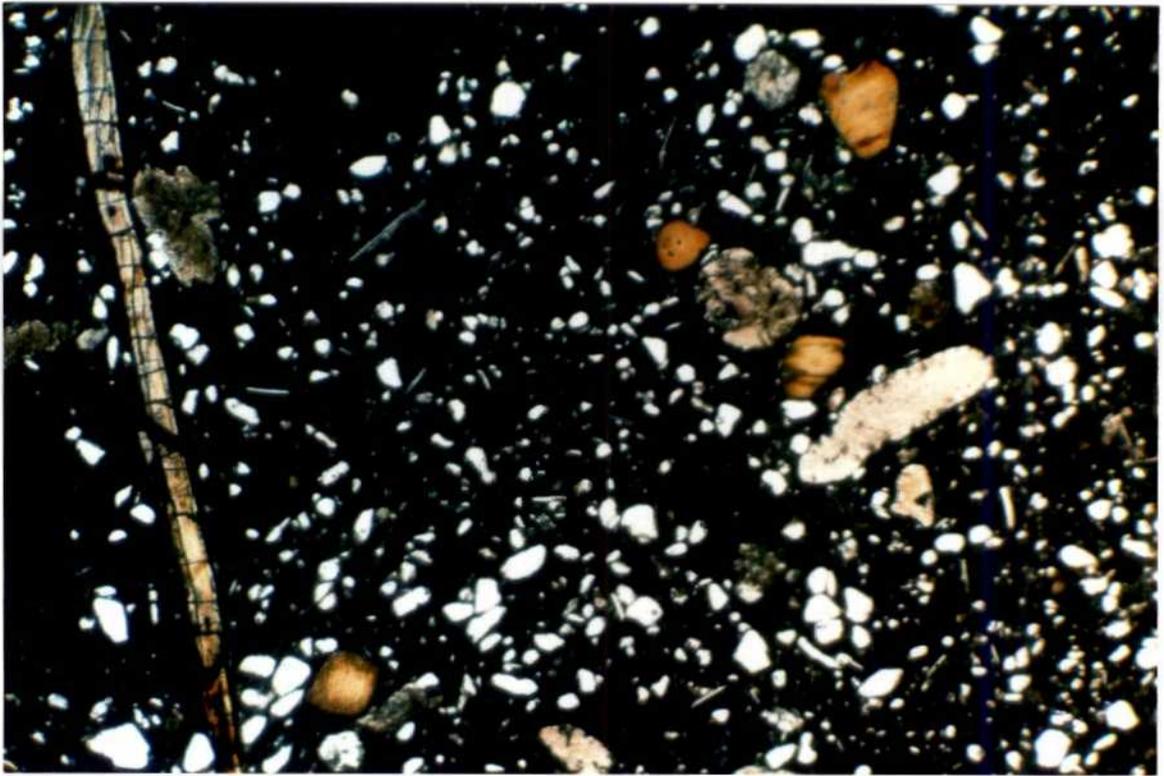
FOTOGRAFIA 2.

Muestra 2-1. CUARZARENITA, cemento silíceo (de un "pillow sand"). F. conchas braquiópodos orientados.



FOTOGRAFIA 3.

Muestra 2-7. LITARENITA RUDITICA GRADADA. Q-8%, litoclastos 70% silici-clásticos (s) chamoisítico-glaucionítico (g). Conchas fosfatizadas (c).



FOTOGRAFIA 4.

Muestra 3-53. LITARENITA. Q-25%, F.líticos 30%. F. fos. tamaño rudita (fos fatizados). Silicificación.



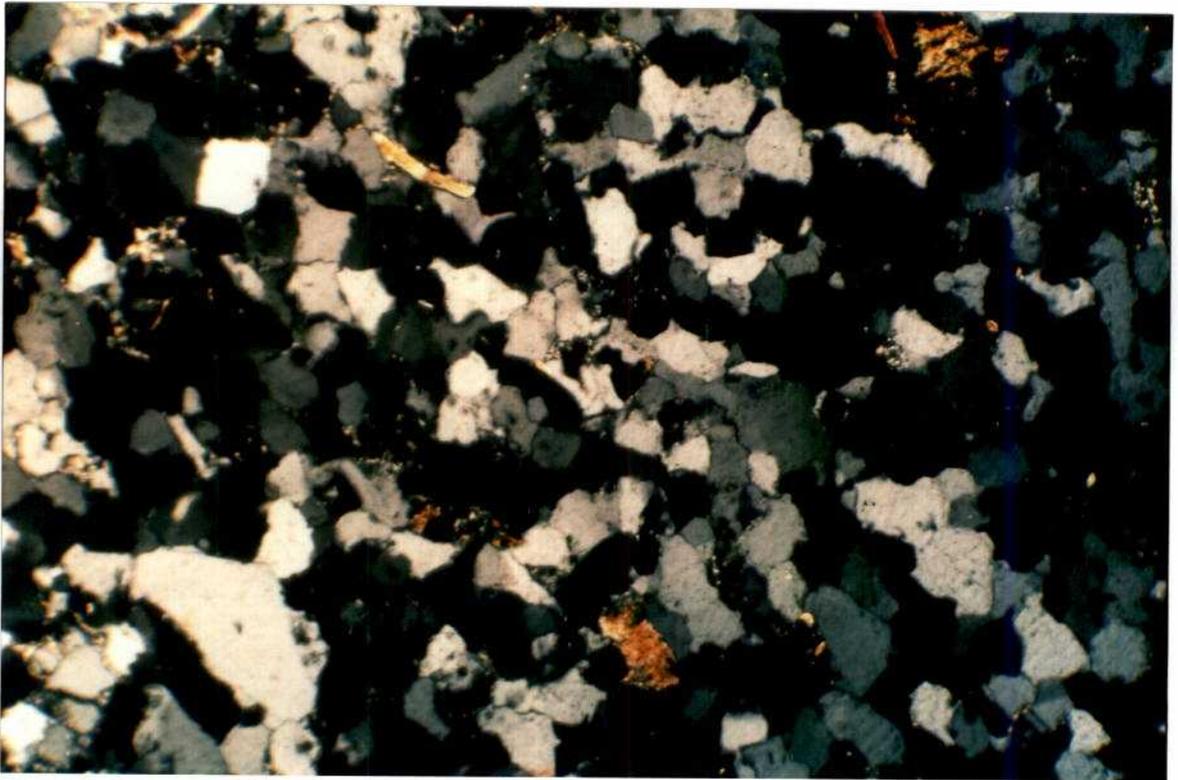
FOTOGRAFIA 5.

Muestra 3-54. RUDITA LITARENITICA muy hematizada.



FOTOGRAFIA 6.

Muestra 3-60. LITARENITA. Detalle de concha fosfatizada con silicificación posterior que desplaza al fosfato.



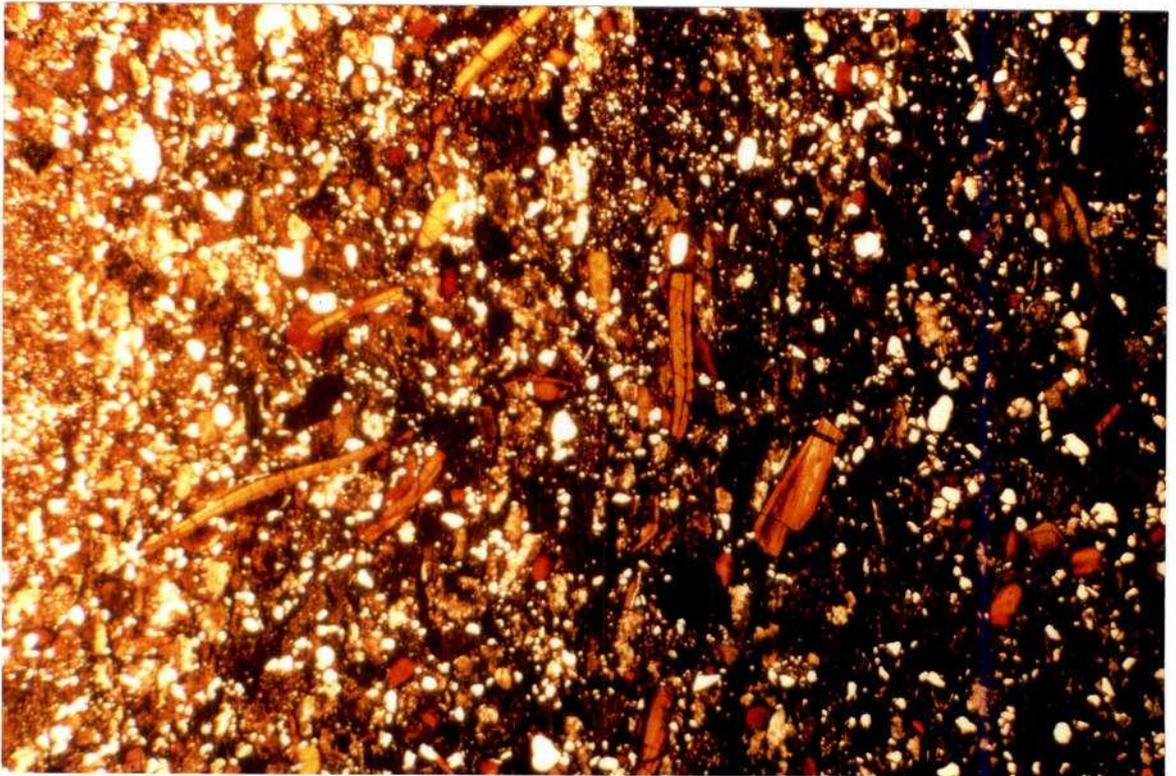
FOTOGRAFIA 7.

Muestra 5-110. CUARCITA de grano fino (ortocuarcita).



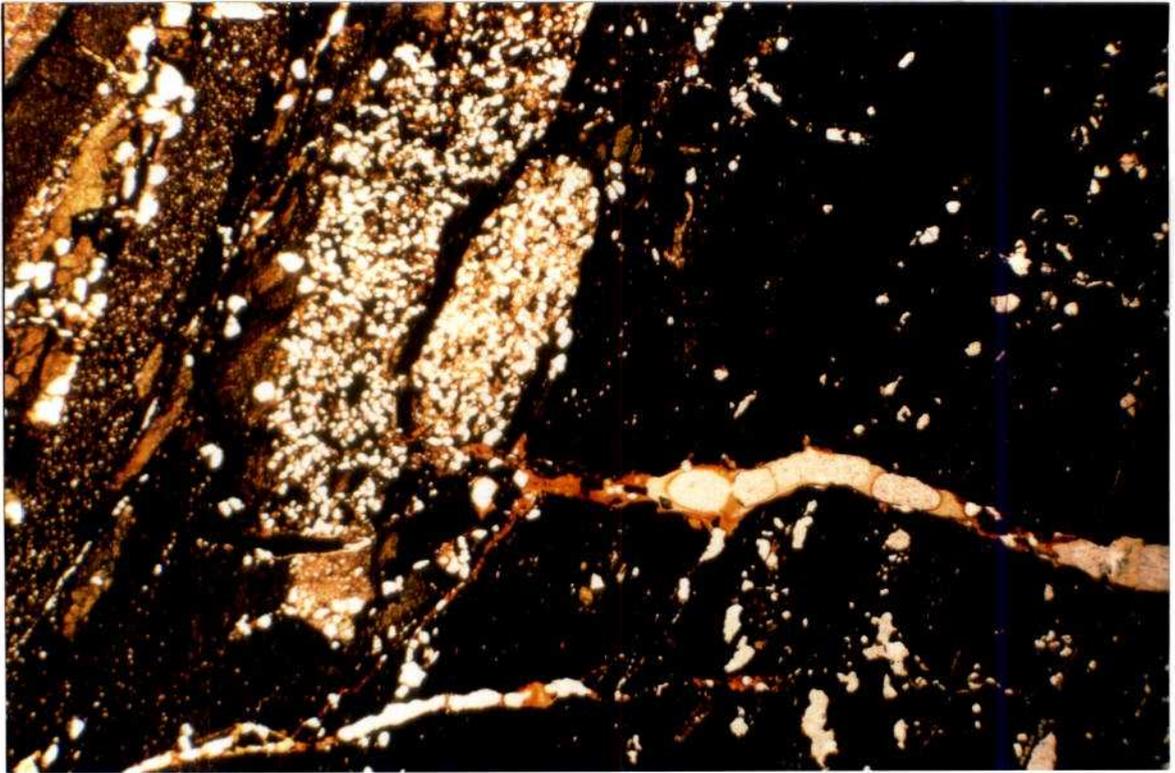
FOTOGRAFIA 8.

Muestra 4-41. RUDITA LITARENITICA GRADADA. Fuerte empaquetamiento de los granos (est. "tepee"), moscovita y fósiles orientados. Muy heterométricas.



FOTOGRAFIA 9.

Muestra 6-42. RUDITA LITARENITICA GRADADA. Q-15%, F. lit. 60%. Silicificación. Estructuras de escape de fluidos. Matriz sericítica.



FOTOGRAFIA 10.

Muestra 7-70. RUDITA LITARENITICA. Detalle de contacto interpenetrado entre clastos. Fisura rellena de hematites.



FOTOGRAFIA 11.

Muestra 7-95. Detalle de concha de braquiópodo, t. rudita, fosfatizada y posteriormente algo silicificada.

6.- AREA SEGURA DE LOS BAÑOS

6.1.- INTRODUCCION

6.1.1.- Antecedentes

Como resultado de los proyectos de "Investigación preliminar de fosfatos sedimentarios en España, llevada a cabo mediante convenios IGME-ENADIMSA, durante los años 1983-84 y 85 en diferentes áreas de la Península, y en especial en la Cordillera Ibérica, se localizaron una serie de zonas con contenidos anormalmente altos en P₂O₅. Una de ellas corresponde a las muestras recogidas en el corte de Cerro Moro (Hoja 492 del M.T.N. 1/50.000), en materiales de edad devónica. Los contenidos en P₂O₅, aconsejaron la realización de un estudio de mayor detalle de la misma, por el que el IGME decidió la investigación del área de Segura de Baños.

6.1.2.- Objetivos y trabajos realizados

En el presente estudio se pretende comprobar la importancia y representatividad de las muestras con anomalías en P₂O₅ recogidas en investigaciones anteriores, delimitando y caracterizando los niveles o tramos fosfatados que pudieron existir dentro del Devónico.

Con este fin se han realizado las actividades siguientes:

- Cartografía geológico-minera a escala 1/50.000, de una superficie de 4.000 ha que incluye el Devónico presente en la zona.
- Columnas estratigráficas y estudio sedimentológico con levantamiento de 590 metros de columna estratigráfica a escala 1:100, reconociéndose las diversas estructuras de ordenamiento interno, análisis secuencial, etc.
- Análisis colorimétrico, sobre un total de 530 muestras, realizándose los análisis por el método SHAPIRO.
- Análisis químico de 101 muestras para determinación de % en P₂O₅.
- Estudio petrográfico de 35 láminas transparentes, con el fin de caracterizar petrográficamente los materiales.
- Labores mineras con apertura de 411,90 metros lineales de zanja que supuso un movimiento de tierra de 1.087 m³.

6.1.3.- Situación y encuadre geológico regional

El área de estudio con una extensión de 4.000 ha, está constituida por una franja de materiales devono-carboníferos que cruza la esquina NE de la Hoja 1:50.000 nº 492 (Segura de los Baños), según el esquema de situación de la Fig. 6.1.

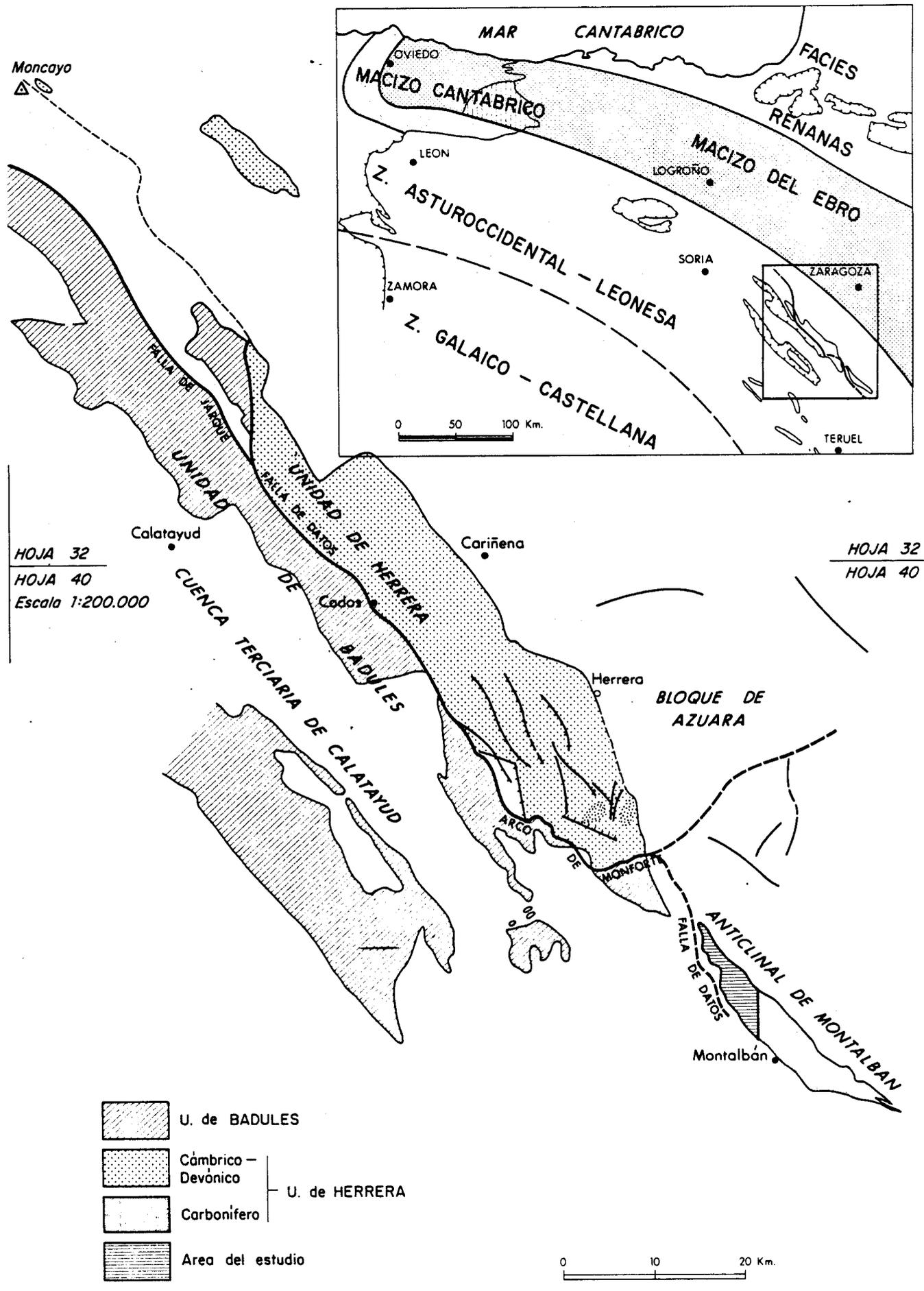


Fig. 6.1-ESQUEMA DE SITUACION DEL AREA ESTUDIADA

El área se integra en la zona Asturoccidental-Leonesa, dentro de la unidad tectónica de Herrera que junto con la unidad de Badules, más al SO, conforman las dos ramas paleozoicas de la Cordillera Ibérica separadas por la falla de Datos.

El punto de partida fundamental para el presente estudio ha sido: las hojas MAGNA 1:50.000 de Segura de los Baños y Oliete, publicadas en 1977, el borrador de la hoja de la síntesis 1:200.000 de Daroca, un estudio de la estratigrafía y tectónica del Paleozoico de Montalbán publicado por QUARCH en 1975, el trabajo sobre el Carbonífero de la Cordillera Ibérica de Villena y Pardo, el de CARLS y LAGER; al E. de Anadón (1983), y el de Exploración de fosfatos en el Area de Santa Cruz de Nogueras realizado por ADARO para el IGME en 1987.

6.2.- ESTUDIO GEOLOGICO-MINERO

Los tramos cartografiados corresponden a materiales del Devónico y Carbonífero, orlados por el Triásico que define el límite del área de estudio. Su interpretación se basa fundamentalmente en los estudios de QUARCH y CARLS y en la síntesis de la hoja geológica 1:200.000 de Daroca, además de los obtenidos durante la realización del presente trabajo.

6.2.1.- Estratigrafía

6.2.1.1.- Devónico

Dentro de los materiales datados con esta edad se han identificado las formaciones descritas a continuación, y que quedan reflejadas en la columna sinóptica de la Fig. 6.2.

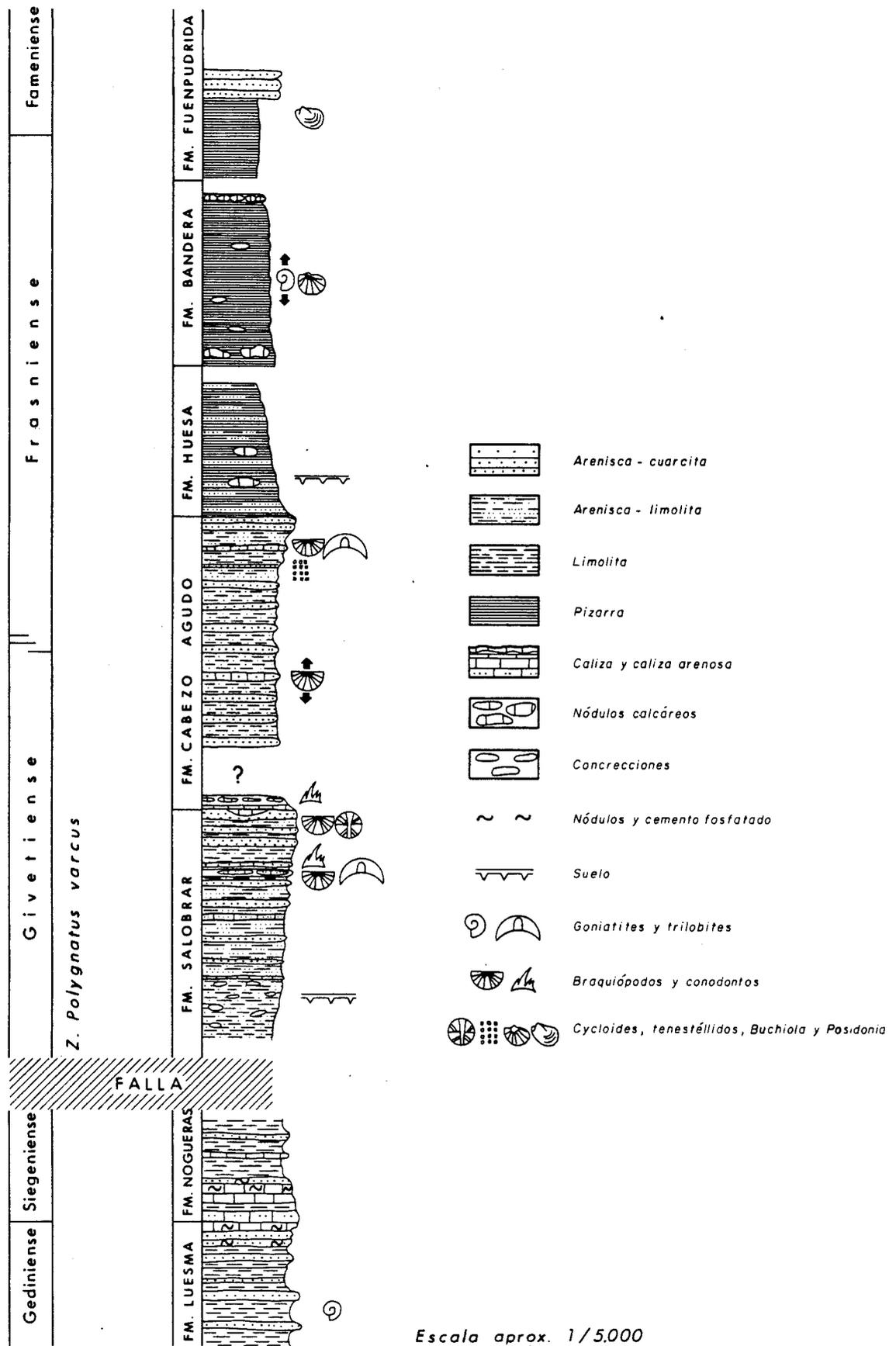


FIG. 6.2 - COLUMNA ESQUEMATICA RESUMEN DEL DEVONICO PRESENTE EN EL AREA DE ESTUDIO. MODIFICADO DE CARLS Y LAGER CON DATOS PROPIOS

6.2.1.1.1.- Formaciones Luesma-Nogueras (Gediniense-Siegeniense)

El conjunto está constituido por una serie de pizarras y cuarcitas blancas que intercalan areniscas ferruginosas y niveles oolíticos (F. Luesma). Hacia el techo y en tránsito a la F. Nogueras, aumenta el contenido en fauna y aparece un tramo carbonatado, para finalizar de nuevo la serie con sedimentos siliciclásticos.

El contenido en fosfato es alto, especialmente en los niveles oolíticos ferruginosos así como en los carbonatados y cuarzoareníticos.

El único afloramiento de esta formación se observa en el extremo suroccidental del área de estudio y su exposición es parcial debido a los contactos mecánicos que la limitan. Debido a ello se estima que, en el área de trabajo, se presenta con una potencia de algo más de 200 m de los casi 400 que se admiten regionalmente para el conjunto.

Las estructuras, tanto en los niveles arenosos como en los oolíticos, marcan un medio de depósito de alta energía.

El generoso contenido en fauna de esta formación ha permitido a CARLS establecer en ella el límite Gediniense Sup-Siegeniense.

Dado el interés fosfatogénico regional y los resultados positivos de los análisis realizados sobre el terreno, en muestras aisladas que se tomaron durante el presente trabajo, estas formaciones han sido objeto de un estudio estratigráfico de detalle, con su correspondiente desmuestre, cuyos resultados se expondrán en capítulos posteriores.

6.2.1.1.2.- Formaciones Salobrar-Cabezo Agudo (Givetiense
-Frasniense)

Comienza con un tramo de pizarras con nódulos ferruginosos y silíceos de unos 40-50 m de potencia que gradualmente se cargan en arena para llegar a constituir una alternancia de pizarras arenosas y areniscas con niveles carbonatados en cuyo techo aparecen algunos niveles lumaquéllicos.

El conjunto, de gran desarrollo vertical, presenta la estructuración de una megasecuencia granodecreciente, con aumento de energía hacia el techo.

Se trata de sedimentos propios de una plataforma somera que se rellena con sedimentos progresivamente más groseros, que llegan incluso a colmatarla momentáneamente.

En esta formación se incluye la cartografiada por QUARCH (1973) como "I.W. Oberems" y probablemente, en parte, sea equivalente a la Fm. Mariposas y sus equivalentes, definida en áreas devónicas más septentrionales.

6.2.1.1.3.- Formación Bandera (Frasniense)

Debe comprender en su parte inferior, total o parcialmente, la F. Huesa.

El conjunto está constituido por pizarras arcillosas, algo micáceas, de color gris y meteorización parda, que en su base presentan calizas nodulosas con conodontos. Entre las intercalaciones arenosas más frecuentes, en la mitad inferior, destaca en el área de estudio, una barra cuarcítica hacia la parte media.

La potencia regionalmente para la zona de Montalbán, estaba estimada en unos 800 m, lo que parece excesivo si se tiene en cuenta la posible repetición de la serie por repliegues.

Dado que los indicios fosfatados previos que justificaron el actual trabajo se encontraron en los niveles nodulares antedichos, esta formación ha sido estudiada con especial detalle, tanto en el aspecto sedimentológico como en el de desmuestre.

Su datación, en la zona de Cabezo Bendito, se ha llevado a cabo (CARLS y LAGES, 1983) gracias a la presencia de conodontos (Ancydorella lobata BRANSON & MEHL, Icriodus s.p., Polygnathus dubius HINDE, etc.) en las calizas.

6.2.1.1.4.- Formación Fuenpudrida (Frasmiense-Fameniense)

Consta de un tramo basal de unos 150 m de pizarras arcillosas que intercalan niveles con abundantes nódulos y otro superior de unos 50 m, constituido por areniscas cuaríticas blanco-rosadas con fauna.

La aparición de Posidomia Venusta MUNSTER permite datarla como Fameniense.

6.2.1.2.- Carbonífero

Yace discordantemente sobre los materiales anteriores, distinguiéndose en el área estudiada diferentes formaciones, que quedan reflejadas en la columna resumen de la Fig. 6.3. que se describen a continuación.

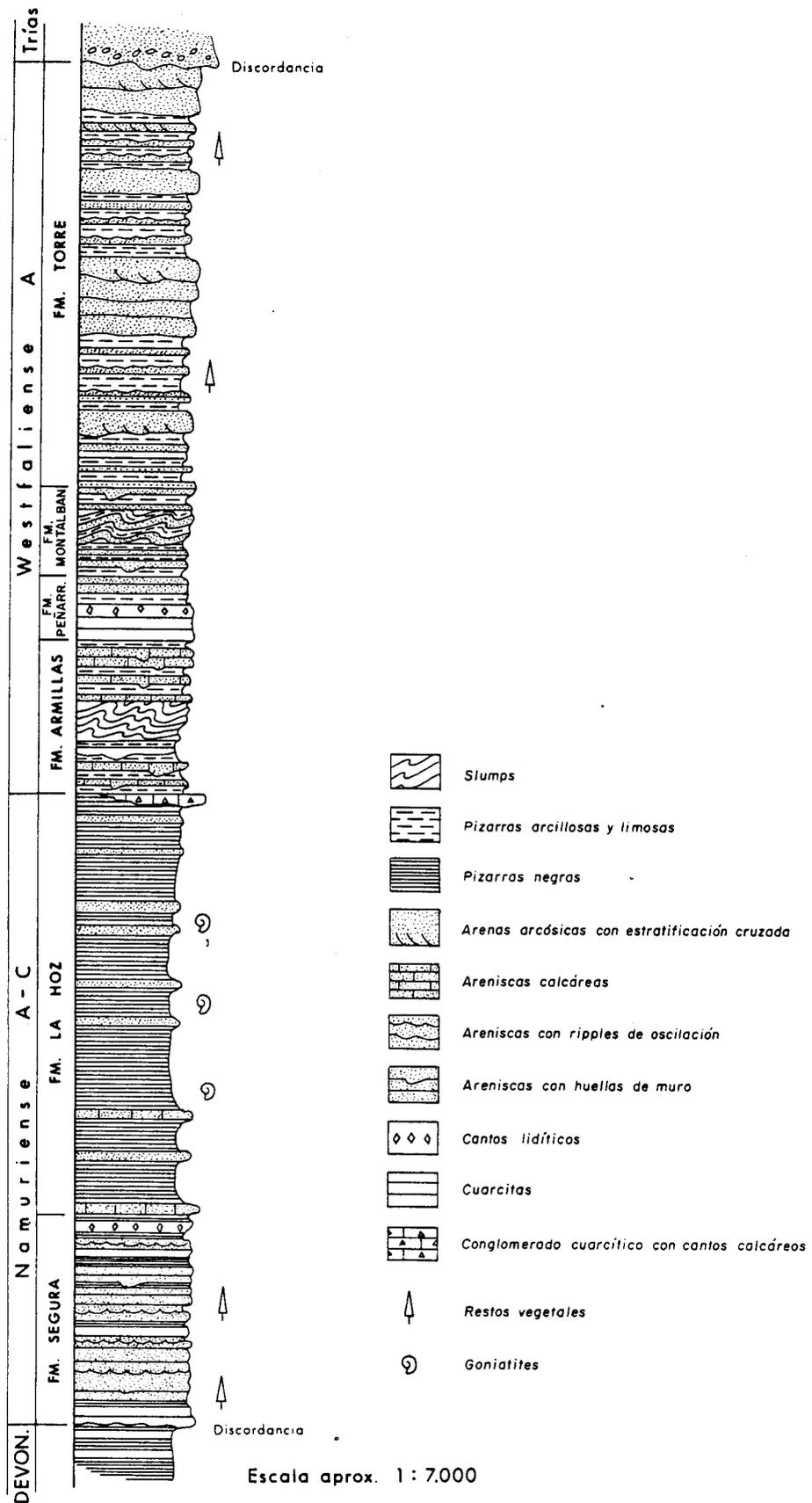


Fig. 6.3-COLUMNA ESQUEMATICA RESUMEN DEL CARBONIFERO PRESENTE EN EL AREA DE ESTUDIO, BASADA EN DATOS DE QUARCH

6.2.1.2.1.- Formación Segura (Namuriense A)

Es, estratigráficamente, la más baja dentro del Carbonífero y reposa, supuestamente, mediante discordancia angular sobre los terrenos devónicos. Está constituida por silico-clásticos con restos de plantas (serie detrítica parda) que se distribuyen en areniscas, grauvacas y cuarcitas que intercalan algunos niveles pizarrosos. Se puede reconocer limitando por el SE las formaciones devónicas del apéndice NO del área y, también, orlándolas en el perianticlinal de Minas de Segura.

La potencia estimada es de 200-250 m y su edad Carbonífero (por la presencia de Trigonocarpus s.p., probable Vi-seense? - Namuriense A).

El ambiente de depósito es marino poco profundo, con dominio de estructuras originadas por oleaje.

6.2.1.2.2.- Formación La Hoz (Namuriense A-C)

Se trata de una formación dominada por los detríticos finos (pizarras negras) que incluyen o alternan con areniscas (calcáreas a techo) y, en algún tramo, conglomerados.

Su potencia se estima en 400-450 m y su edad especialmente definida por la importante fauna de goniátidos que contiene, comprendería desde el Namuriense A al C.

El contenido de fauna pelágica, pero también restos vegetales y fragmentos de crinoides, están incluidos en depósitos turbidíticos de carácter distal.

El reconocimiento de esta formación, presente en la parte SE del perianticlinal de Minas de Segura, se puede realizar inmediatamente al SE de la zona de estudio en las proximidades de la Hoz de la Vieja.

6.2.1.2.3.- Formaciones Armillas-Peñarroyas (Westfaliense Inf.)

La formación inferior (Armillas) con más de 150 m de potencia está constituida por una alternancia de calcarenitas y grauvacas carbonatadas con pizarras, que incluye algún nivel de cuarcitas; destaca por su carácter carbonatado y de abundancia de términos detríticos groseros sobre la F. La Hoz infrayacente. El aspecto en muchos casos es lajeado debido tanto a la morfología externa de los bancos como a las laminaciones internas.

Su carácter es turbidítico de talud, con frecuentes estructuras de deslizamiento (slumps y olistolitos) y presencia de clastos procedentes desde el Devónico Inf. al Carbonífero Inf. que revelarían la inestabilidad de la cuenca.

No se tiene constancia de restos fósiles por lo que su datación se realiza por acotación de las formaciones superior e inferior.

Respecto a la formación superior (Peñarroyas), está constituida por un término inferior de cuarcitas y otro superior de areniscas pardas y pizarras, con una potencia del conjunto de unos 60 m. Solamente se ha podido observar en las proximidades de Armillas, a techo de la formación carbonatada del mismo nombre, con la que se ha cartografiado conjuntamente, atribuyéndole la edad Westfaliense Inf. por posición estratigráfica.

6.2.1.2.4.- Formaciones Montalbán-Torre (Westfaliense Inf.)

Se trata de una sucesión con un desarrollo conjunto entre 500 y 600 m, en que predomina la F. Torre (Superior) con 400-500 m sobre la F. Montalbán (inferior) con 90-70 m.

La F. Torre está constituida por una alternancia rítmica de areniscas en bancos gruesos con cuarcitas y pizarras. Las estructuras observadas son: estratificación cruzada en surco, ripples de corriente y oscilación a techo de las areniscas y laminaciones paralelas.

Las diferencias son notables en cuanto a interpretación de los medios de depósito. Según diferentes autores se definen ambientes que van desde el fluvial hasta el propio de dominios turbidíticos, pasando por el marino somero, semejante al descrito para la F. Segura.

La F. Montalbán, de acuerdo con la posibilidad ya apuntada por QUARCH, se la ha considerado como una variación lateral de los términos basales de la F. Torre, por lo que se han tratado conjuntamente.

El contenido fosilífero de estas formaciones se reduce exclusivamente a flora, con cuya datación y acotación con la F. La Hoz, se les debe asignar una edad Westfaliense Inf., al menos para términos más bajos.

6.2.1.3.- Mesozoico

El reconocimiento de sus diferentes tramos, en particular los del Triásico, que yace discordante sobre el Paleozoico, solamente interesan en cuanto a la delimitación del área

de estudio, sin que haya sido necesario una mayor precisión estratigráfica.

6.2.1.4.- Cuaternario

Está representado por las arcillas, arenas y gravas de los cauces de los arroyos actuales. Tiene escaso desarrollo debido al relieve accidentado de la zona.

6.2.1.5.- Rocas ígneas

En toda la zona de estudio se encuentran presentes rocas volcánicas o subvolcánicas que se disponen por lo general en diques subparalelos o formando un ángulo bajo con la estratificación, aprovechando el camino de ascenso que proporciona la fracturación tardihercínica. La mayoría de los observados son de color gris verdoso y están clasificados como cuarzodiabasas, aunque están representadas también las andesitas, y más raramente las riolitas. Su potencia oscila entre unos decímetros y alrededor de 30 metros, habiéndose cartografiado los diques o agrupaciones de diques de mayor relevancia.

Dentro de las intrusiones riolíticas se ha cartografiado una intrusión de roca de color claro que recorre de forma más o menos arrosariada con dirección N-S la esquina NO. Su emplazamiento probablemente ha tenido lugar a favor de una falla tardihercínica que limita las formaciones fosfatas de Luesma y Noguerras del resto del Devónico.

6.2.2.- Tectónica

Estructuralmente el área de estudio se encuentra situada en la Rama Oriental Aragonesa de la Cordillera Ibérica, dentro de la unidad de Herrera, justo al NE del probable paso de la falla de Datos que la limita de la unidad de Badules (ver Fig. 6.1.).

6.2.2.1.- Tectónica regional

El área de estudio ha sido afectada por las orogénias hercínica y alpina, de manera que la mayoría de las estructuras originados durante la primera han sido deformadas o enmascaradas por la segunda. A continuación se realiza una síntesis de las diferentes fases y etapas que han tenido lugar en cada una de ellas.

6.2.2.1.1.- Orogénia hercínica

Durante esta orogénia los materiales precámbricos y paleozoicos del área de estudio han sufrido tres fases sucesivas de deformación con grado de penetratividad diferente, que en general están admitidas para la zona Asturoccidental-Leonesa.

6.2.2.1.1.1.- Primera fase

Las estructuras originadas en esta fase son consecuencias de una deformación progresiva en que se pueden distinguir sucesivamente las tres etapas siguientes:

1ª etapa.- Plegamiento por "buckling", en que se generan pliegues de amplio radio, de dirección NNO-SSE a NO-SE, verti

cales o con vergencia al NE, pertenecientes a la clase 1B de Ramsay. El flexodeslizamiento entre capas competentes-incompetentes quedaría marcado por estriás perpendiculares a la dirección de los ejes de pliegue.

2ª etapa.- Aplastamiento, donde los pliegues originados en la etapa anterior evolucionarían a paralelos aplastados. Simultáneamente se desarrollaría la esquistosidad y un metamorfismo incipiente.

La esquistosidad es de plano axial de los pliegues precitados y, por tanto, de su misma dirección y alto buzamiento.

Un débil metamorfismo observado en las pizarras precámbricas es de tipo bajo a muy bajo (facies de illita y clorita), coincidiendo en el tiempo con la generación de la esquistosidad.

3ª etapa.- Acortamiento, que tiene lugar por mecanismos de flexodeslizamiento en que aparecen estriás con dirección paralela a los pliegues en la zona de charnela de éstos. Esta deformación no es coaxial con las etapas anteriores y daría lugar a movimientos sinestrales de cizalla.

En esta etapa final se finaliza con las deformaciones de tipo dúctil, pasándose a las de tipo frágil con las estructuras propicias para el desarrollo de las fallas inversas y cabalgamiento de la segunda fase.

6.2.2.1.1.2.- Segunda fase

Se forman las fallas inversas y cabalgamientos preferentemente en los flancos orientales de los pliegues de la

fase anterior. Presentan igual dirección NO-SE que dichos pliegues, con buzamientos altos hacia el SO.

El problema para identificación de las estructuras de esta fase es que aparte de haber sido activas en las fases tardihercínicas, con emplazamiento de diques y rocas volcánicas, han rejugado duramente los movimientos alpinos. Además, en el área de estudio no se observa la presencia de pliegues o esquistosidad correspondientes a esta fase de deformación.

6.2.2.1.1.3.- Tercera fase

Durante esta fase se generan pliegues de dirección E-O a NO-SE con planos axiales verticales o vergentes al N, y también, en las capas incompetentes, una esquistosidad de crenulación, observada localmente, que se origina por interferencia con la preexistente de la fase primera.

6.2.2.1.1.4.- Distensión generalizada

Tras las tres fases de plegamiento anteriormente descritas, que tienen lugar entre el Carbonífero Inferior y el Superior, comienza una etapa de distensión generalizada en la que la primacía de los movimientos horizontales va a ser sustituida por los epirogénicos, enlazando así con la orogénia alpina.

6.2.2.1.2.- Orogenia Alpina

Desde el Triásico hasta el Cenomaniense, la zona está sujeta a la fase kimmérica de distensión en la que predominan los movimientos verticales, configurándose el Umbral de Ateca y la fosa de Cameros según las fracturas previas del zócalo hercínico.

Posteriormente tienen lugar las etapas compresivas que pliegan la cobertera mesozoica. Se trata fundamentalmente de las fases pirenáica y sávida; la primera, a favor del zócalo fragmentado según fallas longitudinales NO-SE, esboza las cuencas terciarias del Ebro y Calatayud, que se configurarán definitivamente durante la fase sávida, etapa principal del plegamiento alpino.

Los materiales paleozoicos constituidos como bloques rígidos continúan su rejuego, respondiendo a los esfuerzos compresivos de estas fases, con la formación de "horsts" con planos estructurales de vergencia NE, que a veces llegan a cobijar la cobertera mesozoica.

Por su parte esta cobertera, teniendo en cuenta que reposa sobre la "almohadilla" triásica, responde normalmente con pliegues de carácter gravitacional disarmónicos con los del zócalo.

Hay que reseñar una última fase distensiva en que se producen fallas de gravedad y reajustes de bloques a partir del Mioceno.

6.2.2.2.- Estructuras locales

Para el análisis estructural se ha dividido la zona en dos dominios con directrices bien diferentes, separados por la falla del Aº del Valle de los Clavinos: al NO quedaría el monoclinial complejo de Cabezo Bendito y al SE el anticlinorio de Cabezos Altos.

6.2.2.2.1.- Anticlinorio de Cabezos Altos

Se trata de una antifirma con dirección general NO-

SE en la que se pueden distinguir diferentes elementos estructurales de la orogenia hercínica:

a) Pliegues amplios de dirección NNO-SSE a NO-SE, que se emplazan en la zona de Cabezos Altos, La Muela y Fundemunia, y se asimilan a los generados en la 1ª etapa de la 1ª fase hercínica.

b) Pliegues paralelos de las antedichas direcciones con desarrollo de esquistosidad de plano axial. Es el resultado de la evolución de los pliegues anteriores durante la 2ª etapa de aplastamiento.

c) Fallas inversas de dirección NO-SE, con vergencia al NE. La más importante hace cabalgar los materiales devononamurienses de la zona de Cabezos Altos sobre los namuro-westfalienses de la zona Fundemunia-La Hoz. Otra, de menor relevancia, cruza la zona axial del anticlinorio, implicando al Devónico y Namuriense.

Estas estructuras deben identificarse con las generadas en la 2ª fase de la orogenia hercínica.

d) Fallas normales de dirección NNO-SSE a NO-SE. Se originan en la etapa de distensión que tiene lugar a partir del Carbonífero Sup. Su trazado queda bien patente por haber sido utilizadas como vías de intrusión de diques durante la evidente actividad volcánica permo-carbonífera de la zona.

6.2.2.2.2.- Monoclinal de Cabezo Bendito

Queda separada del anticlinorio de Cabezos Altos por la falla del Aº del Valle de los Clavinos y se puede definir como flanco oriental replegado y fallado de un anticlinal

con núcleo en los materiales del Devónico Inferior y techo en los del Carbonífero.

Esta estructura presenta una anomalía regional en cuanto a directrices que se podrían tomar como hercínicas; tanto ejes de pliegues como fallas y diques se disponen con direcciones comprendidas entre la N-S y la NNE-SSO. Para su explicación habría que invocar un giro dextroso de las estructuras iniciales hercínicas que, al combinarse con el también dextroso de la falla de desgarre del A^o del Valle, haría colisionar su parte meridional con el Carbonífero, dando lugar a las fallas inversas de Cerro Cabrero.

En cuanto a su situación en el tiempo, no se puede excluir que estas estructuras tengan su origen en la 3^a etapa de la 1^a fase del plegamiento hercínico, aunque la presencia de materiales mesozoicos afectados por ellas indican que la última reactivación por esfuerzos de cizalla tuvo lugar durante la orogenia alpina.

El límite occidental del monoclinal de Cabezo Bendito está constituido por una falla de clara componente gravitatoria que lo pone en contacto con materiales mesozoicos. Su postre juego se debe situar en la etapa distensiva de la orogenia alpina.

6.2.3.- Formaciones con niveles fosfatados

Como se ha reiterado con anterioridad, en el área de estudio los litosomas con indicios fosfatados son las Formaciones Luesma-Nogueras y la Formación Bandera.

Dadas las características de afloramiento de dichas formaciones se ha tenido que realizar una calicata en los

sedimentos de la Formación Luesma-Noregas, en tanto que los afloramientos de la Formación Bandera han permitido levantar una columna sedimentológica de detalle a escala 1:100.

Como consecuencia de la distinta metodología empleada, en la serie definida en la calicata para la Formación Luesma-Nogueras, si bien pueden describirse grandes tramos con claras diferencias litológicas, es prácticamente imposible hacer una descripción sedimentológica detallada a nivel secuencial y por tanto los modelos de facies y la interpretación paleogeográfica se harán a nivel general, en tanto que la serie aflorante de la Formación Bandera permite realizar una descripción pormenorizada con análisis secuenciales, modelos de facies y paleogeografía más detallada.

6.2.3.1.- Formación Luesma-Nogueras

En la calicata realizada en Cabezo Bendito, la columna estratigráfica (plano nº 27) muestra de muro a techo los siguientes tramos:

TRAMO A

Aunque la tectonización de tramo es intensa tanto a muro como en paquetes muy plásticos intercalados, la potencia estimada aflorante es del orden de 80 a 85 m.

En este tramo puede distinguirse a su vez cuatro subtramos o megasecuencias de tipo C.H.S. ("Coarsening upward sequence") en las que el término inferior está constituido por lutitas grises bioturbadas que intercalan capas centimétricas a decimétricas de areniscas grises cuarcíticas con ripples de corriente. En los escasos afloramientos observables se identifican ripples con cara de avalancha marcadas por

láminas de lutitas gris oscuras. Estas intercalaciones son progresivamente más abundantes hacia techo de este término.

Sobre estos sedimentos se tiene un término cuyo espesor es variable en cada una de las megasecuencias (12 a 4 m) pero cuya constitución es muy similar en todas ellas. Se trata de areniscas cuarcíticas blanco-grisáceas en capas decimétricas con laminación cruzada de ripples de corriente. En la megasecuencia de base, estas areniscas muestran secuencias de playa con laminación cruzada de alto ángulo.

Hay que destacar que separando la 1ª y 2ª megasecuencia se ha observado un nivel centimétrico de arenisca roja con cantos fosfatados dispersos.

La megasecuencia de techo muestra características diferentes dado que sobre el término de lutitas grises se tiene una serie de intercalaciones de areniscas cuarcíticas y capas decimétricas de bioesparita y bioesparuditas arenosas y dolomitizadas entre cuyos componentes aloquímicos se observan clastos lumpales fosfatados. En alguna de estas capas se han observado a techo "hummocky cross bedding" poco definidos.

En conjunto, el tramo A, por las características definidas a nivel megasecuencial, puede tratarse de depósitos de llanura de mareas en la que los términos lutíticos y de alteración representarían los depósitos de llanura de mareas superior y media y los cuerpos de areniscas cuarcíticas las de llanura de mareas inferior y playas. El subtramo de techo muestra interrelaciones de capas con sedimentos carbonatados biodetríticos cuyo origen estaría en esporádicas tormentas que barren esta llanura de mareas. Estos fenómenos preconizan el cambio de modelo de facies y de composición litológica de los tramos suprayacentes.

En relación con las descritas por Carls (1965) para la cronoestratografía del tránsito Silúrico-Devónico el tramo A, equivaldría a la Formación Luesma casi con exactitud, salvo en la menor presencia en el área investigada de las capas de oolitos ferruginosos descritos por dicho autor para la Serie Media (tramo medio) de dicha formación.

TRAMO B

Con un espesor aproximado de 30 a 35 m, se tiene una serie constituida por alternancias de areniscas carbonatadas y areniscas cuarcíticas con lutitas grises a la base en paso a alternancias decimétricas de areniscas cuarcíticas y calizas (wackstone, packstone) bioclásticas de color gris a amarillento con intercalaciones de lutitas carbonatadas grises bioturbadas.

Hacia techo del tramo el predominio es de lutita con intercalación de delgadas capas de arenisca.

Por las características litológicas, escasa presencia de clastos fosfatados e intensa bioturbación de los sedimentos, se trataría de sedimentos de lagoón-llanura de marea inferior.

TRAMO C

Con una potencia estimada superior a los 100 m, este tramo muestra una monótona repetición de un tipo secuencial en el que pueden distinguirse los siguientes términos:

- a) Un término inferior en el que se tiene una alternancia de lutitas y lutitas carbonatadas con calizas cuyo aspecto petrográfico varía de bioesparuditas y ooesparuditas dolomi

tizadas a dolomías de grano grueso. En las calizas biode-
tríticas son frecuentes y a veces abundantes los clastos
fosfatados ("lumps de agregación", gravels de colofana"...
etc) así como la de fragmentos fósiles fosfatados o con
cámaras rellenas de colofana.

- b) El término intermedio secuencial muestra una alternancia
de lutitas grises a pardas carbonatadas y bioturbadas,
con capas de arenisca cuarcítica gris a blanco amarillentas
con cantos fosfatados dispersos.
- c) El término superior de la secuencia son barras de arenisca
de espesor variable, normalmente decamétricas con estratificación
cruzada plana de bajo ángulo a masivas. El aspecto
petrográfico de estas areniscas varía de cuarzarenitas
de grano medio y cemento mixto-silíceo carbonatado cuarzarenitas
con porcentajes moderados de clastos y oolitos y cemento
mixto silíceo-ferruginoso-fosfatado.

Los porcentajes mayores en clastos fosfatados y conte-
nido total de P_2O_5 se dan en las calizas biodestríticas del
término a secuencial con índices variables entre el (15-
20%), en P_2O_5 . Las capas de areniscas del término C con clas-
tos y oolitos le siguen en interés con porcentajes entre el
(7-12%).

Este tipo de secuencia podría atribuirse a un modelo
de facies de isla barrera-lagoon en el que el término a
serían los sedimentos de lagoon con capas de tormenta in-
tercaladas (capas biodestríticas con mezcla de aloquímicos
tamaño rudita). El término b representaría los sedimentos
de tránsito lagoon-isla barrera (lagoon externo y llanura
de mareas asociadas a la isla barrera) y por último el
tramo c representaría los sedimentos propios de isla barre-
ra.

La paleogeografía de este tramo, dada la monótona acumulación del tipo secuencial asimilado al modelo de facies de isla barrera-lagoón, vendría regida por un sistema pulsatorio de transgresiones y regresiones, o bien por la destrucción sistemática de la morfología de isla barrera por acción de tormentas y la consiguiente implantación de un modelo similar en los periodos de post tormenta. Es de destacar que, como puede observarse en la columna estratigráfica, la entidad de los acumulados de areniscas cuarcíticas de isla barrera es progresivamente mayor.

TRAMO D

Aunque no representado en columna, se trata de una potente serie de lutitas grises bioturbadas con nódulos centimétricos dispersos. En estos nódulos se ha observado la presencia de goniatítidos y lamelibranquios. Estas lutitas intercalan capas carbonatadas de mudstone y wackstone grises con birdeseyes.

Comparativamente con las series propuestas por Carls (1965) para la cronoestratigrafía del Devónico Inferior, en el corte tipo de la Formación Nogueras, puede inferirse que el Tramo B descrito coincidiría a grandes rasgos con el término inferior (D2a) del corte tipo. El tramo C en este área es muy diferente tanto en potencia como en constitución con el descrito por dicho autor como término medio (D2b) de dicha formación, y en ningún caso parece observarse en este área la presencia del "Nivel de Escalabreras" (1) con amplia representación en zonas próximas, y por último el tramo D es similar

(1) Nivel fosfatado investigado por el IGME en 1987, en el sector de Santa Cruz de Nogueras.

al término superior (D2c) del corte tipo de la Formación Nogueras. Es de resaltar que en la zona de investigación, si bien no se ha observado el "Nivel de Escalabreras", son más numerosas las capas con alto contenido en clastos fosfatados que las que se describen en el término medio (D2b) en el corte tipo de la Formación Nogueras.

6.2.3.2.- Formación Bandera

Se ha realizado una columna sedimentológica de detalle en la transversal de Cerro Moro, situada en el sector septentrional del área de investigación.

La columna realizada en la serie aflorante tiene un espesor de 290 m. Seguidamente se hace una descripción detallada de las facies cuantitativamente más importantes en la columna estratigráfica y de aquellas que cualitativamente tengan significación sedimentológica.

- Facies características

- FI.- Esta facies se estructura en una secuencia de primer orden en la que se distinguen las siguientes subfacies de muro a techo:

FIs.- Constituida por lutitas gris oscuras a verdosas con intensa bioturbación, que se cargan progresivamente en fracción limo con aparición de estructuras "linsen". La base del tramo contiene abundantes niveles milimétricos ferruginos continuos, que se nodulizan hacia techo.

Flm.- Esta subfacies está constituida por una alternancia de areniscas de grano fino algo limosas y bioturbadas

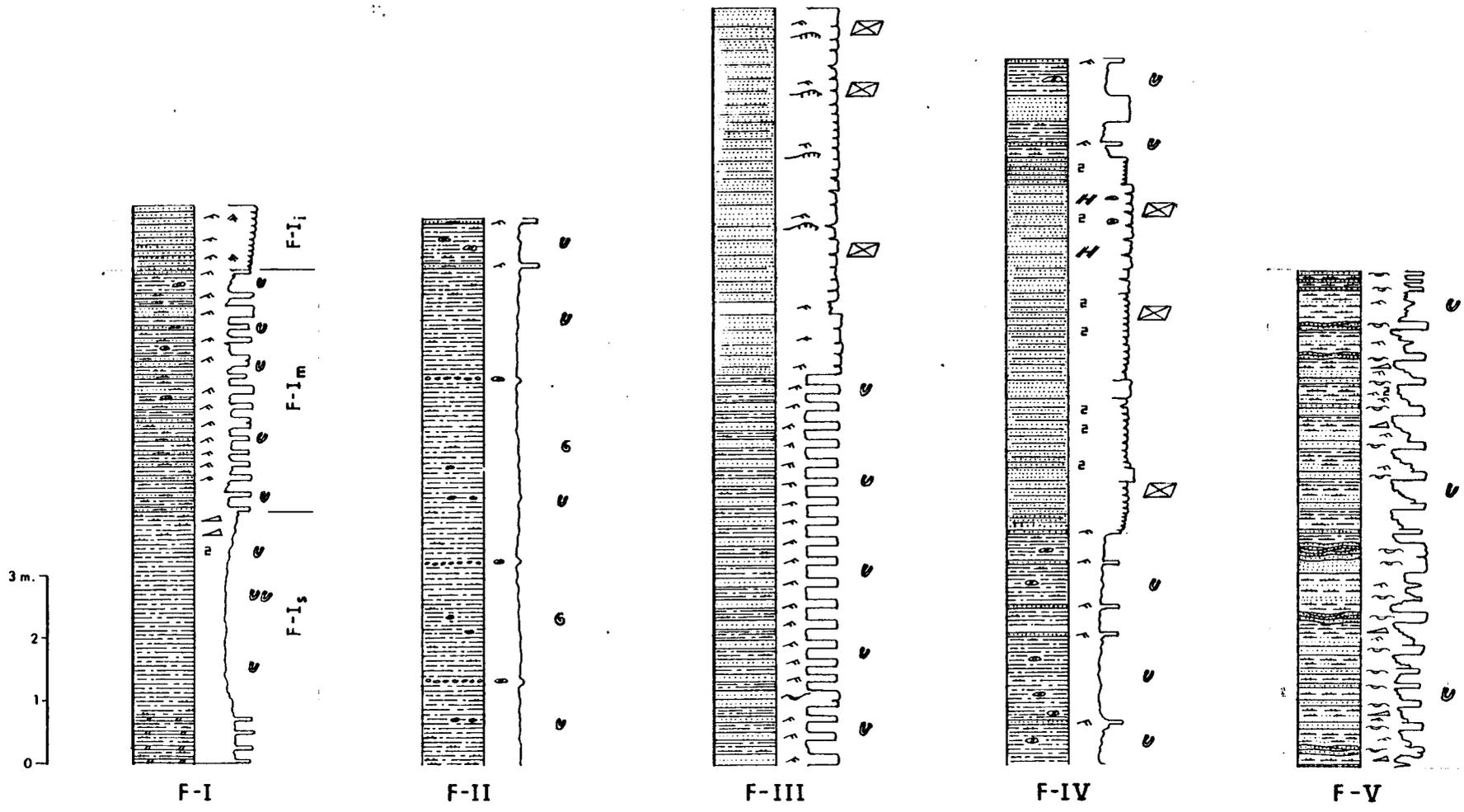


Fig.6.4 - SECUENCIAS CARACTERISTICAS DE LA FORMACION BANDERA

en capas centimétricas con laminación de ripples de oleaje y corriente con cara de avalancha marcada por láminas de lutita y lutitas limosas gris verdosas bioturbadas, con estructuras "linsen-flaser". La relación arena/limo+lutita crece hacia techo de la subfacies.

FII.- Está constituida por areniscas (cuarzoarenitas) de grano medio blanco amarillento, en capas centimétricas a decimétricas con porosidad móldica y laminación cruzada de ripples de corriente. Son escasos los ripples con cara de avalancha y más abundantes los trenes con haces de láminas bidireccionales.

El conjunto de estas tres subfacies constituyen una secuencia C.U.S. de primer orden, representativa de un modelo de facies de llanura de mareas con rango mesomareal, a tenor de las estructuras sedimentarias observadas, en la que la subfacies FI.s serían los sedimentos de llanura de marea superior (mud-flat), la FI.m la llanura de marea intermedia (mixed flat) y la FI.i la llanura de marea inferior (sand flat). Se trataría pues de una secuencia de carácter transgraivo, cuando se estructuran en este orden las distintas subfacies descritas.

FII

Esta facies está constituida por una monótona sucesión de lutitas, lutitas carbonatadas y lutitas limosas que intercalan capas milimétricas de arenisca de grano fino gris verdosas, con laminación de ripples. El conjunto está bioturbado con tramos en los que ésta es muy intensa y presenta abundantes nódulos dispersos o en capas centimétricas. Estos nódulos son de dos modalidades. Por una parte se tienen nódulos centi-

métricos de siderita con orla ferruginosa y por otra, nódulos con orla ferruginosa y núcleo blando de color amarillento grisáceo. El análisis químico del núcleo de estos nódulos dá un alto contenido en fosfato. Esta variedad de nódulos de núcleo blando es poco abundante. La fauna observada es escasa y dispersa (lamelibranquios, braquiópodos, corales aislados, crinoides, etc.).

A los sedimentos de esta facies se le atribuye un origen en un medio de depósito tipo lagoón con cierre efectivo.

FIII

Esta facies muestra dos tramos o subfacies claramente diferenciadas. La inferior, constituida por una alternancia de areniscas (cuarzoareníticas) de grano medio en capas centí a decimétricas con "ripples" de corriente y caras de avalancha marcadas por láminas de lutita y haces de láminas bidireccionales con lutitas y lutitas limosas con estructuras "linsenflaser" y fuerte bioturbación.

Las características litológicas y sedimentológicas de esta subfacies son similares a las descritas para la subfacies m de la facies FI, con leve variación en las relaciones arena/limos+lutita, ya que en este caso, aunque crece igualmente hacia techo, las capas de arenisca son de mayor espesor de forma continuada y los terrígenos finos minoritarios.

Como diferencia observada entre esta subfacies y la FI_m puede reseñarse la existencia de capas amalgamadas de arenisca de grano medio cuarcíticas con cantos blandos de color verde en la base de las capas y estructuras "hummocky cross

bedding" a techo. Se trata de capas de tormenta que serán descritas con mayor detalle con posterioridad. Esta facies se originaría en una llanura de mareas, barrida esporádicamente por tormentas.

Sobre esta subfacies se tiene un litosoma constituido por areniscas (cuarzoarenitas) de grano medio a grueso bien lavadas en capas decimétricas (30-70 cm) de color blanco a amarillento con estratificación cruzada plana de ángulo variable y estratificación cruzada en surco de media escala con ripples sobreimpuestos. Es normal observar, en este litosoma, morfologías dunares conservadas, sobre todo a techo de tramo, así como cantos blandos con orla ferruginosa y fuerte bioturbación a techo de las capas superiores. La porosidad móldica que se observa tiene su origen en disolución de cantos blandos y de bioclastos.

Dada su litología y estructuras sedimentarias, a estos sedimentos se les atribuye un origen de isla barrera.

Por tanto, el conjunto de las subfacies descritas mostraría un modelo de facies de isla barrera sobre llanura de mareas.

FIV

Esta facies es una variante de la anterior en la que se marcan las siguientes diferencias:

- En primer lugar el tramo inferior muestra una composición litológica y sedimentológica similar a la descrita para FII, es decir, serían depósitos de lagoón en paso en

sus capas superiores a llanura de marea mixta.

El tramo suprayacente son cuarzarenitas de isla barrera similares a las descritas con anterioridad en la FII y finalmente el tramo de techo muestra una subfacies transicional constituida por areniscas en capas centimétricas a métricas bien con fuerte heterometría y mezcla de litologías, abundantes cantos blandos con orla ferruginosa y esporádicamente en las capas de mayor espesor laminación cruzada de alto ángulo, alternando con limolitas y lutitas limosas fuertemente bioturbadas.

Por su posición estratigráfica, sobre sedimentos de isla barrera, y constitución litológica y estructuras sedimentarias, estos sedimentos serían la representación de los depósitos de "berma" en la cara de mar abierto de isla barrera.

En conjunto estas subfacies mostrarían una variante del modelo anterior en tanto que en este caso la isla barrera se apoya directamente sobre facies lagoón y a su vez desarrolla una barrera importante.

- FV

Esta facies está constituida por una monótona, y en este caso, potente acumulación de secuencias de segundo orden cuyo ciclo ideal, extraído de las observaciones de campo se representa esquemáticamente en la Fig. 6.5.

De muro a techo se diferencian los siguientes términos:

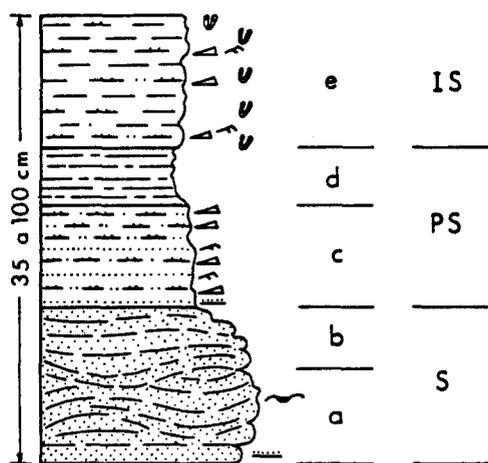


Fig. 6.5

El término a está -
constituido por are-
niscas de grano medio
grosso en capas deci-
métricas a veces amal-
gamadas que comienzan
con capas gradadas
en paso a capas con
estructura de "hummo-
cky cross bedding".
La base de este tér-
mino es muy neta, li-
sa con pequeñas irre-
gularidades. Son muy
escasas las "tool-
marks" observadas.

El término b está constituido por areniscas de grano medio-fino en capas centimétricas con estratificación cruzada de muy bajo ángulo a laminación paralela. Este tipo de estruc-
tura puede representar un "hummocky" de longitud de orden superior. Su tránsito con el término a es, por general, gra-
dual adaptándose en las capas de base a las irregularidades morfológicas del techo del término a.

El término c está constituido por areniscas limosas y limolitas a menudo con granoselección positiva. El contacto con el término b es bastante neto. Las estructuras sedimentarias, muy abundantes, son la laminación de "ripples" con capas de trenes de "ripples" con haces de láminas unidireccionales y estructuras "linsen" en las capas limolíticas. La bioturba-
ción es esporádica en algunas capas.

El término d, en tránsito gradual con el infrayacente, son lutitas gris oscuro, algo micáceas, con nódulos dispersos. Estos nódulos pueden estar originados por "linsen" enterrados y posteriormente diagenetizados. La bioturbación es creciente.

El término e está constituido por una fina alternancia de capas de arenisca blanca con "ripples" y limolitas o lutitas limosas grises. El conjunto está fuertemente bioturbado.

Esta secuencia descrita coincide en gran parte con la ampliamente citada en bibliografía (Goldring y Bridges, 1973, Bourgeois 1980, Lewis 1980, Xian-Tao Wu, 82, etc.) en modelos de facies de plataformas silicicásticas barridas por tormentas.

En dichas plataformas se diferencian los depósitos ligados estrictamente con la tempestad ("storn-deposits") (s) en la Fig. 6.5., término a+b. Los depósitos inmediatos a cese de la tempestad, pero aún afectados por ésta, ("post-storn deposits") Ps, términos c+d; y por último los sedimentos propios de plataforma depositados en los períodos de calma entre dos tempestades sucesivas ("inter storn-deposits") IS, tramo e.

Por tanto la acumulación de este tipo de secuencias oscila en áreas de plataforma situadas alternativamente por encima y por debajo del nivel de base del oleaje normal.

Se ha observado una relación inversa entre el espesor de las acumulaciones (simples o amalgamadas) de tempestad y el grado de continuidad lateral de la misma, o la persistencia de su espesor. Los términos de más alta energía y a menu

do más numerosos son los de morfología mas irregular y a la inversa.

Como señalan los autores anteriormente reseñados, debe mencionarse, que la existencia continuada de los términos inferiores en los acúmulos secuenciales, está relacionado con áreas más someras de la plataforma, en tanto que el predominio de los términos superiores en las secuencias indica mayor batimetría. En la facies reflejada de la Fig. 6.5 la megasecuencia sería transgresiva con una disminución progresiva de los términos a y b en las secuencias de tormenta.

- Análisis secuencial

La columna realizada en los sedimentos atribuidos al Fransniense muestra una secuencia de facies de muro a techo:

FI-FI-FII-FIV-FI-FI-FI-FI-FII-FIII-FIV-FV-FV

De esta secuencia de facies puede deducirse la existencia de varias megasecuencias.

La primera agruparía las areniscas FI-FI-FII y FIV con carácter transgresivo en la que se tiene en paso gradual por todos los subambientes de un modelo de facies de isla barrera-lagoón pasando por facies de llanura de marea con sus términos de llanura de marea inferior, media y superior, recurrentes de nuevo en la FI suprayacente, facies de lagoón en la FII y facie de isla barrera en la FIV.

La segunda megasecuencia de características similares, agruparía las facies FI-FI-FI-FII y FIII constituyendo un modelo de facies similar al anterior, en el que se definen

ambientes de llanura de marea (FI), lagoón (FII) e isla barrera sobre llanura de marea externa FIII.

Es evidente que entre ambas megasecuencias de carácter transgresivo media un proceso regresivo con sedimentos de llanura de marea superior, FIs, sobre facies de isla barrera. Este paso viene marcado en la columna con capas de carácter heterolítico posiblemente ligada a fenómenos de tormenta.

Finalmente, la tercera megasecuencia está constituida por acumulados de secuencias FV con las características ya descritas y originadas en plataforma siliciclástica barrida por tormentas.

En el conjunto de estos sedimentos sólo se observa indicios de fosfatización en las facies lagoon, de régimen energético mas débil en la que se describen nódulos de núcleo blando en los que en detalle se han observado acúmulos peletíferos de fosforita. Asimismo, se tienen indicios de fosfatización en las capas de techo de los complejos de isla barrera en clastos con orla ferruginosa.

De lo expuesto hasta aquí, hay que considerar que sólo algunos niveles de la Formación Luesma-Nogueras, muestran un cierto interés fosfatífero; en cambio dentro de la Formación Bandera no se han encontrado niveles significativos. Los indicios mas llamativos, dentro de esta Formación, serían los nódulos con orla ferruginosa y núcleo blando de color amarillento grisáceo.

Con objeto de tener al descubierto y proceder al demuestre, en la Formación Luesma-Nogueras, se realizó la apertura de una calicata en la localidad de Cabezo Bendito, cuya

columna estratigráfica figura en los Anexos de esta memoria. (plano nº 27) y que ha sido descrita anteriormente.

De su análisis se deduce la existencia de varios tramos y niveles fosfatados (ver análisis colorimétricos, petrográficos y químicos en el Anexo de Laboratorios), que se indican a continuación en orden de interés decreciente.

| Tramos | Muestra | % P ₂ O ₅ Anál. químico | Potenc.máx. (cm) |
|----------------------|--------------|--|---------------------|
| 1. (Carbonatado) | CB-196 a 199 | 2,45 - 4,50 | 140 - 180 |
| 2. (Cuarzoarenítico) | CB-85, 87,88 | 2,3 - 4,3 | 160 |
| 3. (Carbonatado) | CB-204-205 | 2,11 - 2,16 | (30-4)+6 |
| <u>Niveles</u> | | | |
| 4. (Cuarzoarenítico) | CB-52 | 4,1 | 40 |
| 5. (Cuarzoarenítico) | CB-47 | 2,67 | 30-60 |
| 6. (Cuarzoarenítico) | CB-95 | 2,5 | 20-30 |
| 7. (Cuarzoarenítico) | CB-27 | 2,2 | 50 |

Las características de estos tramos y niveles pueden resumirse según:

- Tramo 1. (140-180 cm). Está constituido por bioesparuditas, biointraesparuditas e intrabioesparuditas dolomitizadas, limoso-arenosas. Los componentes terrígenos se ciñen exclusivamente al cuarzo (3-5%), de tamaño limo fino-arena muy fina.

Son los componentes aloquímicos, (aprox. 40%), los que aparecen fosfatizados. Entre estos se distinguen los clastos lumpales (5-20%), que presentan una constitución variada, desde masas pelíticas totalmente fosfatizadas (colofana) que

engloban fragmentos de restos fósiles (predominantes), a gravels de constitución terrígena con limos de cuarzo y escasos bioclastos de pequeño tamaño cementados por colofana, y los bioclastos, en general de tamaño rudita, que están poco fosfatizados.

Como componentes ortoquímicos, hay que señalar la presencia de dolomia (40-45%).

Es general la silicificación (5%) y el cemento ferruginoso. Por último hay que destacar la presencia de estructuras geopetales y fisuras rellenas de apatito (1-2%).

Los análisis colorimétricos han dado valores entre 1-20% y los análisis químicos, para el conjunto del tramo, da valores medios comprendidos entre 2,45-4,50% de P₂O₅.

- Tramo 2. (160 cm). Arenisca (cuarzoarenita) con cemento ferruginoso-fosfatado-silíceo, levemente arcillosa. Petrográficamente está constituida por cuarzo (55%) tamaño arena media; aloquímicos (10% oolitos, clastos lumpales 5%); cemento silíceo (5%), cemento fosfatado (5%); cemento ferruginoso (15%); matriz (sericítico-clorítica, 5%) y como accesorios pirita, turmalina y circón.

Los oolitos presentan núcleo de cuarzo y envueltas fosfatadas, o alternantes feruginoso-fosfatadas. Los clastos lumpales, de tamaño arena gruesa a rudita, son agregados de oolitos o bien el clasto de mayor tamaño es de constitución pelítica con núcleos de pirita framboidal y fosfatado en su totalidad.

El cemento fosfatado es de tipo colofana.

El contenido en P₂O₅, obtenido mediante análisis químico, está comprendido entre 2,3-4,3%.

- Tramo 3. (30-40 + 6 cm). Está constituido por esparitas y biointraesparuditas recristalizadas y dolomitizadas, con clastos lumpales fosfatizados.

Como componente terrigeno, hay que señalar el cuarzo (1-2%), y como aloquímicos, dolomia (45-70%), y esparita (7-10%). Cemento ferruginoso (3-6%) y silicificación.

Dentro de los componentes aloquímicos, se tienen los clastos lumpales (6-9%), tamaño rudita y totalmente fosfatizados y los bioclastos (7-20%), parcialmente fosfatizados.

El contenido medio en P₂O₅ del tramo está comprendido - entre el 2,11-2,16%, obtenido por análisis químico..

Entre los niveles fosfatados cortados en la calicata de Cabezo Bendito, se citan:

- Nivel 4 (40 cm). Arenisca limoso (cuarzarenita)-arcillosa con cemento silíceo y fosfatado.

Petrográficamente está constituido por cuarzo (58%) tamaño limo grueso-arena fina; aloquímicos (clastos lumpales 6%; bioclastos 4%); cemento silíceo (10%); cemento fosfatado (10%), matriz sericítica (10%), accesorios (pirita, turmalina, circón, rutilo, esfena,(2%).

Los clastos lumpales, de tamaño rudita, tienen una constitución muy variable, desde agregados de bioclastos con cemento fosfático a granos de constitución similar al sedimento con envuelta ferruginosa y cemento fosfatado.

Los bioclastos parecen fragmentos de restos fósiles de concha gruesa y fragmentos de cuerpos algales lamelares;

en ambos casos fosfatizados.

Hay un cemento fosfático de tipo colofana y fisuras rellenas de mineral fosfatado secundario.

El porcentaje en P_2O_5 obtenido mediante análisis químico es del 4,1%.

- Nivel 5. (30-60 cm). Está constituido por arenisca (cuarzoarenita) con cemento silíceo, fosfatado y ferruginoso. Petrográficamente está formado por cuarzo (67%), tamaño arena media-fina, subredondeada; cemento silíceo (10%); cemento ferruginoso (5%); cemento fosfatado (15%); matriz sericítica (3%). Como accesorios pirita framboidal, turmalina, circón, apatito.

El fosfato (2,67% en análisis químico) se presenta como cemento tipo colofana fibrosa y en menor proporción como cristales de apatito tamaño limo fino.

- Nivel 6 (20-30 cm) formado por arenisca (cuarzarenita) con clastos y oolitos y cemento fosfatado-silíceo y ferruginoso. Entre los componentes petrográficos se tiene: Cuarzo (55%) de tamaño arena media subredondeada. Entre los aloquímicos se presentan clastos (6%) tamaño arena gruesa-rudita y oolitos. Accesorios: pirita y turmalina.

Como cemento se tiene: cemento fosfático (8%), cemento silíceo (9%) y cemento ferruginoso (12%).

Los clastos son de tipo pelítico con pequeños niveles de pirita y totalmente fosfatizados. Los oolitos presentan núcleo de cuarzo y envueltas de colofana.

Así pues, el fosfato se presenta en clastos y oolitos como colofana, en el cemento singenético como colofana con pequeños cristales de apatito, y en las estructuras geopetales y fisuras, como apatito.

El porcentaje medio de P_2O_5 para este nivel, es del 2% (análisis químico).

- Nivel 7 (50 cm). Arenisca (cuarzarenita) con cemento silíceo-carbonatado-ferruginoso. Como componentes se tiene cuarzo (70%), tamaño arena media-fina subredondeada a redondeada; bioclastos (1%); cemento silíceo (12%), cemento carbonatado (6%); cemento ferruginoso (3%) y como accesorios, pirita y turmalina.

La fosfatización se observa de dos formas: como colofana en huecos y como cristales de apatito que se dan en estructuras de tipo "flaser" donde se acumula la pirita framboidal junto a terrígenos finos y cristales de apatito.

El porcentaje medio de P_2O_5 para el nivel es de 2,2% (análisis químico).

La continuidad lateral de los tramos y niveles fosfatados de Cabezo Bendito se estima, según seguimiento de afloramientos, entre 1 a 2 Km. Muestras tomadas en el corte de la Charca, para los niveles cuarzoareníticos han arrojado valores entre 9,5 y 13,2% de P_2O_5 , la que en principio revela una variabilidad, en este caso, bastante positiva.

Los niveles en que aparecen nódulos fosfatados, dentro de los materiales de la Formación Bandera, carecen de interés fosfatífero.

6.2.4.- Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- En el área de Segura de Baños, los litosomas con indicios fosfatadas son la Formación Luesma-Nogueras y la Formación Bandera.
- El estudio estratigráfico y sedimentológico de la Formación Bandera (edad Fransniense); pone de manifiesto la existencia de varias megasecuencias. La primera de estas megasecuencias es de carácter transgresivo, teniéndose un paso gradual por todos los subambientes de un modelo de facies de isla barrera-lagoon pasando por facies de llanura de marea. La segunda megasecuencia presenta características similares, definiéndose ambientes de llanura de marea, lagoón e isla barrera sobre llanura de marea externa.

La tercera megasecuencia está constituida por secuencias propias de plataforma siliciclástica barrida por tormentas.

- En el conjunto de estos sedimentos sólo se observan indicios de fosfatización en las facies lagoón, de régimen energético más débil, en las que se describen nódulos de núcleo blando en los que en detalle se han observado acúmulos peletíferos de fosforita. Asimismo, se tienen indicios de fosfatización en las capas de techo de los complejos de isla barrera, en clastos con orla ferruginosa.

En todos los casos los valores de P_2O_5 no sobrepasan el 1% (en análisis químico) y por lo tanto carecen de interés.

- Dentro de la Formación Luesma-Nogueras, estratigráficamente se han separado cuatro tramos, que de muro a techo se han

denominado A, B, C y D.

El tramo A, por las características definidas a nivel megasecuencial, correspondería a depósitos de llanura de mareas en las que los términos lutíticos representarían los depósitos de llanura de mareas superior y media y los cuerpos de areniscas cuarcíticas las de llanura de mareas inferior y playas. Las intercalaciones, a techo, de capas de sedimentos carbonatados biodetríticos tendrían su origen en esporádicas tormentas que barren esta llanura de mareas. Este tramo A, equivaldría a la Formación Luesma.

El tramo B, constituido por una alternancia de areniscas carbonatadas y areniscas cuarcíticas y calizas bioclásticas, correspondería a sedimentos de lagoón-llanura de marea inferior.

El tramo C se identifica con un modelo de facies de isla barrera-lagoón y vendría regido por un sistema pulsatorio de transgresiones y regresiones, o bien por la destrucción sistemática de la morfología de isla barrera por acción de tormentas y la consiguiente implantación de un modelo similar en los periodos de post tormenta.

El tramo D, no representado en columna, se trata de una potente serie de lutitas grises bioturbadas con nódulos centimétricos dispersos. En estos nódulos se ha observado la presencia de goniátidos y lamelibranquios. Estas lutitas intercalan capas carbonatadas de mudstone y wackstone con birdeseyes.

- Son numerosos los tramos con contenido en fosfato dentro de esta Formación, si bien no llega a identificarse el "Nivel

de Escalambreras", investigado en el área de Santa Cruz de Nogueras, dentro de la Formación Nogueras.

- De estos tramos y niveles, los más significativos, por su contenido en P_2O_5 y potencia son los que se han definido en el sector de Cabezo Bendito:

- Tramo 1 (muestras CB-196-199), 140-180 cm; 2,45-4,5% P_2O_5
- Tramo 2 (muestra CB-85,87,88); 160 cm; 2,3-4,3 % P_2O_5
- Tramo 3 (muestra CB-204-205); 30-40 cm; 2,11-2,16% P_2O_5
- Nivel 4 (CB-52); 40 cm; 4,1% P_2O_5
- Nivel 5 (CB-47); 30-60 cm; 2,67% P_2O_5
- Nivel 6 (CB-95); 20-30 cm; 2,5% P_2O_5
- Nivel 7 (CB-27); 50 cm; 2,2% P_2O_5

- La única zona de posible interés se sitúa en Cabezo Bendito y sus proximidades en el sector NO del área de estudio, en una estructura N-S conformada por las Formaciones Luésma-Nogueras del Devónico inferior.

- La continuidad lateral de los niveles de Cabezo Bendito, se estima en un mínimo de un Kilómetro y en un máximo de algo más de dos. Así en las muestras recogidas en el itinerario de la Charca (muestras serie CH) en niveles equivalentes a los cuarzoareníticos de Cabezo Bendito, han arrojado valores entre 9,5 y 13,2% de P_2O_5 , lo que, en principio, debe de considerarse como un dato altamente positivo.

Recomendaciones

Vistas las conclusiones anteriores, se recomienda proteger legalmente el sector de Cabezo Bendito, mientras se realiza una investigación más detallada que, en principio, debería comprender:

- Cartografía geológica minera detallada de los niveles fosfatos a escala adecuada, para una superficie de unas 300 Ha.
- Levantamientos de columnas estratigráfica-sedimentológicas y tomas de muestras, mediante labores mineras, con posterior análisis de P_2O_5 .

Con ello se espera definir, con la mayor precisión posible, la geometría y variaciones laterales de los tramos y niveles actualmente detectados, y en consecuencia una mejor valoración del posible yacimiento.

Por el contrario se recomienda desestimar el resto del área estudiada, a excepción del entorno de las muestras CH-3 (4,25% de P_2O_5) que se debería incluir en la cartografía estudiada en el punto anterior, recogiendo las muestras suficientes que permitan o no desechar definitivamente esta anomalía.

- . (en prensa).- Hoja Geológica de la Síntesis 1/200.000 de Daroca (2ª Serie). Madrid.

- JOLY, H. (1922).- Sur l'existence de phénomènes de charriage à l'extrémité orientale de la chaîne Ibérique près de Montalbán (province de Téruel, Espagne).- C.R. Acad. Sci., 174: 820-822, 1 Abb., Paris.

- . (1926).- Etudes géologiques sur la Chaîne Celtibérique (Provinces de Téruel, Saragosse, Soria, Logroño, Espagne).- C.R. Congr. Géol. int. Espagne 1926, 14. sess.: 523-572, Madrid.

- . (1927).- Etudes géologiques sur la Chaîne Celtibérique (Provinces de Téruel, Saragosse, Soria et Logroño, Espagne).- C.R. Congr. Géol. int. Espagne 1926, 14. Sess., 1-2: 523-585, 21 Abb., 2 Taf., Madrid.

- KAUFMANN, E. (1965).- Die Störungszone von Montalbán zwischen Armillas und Castel de Cabra.- Unveröff. Dipl.-Arb.: 1-94, 84 Abb., 4 Beil., Heidelberg.

- LOTZE, F. (1929).- Stratigraphie und Tektonik des Keltiberischen Grundgebirges (Spanien).- Abh. Ges. Wiss. Göttingen, Math.- Phys. Kl., N.F., 14: I-XIII, 1-320, Abb. 1-44, Taf. 1-17, Berlin.

- MARIN, Ph. (1974).- Stratigraphie et évolution paléogéographique posthercynienne de la Chaîne Celtibérique aux confins de l'Aragon et du Haut-Maëstrazgo (provinces de Teruel et Castellón de la Plana, Espagne). 1. Le socle paléozoïque et sa couverture Permo?-Triasique. These Doc. Univ. Claude Bernard, 231 p. Lyon.

MARTIN, M., CANEROT, J. y LINARES, A. (1977).- Mapa geológico de España. E. 1:50.000. Explicación de la Hoja núm. 492. Segura de los Baños, 25 pp. 1 mapa geol. IGME. Madrid.

MELENDEZ, B. (1952).- El Devónico en España.- C.R. Congr. Géol. int. Algérie, 19. Sess.: 131-140, Algier.

MELENDEZ, B., TALENS, J., FONOLLA, F. y ALVAREZ, C. (1983).- Las cuencas carboníferas del sector central de la Cordillera Ibérica (Herrarejos y Montalbán). Carb. y Perm. de Esp., XICC, 207-220. Madrid.

MOISSENET, E., CANEROT, J., PALHE, P. (1972).- Géologie et Relief dans la Région de Montalbán (Province de Teruel).- Mélanges de la Casa de Velázquez, VIII: 5-50, 6 Fig., 8 Photos, 3 Taf., Paris.

QUARCH, H. (1973).- Stratigraphie und Tektonik des Jungpaläozoikums im Sattel von Montalbán (Ostliche Iberische Ketten, NE-Spanien).- Unveröff. Diss.- 1-202, 10 Abb., 10 Taf., 2 Beil., Würzburg.

-. (1975).- Stratigraphie und Tektonik des Jungpaläozoikums im Sattel von Montalbán (Ostliche Iberische Ketten, NE-Spanien.- Geol. J.B., B 16: 3-43, 9 Abb, 1 Tab, 4 Taf., Hannover.

RIBA, O., VILLENA, J. y VALLIERES, TH. DES (1966).- Nota sobre la presencia de terrenos de edad carbonífera en la parte oriental del macizo de Montalbán (Provincia de Teruel).- Acta geol. hisp., 1, 2:5-6, Zaragoza.

- RICHTER, G. y TEICHMULER, R. (1933).- Die Entwicklung der Keltiberischen Ketten.- Abb. Ges. Wiss. Göttingen, Math.- Phys. Kl., 3, 7: 1-118, 56 Abb., 5 Taf., Berlin.
- SACHER, L. (1965).- Das Jungpaläozoikum der Keltiberischen Ketten (Spanien).- Univeröff. Diss.: 1-106, 58 Abb., 7 Taf., 2 Tab., Heidelberg.
- . (1966 a).- Über karbonische Sedimente bei Montalbán in den Ostlichen Iberischen Ketten (Spanien).- N. Jb. Geol. Paläont., Mh., 1966, 7: 436-443, 2 Abb., Stuttgart.
- . (1966 b).- Stratigraphie und Tektonik der nordwestlichen Iberischen Ketten (Spanien).- N. Jb. Geol. Paläont., Abh., 124, 2:151-167, Stuttgart.
- STILLE, H. (1927).- Über westmediterrane Gebirgszusammenhänge.- Abh. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-Phys. Kl., N.F., 12, 3: 1-62, 7 Abb., Berlin.
- VERNEUIL, E. DE & LARTET (1863).- Note sur le calcaire à Lychnus des environs de Segura (Aragón).- Bull. Soc. géol. France, 2. ser., 20: 684-698, Paris.
- VILLENA, J., PENDON, J.G., PARDO, G. y MELENDEZ, A. (1979).- Rasgos sedimentológicos del Carbonífero inferior de Montalbán (provincia de Teruel; Acta Geol. Hisp., 1. 14, pp. 208-212. Barcelona.
- . y PARDO, G. (1983).- El Carbonífero de la Cordillera Ibérica (sectores de Sierra de la Demanda, Montalbán y Puig Moreno). Carb. y Perm. de España, X.ICC, 189-206 Madrid.

WEDDIGE, K. (1977).- Die Conodonten der Eifel-Stufe im Typusgebiet und in benachbarten Faziesgebieten.- Senckenbergiana lethaca, 58 (4/5): 271-419, Abb. 1-9, Tab. 1-20, Taf. 1-6; Frankfurt a. M.

ZIEGLER, W. (1971).- Conodont Stratigraphy of the European Devonian.- In SWEET, W.C. & BERGSTROM, S.M. (Eds.): Symposium on Conodont biostratigraphy.- Geol. Soc. Amer., Mem. 127: 227-284, Abb. 1-3, Tab. 1-6; Boulder/Colo.

-. KLAPPER, G. & JOHNSON, J.G. (1976).- Redefinition and subdivision of the vareus-Zone (Conodonts, Middle-? Upper Devonian) in Europe and North America.- Geologica et Paleontologica, 10: 109-140, Abb. 1-5, Tab. 1-15, Taf. 1-4; Marburg.

ANEXO I
LABORATORIOS

1.- ANALISIS COLORIMETRICOS

Se tomaron 538 muestras en campo, cuya situación queda indicada en el Plano nº 26 y su distribución es como sigue:

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P₂O₅</u> |
|-------------------|--|-------------------------------------|
| C. Charca | | |
| CH-1 | Cuarcita pardo-grisácea | < 1 |
| CH-2 | " " " con tonalidades violáceas | < 1 |
| CH-3 | Cuarcita pardo-grisácea con clas - tos de pizarra gris | " |
| CH-4 | Arenisca parda | " |
| CH-5 | " " | " |
| CH-6 | Cuarcita fina gris | " |
| CH-7 | " " " | " |
| CH-8 | Caliza | 3 |
| CH-9 | Caliza violácea | < 1 |
| CH-10 | Cuarcita blanca | " |
| CH-11 | Cuarcita pardo grisácea | " |
| CH-12 | Cuarcita blanquecina | " |
| CH-13 | Cuarcita gris | " |
| CH-14 | Cuarcita pardo amarillenta | " |
| CH-15 | Cuarcita parda | " |
| CH-16 | " " | " |
| CH-17 | Cuarcita parda, con nódulos fosfat. | 8 |
| CH-18 | " " verdosa " " | 7 |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P2O5</u> |
|-------------------------|------------------------------------|---------------|
| C. Charca | | |
| CH-19 | Cuarcita pardo verdosa | < 1 |
| CH-20 | " " " | " |
| CH-21 | Cuarcita con abund.nódul.fosfatad. | 20 |
| CH-22 | " " " " " | 10 |
| Mues.aisladas | | |
| P-1 | Cuarcita gris verdosa | < 1 |
| P-2 | Caliza gris azulada | " |
| P-3 | Cuarcita fina gris azulada | " |
| P-4 | Roca blanca | " |
| <u>C.Cabezo Bendito</u> | | |
| CB-1 | Caliza amarillenta | < 1 |
| CB-2 | Pizarra | " |
| CB-3 | Arena pardo amarillenta | " |
| CB-4 | Cuarcita pardo amarillenta | " |
| CB-5 | " " " | " |
| CB-7 | " amarillenta | " |
| CB-8 | Arenisca | " |
| CB-9 | Pizarra | " |
| CB-10 | Arenisca pardo amarillenta | " |
| CB-11 | " " " | " |
| CB-13 | Arenisca roja | " |
| CB-14 | " " " | " |
| CB-15 | " " " | " |
| CB-16 | Arenisca pardo amarillenta | " |
| CB-17 | " " " | " |
| CB-18 | " " " | 3 |
| CB-19 | Cuarcita amarillenta | 1 |
| CB-20 | " " | < 1 |
| CB-21 | Caliza " | " |
| CB-22 | " " | " |
| CB-23 | " " | " |
| CB-24 | " " | " |
| CB-25 | Caliza " | " |
| CB-26 | " " | " |
| CB-27 | " " | " |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P2O5</u> |
|-------------------|--|---------------|
| c. CB | | |
| CB-28 | Cuarcita muy amarillenta | 11 |
| CB-29 | Arenisca roja | 1 |
| CB-30 | Pizarra roja | < 1 |
| CB-31 | Pizarra | " |
| CB-32 | Cuarcita blanca | " |
| CB-33 | " " | " |
| CB-34 | " " | " |
| CB-35 | " " | " |
| CB-36 | " " | " |
| CB-37 | " " | " |
| CB-38 | Arenisca roja, ferruginosa, algún nódulo fosfatado | 1 |
| CB-40 | Arenisca roja, ferruginosa, algún nódulo fosfatado | 12 |
| CB-41 | Arenisca roja, ferruginosa | < 1 |
| CB-42 | " " " | " |
| CB-43 | Cuarcita blanca | " |
| CB-44 | " " | " |
| CB-45 | " " | " |
| CB-46 | Cuarcita pardo amarillenta | " |
| CB-47 | " " " | 4 |
| CB-48 | Cuarcita blanca | < 1 |
| CB-49 | " " | " |
| CB-50 | " " | " |
| CB-51 | " " | " |
| CB-52 | Cuarcita pardo amarillenta | 1 |
| CB-53 | " " " | < 1 |
| CB-54 | " " " | " |
| CB-55 | Cuarcita blanca | 1 |
| CB-57 | Cuarcita pardo amarillenta | < 1 |
| CB-58 | Pizarra nodulosa | " |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P2O5</u> |
|-------------------|-----------------------------------|---------------|
| C. CB | | |
| CB-59 | Cuarcita blanca | < 1 |
| CB-60 | Cuarcita pardo amarillenta | " |
| CB-61 | " " " | " |
| CB-62 | " " " | " |
| CB-63 | " " " | " |
| CB-64 | " " " | " |
| CB-65 | " " " | " |
| CB-66 | " " " | " |
| CB-67 | " " " | " |
| CB-68 | " " " | " |
| CB-69 | " " " | " |
| CB-70 | " " " | " |
| CB-71 | " " " | " |
| CB-72 | " " " | " |
| CB-73 | Cuarcita blanca | " |
| CB-74 | " " | " |
| CB-75 | " " | " |
| CB-76 | " " | " |
| CB-77 | " " | " |
| CB-78 | Cuarcita blanco grisácea | " |
| CB-79 | " " " | 1 |
| CB-80 | Pizarra gris | < 1 |
| CB-81 | " " | " |
| CB-82 | Cuarcita morada, algo ferrugin. | " |
| CB-83 | " " " " | " |
| CB-84 | " " " " | " |
| CB-85 | " " " " con nódulos fosfatados | 10 |
| CB-87 | Cuarcita fina, pardo-violácea | < 1 |
| CB-88 | " " " | " |
| CB-89 | " " " | " |
| CB-90 | " " " | " |
| CB-91 | Cuarcita gris violácea | " |
| CB-92 | Cuarcita fina, pardo violácea | " |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P2O5</u> |
|-------------------|---|---------------|
| C. CB | | |
| CB-93 | Cuarcita fina gris | < 1 |
| CB-94 | Pizarra parda | " |
| CB-95 | Cuarcita violácea con nódulos grises fosfatados | 12 |
| CB-96 | Limolitas grises | < 1 |
| CB-97 | " " | " |
| CB-98 | " " | " |
| CB-99 | Limolita gris parda | " |
| CB-100 | " " " | " |
| CB-101 | Lutitas grises | " |
| CB-102 | " " | " |
| CB-103 | Limolita gris parda | " |
| CB-104 | " " " | " |
| CB-105 | " " " | " |
| CB-106 | " " " | " |
| CB-107 | Arenisca limosa parda | " |
| CB-108 | " " " | " |
| CB-109 | Limolita pardo amarillenta | " |
| CB-110 | " " " | " |
| CB-111 | " " " | " |
| CB-112 | " " " | " |
| CB-113 | Caliza amarillenta | " |
| CB-114 | " " | " |
| CB-115 | Cuarcita fina blanco grisácea, con tonalidades violáceas | " |
| CB-116 | Cuarcita fina blanco grisácea, con tonalidades violáceas | " |
| CB-117 | Cuarcita fina blanco grisácea, con tonalidades violáceas | " |
| CB-118 | Cuarcita fina blanco grisácea, con tonalidades violáceas | " |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P2O5</u> |
|-------------------|--|---------------|
| C. CB | | |
| CB-119 | Cuarcita fina blanco grisácea con tonalidades violáceas | 1 |
| CB-120 | Cuarcita fina blanco grisácea con tonalidades violáceas | " |
| CB-121 | Cuarcita fina blanco grisácea con tonalidades violáceas | " |
| CB-122 | Cuarcita fina blanco grisácea con tonalidades violáceas | " |
| CB-123 | Cuarcita fina blanco grisácea con tonalidades violáceas | " |
| CB-125 | Cuarcita fina blanco grisácea con tonalidades violáceas | " |
| CB-126 | Cuarcita fina blanco grisácea con tonalidades violáceas | " |
| CB-127 | Cuarcita fina blanco grisácea con tonalidades violáceas | " |
| CB-128 | Cuarcita fina blanco grisácea con tonalidades violáceas | " |
| CB-129 | Cuarcita fina blanco grisácea con tonalidades violáceas | " |
| CB-130 | Cuarcita fina blanco grisácea con tonalidades violáceas | " |
| CB-131 | Cuarcita fina pardo-violácea | 2 |
| CB-132 | " " blanquecina, con tonalidades violáceas | < 1 |
| CB-133 | Cuarcita fina, blanquecina, con tonalidades violáceas | " |
| CB-134 | Cuarcita fina, blanquecina, con tonalidades violáceas | " |
| CB-135 | Cuarcita fina, blanca | " |
| CB-136 | " " " | " |
| CB-137 | Cuarcita fina, gris-violácea | " |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P2O5</u> |
|-------------------|---|---------------|
| C. CB | | |
| CB-138 | Cuarcita fina, gris-violácea | 1 |
| CB-139 | " " " | " |
| CB-140 | Cuarcita fina, pardo violácea, con nódulos grises fosfatados | " |
| CB-141 | Cuarcita amarillo-violácea | " |
| CB-142 | Cuarcita fina gris azulado-violác. | " |
| CB-143 | " " " " | " |
| CB-144 | " " " " | " |
| CB-145 | " " " " | " |
| CB-146 | " " " " | " |
| CB-147 | " " " " | " |
| CB-148 | " " " " | " |
| CB-149 | " " " " | " |
| CB-150 | " " " " | " |
| CB-151 | " " " " | " |
| CB-152 | " " " " | " |
| | con algún nódulo de siderita | " |
| CB-153 | Cuarcita fina gris azulado-violác. | " |
| CB-154 | Cuarcita fina blanca | " |
| CB-155 | " " " | " |
| CB-157 | Cuarcita fina, gris azulado-violác. | " |
| CB-158 | " " blanco grisácea | " |
| CB-159 | Cuarcita fina, blanca | " |
| CB-160 | " " " | " |
| CB-161 | Pizarra gris claro | " |
| CB-162 | Cuarcita fina, amarillenta | " |
| CB-163 | Cuarcita fina gris claro con pizarra gris | " |
| CB-164 | Cuarcita fina, gris blanquecina | " |
| CB-167 | Cuarcita pardo amarillenta | " |
| CB-168 | Cuarcita blanca | " |
| CB-169 | " " | " |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P2O5</u> |
|-------------------|---|---------------|
| C. CB | | |
| CB-170 | Cuarcita blanca | < 1 |
| CB-171 | Cuarcita fina gris-violácea | " |
| CB-172 | " " " " | " |
| CB-173 | Cuarcita blanca | " |
| CB-174 | " " | " |
| CB-175 | Cuarcita fina, gris azul.-violácea | " |
| CB-176 | " " " " " | " |
| CB-177 | " " " " " | " |
| CB-178 | " " " " " | " |
| CB-179 | Cuarcita fina, gris-violácea | " |
| CB-180 | " " " " | " |
| CB-181 | " " " " | " |
| CB-182 | " " " " | " |
| CB-183 | " " " " | " |
| CB-184 | " " " " | " |
| CB-185 | " " " " | " |
| CB-186 | " " " " | " |
| CB-187 | Cuarcita fina, blanca | " |
| CB-188 | " " " | " |
| CB-189 | " " " | " |
| CB-190 | " " " | " |
| CB-191 | " " " | " |
| CB-192 | " " " | " |
| CB-193 | " " " | " |
| CB-194 | " " " | " |
| CB-195 | " " " | " |
| CB-196 | Caliza amarillenta, con nodulillos grises fosfatados | 11 |
| CB-197 | Caliza amarillenta | 1 |
| CB-198 | " " | 17 |
| CB-199 | " " | 4 |
| CB-200 | " " | 1 |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P2O5</u> |
|-------------------|-------------------------|---------------|
| C. CB | | |
| CB-202 | Caliza amarillenta | < 1 |
| CB-203 | " " | 4 |
| CB-204 | " " | 1 |
| CB-205 | " " | " |
| CB-206 | Caliza gris amarillenta | < 1 |
| CB-207 | " " " | " |
| CB-208 | " " " | " |
| CB-209 | Caliza amarillenta | " |
| CB-210 | " " | 1 |
| CB-211 | " " | 3 |
| CB-212 | Pizarra gris | 1 |
| CB-213 | " " | < 1 |
| CB-214 | " " | " |
| CB-215 | " " | " |
| CB-216 | " " | " |
| CB-217 | " " | " |
| CB-218 | " " | " |
| CB-219 | " " | " |
| CB-220 | " " | " |
| CB-221 | " " | " |
| CB-222 | " " | < 1 |
| CB-223 | Cuarcita fina | 1 |
| CB-224 | " " | < 1 |
| CB-225 | Caliza fina | < 1 |
| CB-226 | " " | " |
| CB-227 | " " | " |
| CB-228 | Pizarra gris | " |
| CB-229 | " " | " |
| CB-230 | " " | " |
| CB-231 | " " | " |
| CB-232 | " " | " |
| CB-233 | Cuarcita fina | 3 |
| CB-234 | Pizarra con fósiles | < 1 |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P2O5</u> |
|-------------------|----------------------------|---------------|
| C. CB | | |
| CB-235 | Pizarra con fósiles | < 1 |
| CB-236 | Cuarcita fina | " |
| CB-237 | Pizarra | " |
| CB-238 | Cuarcita | " |
| CB-239 | Arenisca limosa. Caliza | " |
| CB-240 | " " carbonatada | " |
| CB-241 | Arenisca pardo amarillenta | " |
| CB-242 | Caliza " " | " |
| CB-243 | " " " | " |
| CB-244 | Cuarcita " " | " |
| CB-245 | " " " | 2 |
| CB-246 | Arenisca limosa parda | < 1 |
| CB-247 | Cuarcita pardo amarillenta | " |
| CB-248 | Pizarra gris | " |
| CB-249 | Cuarcita pardo amarillenta | " |
| CB-250 | Pizarra gris | " |
| CB-251 | Cuarcita pardo amarillenta | 1 |
| CB-252 | " " " | < 1 |
| CB-253 | Pizarra gris | " |
| CB-254 | Cuarcita pardo amarillenta | " |
| CB-255 | " " " | " |
| CB-256 | " " " | 1 |
| CB-257 | " " " | < 1 |
| CB-258 | " " " | " |
| CB-259 | Caliza " " | " |
| CB-260 | " " " | " |
| CB-261 | " " " | " |
| CB-262 | " " " | " |
| CB-263 | " " " | " |
| CB-264 | " " " | " |
| CB-265 | Pizarras grises | " |
| CB-266 | " " | " |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P2O5</u> |
|-------------------|----------------------------|---------------|
| C. CB | | |
| CB-267 | Pizarras grises | 1 |
| CB-268 | " " | " |
| CB-269 | " " | " |
| CB-270 | Cuarcita pardo amarillenta | " |
| CB-271 | " " " | " |
| CB-272 | Pizarra gris | " |
| CB-273 | " " | " |
| CB-274 | " " | " |
| CB-275 | Cuarcita pardo amarillenta | " |
| CB-276 | " " " | 11 |
| CB-277 | " " " | 1 |
| CB-278 | " " " | 1 |
| CB-279 | " " " | < 1 |
| CB-280 | Caliza | < 1 |
| CB-281 | Arenisca roja | 1 |
| CB-282 | " " | < 1 |
| CB-283 | Cuarcita pardo amarillenta | " |
| CB-284 | " " " | " |
| CB-285 | " " " | " |
| CB-286 | " " " | " |
| CB-287 | " " " | " |
| CB-288 | " " " | " |
| CB-289 | " " " | " |
| CB-290 | " pardo grisácea | " |
| CB-291 | Cuarcita pardo amarillenta | " |
| CB-292 | " " " | " |
| CB-293 | " " " | " |
| CB-294 | " " " | " |
| CB-295 | " " " | " |
| CB-296 | " " " | " |
| CB-297 | " " " | " |
| CB-298 | " " " | " |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P2O5</u> |
|-------------------|-------------------------------|---------------|
| C. CB | | |
| CB-299 | Caliza pardo amarillenta | < 1 |
| CB-300 | " " " | < 1 |
| CB-301 | " " " | " |
| CB-302 | " " " | " |
| CB-303 | " " " | 1 |
| CB-304 | " " " | < 1 |
| CB-305 | " " " | " |
| CB-306 | " " " | " |
| <hr/> | | |
| C. Cerro Moro | | |
| CM-1 | Caliza | 0,2 |
| CM-2 | " | " |
| CM-3 | Cuarcita | " |
| CM-4 | " | < 0,1 |
| CM-5 | " | 0,1 |
| CM-6 | Caliza | < 0,1 |
| CM-7 | " | 0,9 |
| CM-8 | " | < 0,1 |
| CM-9 | Pizarra fina, gris | " |
| CM-10 | Caliza | " |
| CM-11 | Pizarra | " |
| CM-12 | " | " |
| CM-13 | Caliza | " |
| CM-14 | " | " |
| CM-15 | Pizarra | " |
| CM-16 | " | " |
| CM-17 | " | 0,4 |
| CM-18 | " | 0,1 |
| CM-19 | Caliza | " |
| CM-20 | Pizarra poco arenosa, micácea | 0,1 |
| CM-21 | Cuarcita | < 0,1 |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P2O5</u> |
|-------------------|-------------------------------|---------------|
| C.Cerro Moro | | |
| CM-22 | Cuarcita | 0,6 |
| CM-23 | " | < 0,1 |
| CM-24 | Pizarra | " |
| CM-25 | Cuarcita | " |
| CM-26 | Arenisca | 0,3 |
| CM-27 | " | <0,1 |
| CM-28 | " | 0,9 |
| CM-29 | " | 0,3 |
| CM-30 | " | 0,6 |
| CM-31 | Caliza | 1 |
| CM-32 | " | 0,1 |
| CM-33 | Pizarra | 0,2 |
| CM-34 | Arenisca | <0,1 |
| CM-35 | " | " |
| CM-36 | Cuarcita | " |
| CM-37 | " | " |
| CM-38 | " | " |
| C.de Maicas | | |
| MA-1 | Cuarcita | 0,1 |
| MA-2 | Arenisca roja | 0,2 |
| MA-3 | " " | " |
| MA-4 | Pizarra arenosa, micácea | <0,1 |
| MA-4' | Pizarra fina, micácea, gris | " |
| MA-5 | Pizarra poco arenosa, micácea | " |
| MA-6 | nódulos | 0,2 |
| MA-6 ¹ | | 0,1 |
| MA-6 ² | | <0,1 |
| MA-6 ³ | | " |
| MA-6 ⁴ | | " |
| MA-6 ⁵ | | " |
| MA-6 ⁶ | " | |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P₂O₅</u> |
|--|------------------------------|-------------------------------------|
| C.de Maicas | | |
| MA-7 | Pizarra | < 0,1 |
| MA-8 | Caliza | 0,5 |
| MA-9 | " | 0,4 |
| MA-10 | " | < 0,1 |
| MA-11 | " | " |
| MA-11 ¹ | " | 0,4 |
| MA-11 ² | " | < 0,1 |
| MA-11 ³ | " | " |
| MA-12 | Caliza | " |
| C.Ferrocarril abandonado- Cabezos Altos | | |
| FC-1 | Pizarra fina, sup. satinadas | < 0,1 |
| FC-2 | " " gris | " |
| FC-3 | Arenisca | " |
| FC-4 | " | 0,2 |
| FC-5 | Pizarra fina | < 0,1 |
| FC-6 | " " gris, micácea | " |
| FC-7 | " " " | " |
| FC-8 | Arenisca grano grueso | " |
| FC-9 | Pizarra fina | " |
| FC-10 | " " | " |
| FC-11 | Pizarra arenosa micácea | " |
| FC-12 | Pizarra fina micácea | " |
| FC-13 | " | " |
| FC-14 | " | " |
| FC-15 | " | " |
| FC-16 | " | 0,6 |
| FC-17 | " | < 0,1 |
| FC-18 | " | 0,2 |
| FC-19 | " | < 0,1 |
| FC-20 | Cuarcita | " |
| FC-21 | Areniscas rojas | " |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P2O5</u> |
|-------------------|-----------------------------------|---------------|
| C.F.C.abandon. | | |
| Cabezos Altos | | |
| FC-22 | Areniscas rojas | 0,4 |
| FC-23 | Pizarra fina, sup. satinadas | < 0,1 |
| FC-24 | " " " " | < 0,1 |
| FC-25 | " " micácea | 0,1 |
| FC-26 | " " " | < 0,1 |
| FC-27 | " " " | " |
| FC-28 | Cuarcita | " |
| FC-29 | Pizarra fina | " |
| FC-30 | " " | " |
| FC-31 | " " | " |
| FC-32 | " " | " |
| FC-33 | " " | 0,3 |
| FC-34 | " " | 0,2 |
| FC-35 | Arenisca de grano fino | < 0,1 |
| FC-36 | Pizarra muy arenosa, micác., roja | 0,9 |
| FC-37 | Cuarcita | < 0,1 |
| FC-38 | Pizarra fina, micácea | < 0,1 |
| FC-39 | " " " | " |
| FC-40 | " " " | " |
| FC-41 | " " " | " |
| FC-42 | " " " | " |
| FC-43 | " " " | " |
| FC-44 | " " " | " |
| FC-45 | Cuarcita | < 0,1 |
| FC-46 | " | " |
| FC-47 | Pizarra fina micácea | " |
| FC-48 | " " " | " |
| FC-49 | " " " | " |
| FC-50 | " " " | " |
| FC-51 | " " " | " |
| FC-52 | " " " | " |
| FC-53 | " " " | " |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P₂O₅</u> |
|-------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| C. F.C. | | |
| Cabezos Altos | | |
| FC-54 | Cuarcita | 0,1 |
| FC-55 | Arenisca | " |
| FC-56 | " | 0,2 |
| FC-57 | " | < 0,1 |
| FC-58 | Arenisca roja | 0,1 |
| FC-59 | Cuarcita | < 0,1 |
| FC-60 | Caliza | " |
| FC-61 | Cuarcita | " |
| FC-62 | " | " |
| FC-63 | " | " |
| FC-64 | | < 0,1 |
| FC-65 | Pizarra fina | " |
| FC-66 | Pizarra arenosa, micácea | < 0,1 |
| FC-67 | | " |
| FC-68 | | 0,5 |
| FC-69 | | < 0,1 |
| FC-70 | Pizarra fina negra | " |
| FC-71 | " " micácea | " |
| FC-72 | " " " | " |
| FC-73 | " " " | " |
| FC-74 | | 0,4 |
| FC-75 | | < 0,1 |
| FC-76 | Pizarra poco arenosa, micácea | 0,1 |
| FC-77 | " " " " | " |
| FC-78 | " " " " | " |
| FC-79 | | " |
| FC-80 | Pizarra fina, micácea | " |
| FC-81 | " " " | " |
| FC-82 | | < 0,1 |
| FC-83 | | 0,3 |
| FC-84 | | < 0,1 |
| FC-85 | | " |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P2O5</u> |
|--------------------------------|------------------------|---------------|
| C.FC.abandon. Cabezos Altos | | |
| FC-86 | | 0,6 |
| FC-87 | | < 0,1 |
| FC-88 | | " |
| FC-89 | | 0,3 |
| FC-90 | | < 0,1 |
| FC-91 | | " |
| FC-92 | | " |
| FC-93 | | " |
| FC-94 | | < 0,1 |
| FC-95 | | " |
| FC-96 | | " |
| FC-97 | | " |
| FC-98 | | " |
| FC-99 | | " |
| <hr/> | | |
| C. Fuendemunia | | |
| FU-1 | Arenisca | < 0,1 |
| FU-2 | Caliza | " |
| FU-3 | " | 0,1 |
| FU-4 | Pizarra arenosa | 0,1 |
| FU-5 | Caliza | " |
| FU-6 | Arenisca grano fino | " |
| FU-7 | Caliza | 0,1 |
| FU-8 | " | " |
| FU-9 | " | 2 |
| FU-10 | " | 0,1 |
| FU-11 | " | " |
| FU-12 | " | " |
| FU-13 | Arenisca de grano fino | < 0,1 |
| FU-14 | " " " | " |
| FU-15 | " " " | 0,2 |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P₂O₅</u> |
|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| C.Armillas | | |
| AR-1 | Cuarcita | > 0,1 |
| AR-2 | Pizarra fina, superficies satinadas | 0,2 |
| AR-3 | " " | 0,3 |
| AR-4 | Arenisca roja | 0,3 |
| AR-5 | " " | 0,2 |
| AR-6 | Pizarra fina, sup. satinadas | > 0,1 |
| AR-7 | Arenisca roja | " |
| AR-8 | Pizarra fina, sup. satinadas | " |
| AR-9 | " " " " | " |
| AR-10 | Arenisca grano muy grueso | " |
| AR-11 | Areniscas rojas | " |
| AR-12 | Pizarra fina | 0,4 |
| AR-13 | " " | 0,1 |
| AR-14 | Arenisca grano muy grueso | > 0,1 |
| AR-15 | Pizarra fina | " |
| AR-16 | " " | " |
| AR-17 | " " | " |
| AR-18 | Arenisca grano muy fino | " |
| AR-19 | " " " " | " |
| AR-20 | Pizarra fina, sup. satinadas | " |
| AR-21 | " " " " | " |
| AR-22 | " " " " | " |
| AR-23 | " " " " | " |
| AR-24 | " " " " | " |
| AR-25 | " " " " | " |
| AR-26 | " " " " | " |
| AR-27 | " " " " | " |
| AR-28 | " " " " | " |
| AR-29 | " " " " | " |
| AR-30 | " " " " | " |
| AR-31 | Arenisca grano muy grueso | 0,2 |
| AR-32 | " " " " | 0,5 |
| AR-33 | " " " " | 0,1 |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>LITOLOGIA</u> | <u>% P2O5</u> |
|-------------------|------------------------------|---------------|
| C. Armillas | | |
| AR-34 | Pizarra fina, sup. satinadas | 0,1 |
| AR-35 | Cuarcita | " |
| AR-36 | Pizarra fina | " |
| AR-37 | " " | 0,3 |
| AR-38 | Caliza | 0,5 |
| AR-39 | " | 0,2 |
| AR-40 | Caliza | 0,1 |
| AR-41 | | " |
| AR-42 | Pizarra fina, sup. satinadas | " |
| AR-43 | | " |

2.- ANALISIS QUIMICOS

Con el fin de conocer los contenidos en P_2O_5 del material con anomalía colorimétrica, o con una facies favorable para contener fosfatos, se procedió al desmuestre sistemático de todos los niveles. Las muestras analizadas dieron los resultados siguientes:

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>% P_2O_5</u> |
|-------------------|------------------------------|
| CB-1 | 1,07 |
| CB-13 | 1,43 |
| CB-18 | 0,60 |
| CB-19 | 0,68 |
| CB-21 | 0,56 |
| CB-25 | 0,66 |
| CB-27 | 2,20 |
| CB-28 | 1,91 |
| CB-29 | 0,75 |
| CB-34 | 0,11 |
| CB-38 | 1,54 |
| CB-40 | 1,03 |
| CB-41 | 0,57 |
| CB-46 | 0,12 |
| CB-47 | 2,67 |
| CB-52 | 4,10 |
| CB-55 | 1,30 |
| CB-59 | 1,92 |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>% P2O5</u> |
|-------------------|---------------|
| CB-71 | 0,11 |
| CB-79 | 0,39 |
| CB-85 | 4,27 |
| CB-87 | 2,31 |
| CB-88 | 2,34 |
| CB-89 | 0,25 |
| CB-90 | 1,87 |
| CB-93 | 0,48 |
| CB-95 | 2,50 |
| CB-100 | 0,09 |
| CB-105 | 0,11 |
| CB-110 | 0,16 |
| CB-111 | 0,26 |
| CB-113 | 0,28 |
| CB-130 | 0,18 |
| CB-131 | 1,07 |
| CB-132 | 0,41 |
| CB-134 | 0,24 |
| CB-140 | 0,97 |
| CB-176 | 0,48 |
| CB-182 | 0,77 |
| CB-196 | 4,40 |
| CB-197 | 3,26 |
| CB-198 | 4,50 |
| CB-199 | 2,45 |
| CB-200 | 0,54 |
| CB-202 | 0,22 |
| CB-203 | 0,93 |
| CB-204 | 2,16 |
| CB-205 | 2,11 |
| CB-206 | 1,40 |
| CB-207 | 0,57 |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>% P2O5</u> |
|-------------------|---------------|
| CB-208 | 0,48 |
| CB-209 | 0,25 |
| CB-210 | 0,87 |
| CB-211 | 1,23 |
| CB-212 | 0,12 |
| CB-213 | 0,06 |
| CB-215 | 0,16 |
| CB-217 | 0,11 |
| CB-218 | 0,14 |
| CB-220 | 0,13 |
| CB-221 | 0,18 |
| CB-222 | 0,62 |
| CB-223 | 0,13 |
| CB-224 | 0,35 |
| CB-225 | 0,09 |
| CB-231 | 0,08 |
| CB-237 | 0,09 |
| CB-239 | 0,13 |
| CB-240 | 0,14 |
| CB-241 | 0,31 |
| CB-242 | 0,81 |
| CB-246 | 1,38 |
| CB-251 | 1,40 |
| CB-256 | 0,38 |
| CB-259 | 0,17 |
| CB-276 | 0,91 |
| CB-277 | 0,51 |
| CB-278 | 1,24 |
| CB-280 | 1,25 |
| CB-303 | 0,39 |
| CB-214 | 0,11 |

| <u>Nº MUESTRA</u> | <u>% P2O5</u> |
|-------------------|---------------|
| CH-1 | 0,10 |
| CH-2 | 0,55 |
| CH-3 | 4,25 |
| CH-6 | 0,18 |
| CH-8 | 1,36 |
| CH-9 | 1,24 |
| CH-11 | 0,11 |
| CH-12 | 0,05 |
| CH-14 | 0,38 |
| CH-16 | 0,53 |
| CH-17 | 9,50 |
| CH-18 | 1,35 |
| CH-19 | 0,83 |
| CH-20 | 0,98 |
| CH-21 | 13,20 |
| CH-22 | 10,00 |
| P-1 | 1,12 |
| P-2 | 0,81 |
| P-4 | 0,08 |

3.- ESTUDIOS PETROGRAFICOS

De las muestras que presentan un contenido anómalo en P₂O₅, se han realizado láminas transparentes para su estudio petrográfico, con el fin de definir el tipo de fosfatos, los componentes que se encuentran fosfatizados, y cómo han sido afectados por los procesos diagenéticos.

La relación de las muestras estudiadas y la descripción de los estudios es:

CB-18

Componentes:

Cuarzo - 20% - tamaño arena media subredondeada

Aloquímicos - Bioclastos - 10%

- Clastos lumpales. - 3%

- Ooides - 7%

Ortoquímicos - 42% - dolomía de grano medio

Cemento ferruginoso - 15%

Fosfatización - 3% - (en oolitos (primario) y en fisuras (secundario))

Los clastos lumpales (gravels.) se presentan como agregados de intraclastos y bioclastos fosfatizados de tamaño rudita.

Los oolitos normalmente tienen un núcleo de grano de cuarzo y envueltos en colofana y mineral de hierro.

El mayor porcentaje de fosfato se dá en fisuras rellenas de colofana (fosfato diagenético o postdiagenético).

Bioesparita, arenosa. con oolitos y clastos lumpales, dolomitizada y recristalizada.

CB-19

Componentes:

Cuarzo - 50% - Tamaño arena media-fina subredondeada
Aloquímicos - Bioclastos - 8%
- Ooides - 2%
Ortoquímicos - 30% - Dolomía de grano medio
Cemento ferruginoso - 10%
Fosfatización - 1% - en ooides
Accesorios: Turmalina

Los oolitos se observan con núcleo de cuarzo y envueltas ferruginosas. En muy escasos granos las envueltas son alternantes, ferruginosas y de colofana.

Sedimento intermedio: Areniscas con fósiles y bioclastos, con cemento mixto dolomítico-ferruginoso en paso a Esparita muy arenosa, con fósiles y oolitos; Dolomitizada.

CB-28

Componentes:

Cuarzo - 75% Tamaño arena media-fina subredondeada a re-

dondeada.

Aloquímicos - 1% - (bioclastos)
Cemento silíceo - 12%
Cemento carbonatado - 6%
Cemento ferruginoso - 3%
Accesorios: Pirita, turmalina
Fosfatización: <1%

La fosfatización se observa de dos formas: como colofana en huecos y como cristales de apatito que se dan en estructuras de tipo "flaser" donde se acumula la pirita framboidal junto a terrígenos finos y cristales de apatito.

Arenisca (cuarzarenita) con cemento mixto silíceo-carbonatado-ferruginoso.

CB-40

Componentes:

Cuarzo - 70% - Tamaño arena media, subredondeado a redondeado
Clastos - 2%
Oolitos - 1%
Cemento ferruginoso-20%
Cemento silíceo - 7%
Fosfatización - < 1%

Los clastos redondeados y de tamaño similar al cuarzo se presentan como cantos blandos orlados por envuelta ferruginosa y constituidos por lutitas glauconíticas verdosas a pardas, fosfatizadas.

Los oolitos tienen núcleo de cuarzo y envueltas alternantes, ferruginosas y de colofana.

Arenisca (cuarzarenita) con cemento ferruginoso-silíceo.

CB-47

Componentes:

Cuarzo - 67% - Tamaño arena media-fina, subredondeada

Cemento silíceo - 10%

Cemento ferruginoso - 5%

Cemento fosfatado - ≈15%

Matriz sericítica - 3%

Accesorios: Pirita framboidal, turmalina, circón, apatito.

El fosfato se presenta como cemento, tipo colofana fibrosa y en menor proporción, como cristales de apatito tamaño limo fino.

Arenisca (cuarzarenita) con cemento silíceo, fosfatado y ferruginoso.

CB-52

Componentes:

Cuarzo - 58% - Tamaño limo grueso-arena fina, subredondeado

Aloquímicos - Clastos lumpales. - 6% (tamaño rudita)
- Bioclastos - 4%

Cemento silíceo - 10%

Cemento fosfatado - 10%

Matriz (sericítica) - 10%

Accesorios: 2% (pirita, turmalina, circón, rutilo, esfena).

Los clastos lumpales de tamaño rudita tienen una constitución muy variable. Desde agregados de bioclastos con cemento fosfático a granos de construcción similar al sedimento con envuelta ferruginosa y cemento fosfatado.

Los bioclastos parecen fragmentos de restos fósiles de concha gruesa y fragmentos de cuerpos algales lamelares. En ambos casos, fosfatizados.

Hay un cemento fosfático de tipo colofana y fisuras rellenas de mineral fosfatado secundario.

El fosfato como promedio puede estimarse en un 12-13% considerando el conjunto de componentes fosfatados.

Arenisca limoso (cuarzarenita)-arcillosa con cemento silíceo y fosfatada.

CB-85

Componentes:

Cuarzo - 55% - Tamaño arena media, subredondeada
Aloquímicos - Oolitos 10%
- Clastos lumpales 5% (Tamaño rudita)
Cemento fosfatado - 5%
Cemento silíceo - 5%
Cemento ferruginoso - 15%
Matriz (sericítico-clorítica) - 5%
Accesorios: Pirita, turmalina, circón

Los oolitos tiene núcleo de cuarzo y envueltas fosfatadas, o alternantes ferruginoso-fosfatadas. Los clastos lumpales de tamaño arena gruesa a ruidita (canto > 1 cm) son agregados de oolitos o bien el clasto de mayor tamaño es de constitución pelítica con núcleo de pirita framboidal y fosfatado en su totalidad.

El cemento fosfatado es de tipo colofana.

El fosfato como promedio, considerando todos los componentes, se estima ≈ 8 a 9%.

Arenisca (cuarzarenita) con cemento ferruginoso-fosfatado-silíceo, levemente arcillosa.

CB-95

Componentes:

Cuarzo - 55% - Tamaño arena media, subredondeada
Aloquímicos - Clastos - 6% - Tamaño arena gruesa-ruidita
- Oolitos - 5%
Cemento fosfático - 8%
Cemento silíceo - 9%
Cemento ferruginoso - 12%
Matriz (sericítica) - 4%
Accesorios: Pirita y turmalina
Estructuras geopetales rellenas de apatito - 2%
Grandes fisuras rellenas de apatito y mineral de hierro

Los clastos son de tipo pelítico con pequeños núcleos de pirita y totalmente fosfatizados.

Los oolitos presentan núcleo de cuarzo y envueltas colofana.

El fosfato se presenta en clastos y oolitos como colofano; en el cemento singenético como colafona con pequeños cristales de apatito, y, en las estructuras geopetales y fisuras, como apatito.

En conjunto, de todos los componentes, el promedio de porcentaje estimado para el fosfato es de 12-14%.

Arenisca (cuarzarenita) con clastos y oolitos y cemento fosfatado-silíceo y ferruginoso.

CB-131

Componentes:

Cuarzo - 70% (Tamaño arena media subredondeada a redondeada)
Matriz (sericítica) - 4%
Cemento silíceo - 15%
Cemento fosfatado - 3%
Cemento ferruginoso - 7%
Accesorios: pirita, turmalina - 1%

El fosfato se presenta como colafana en cemento, especialmente en estructuras tipo "flaser" rellenas de limo arcilloso con colofana de cemento. Hay pequeños cristales de apatito dispersos en la matriz.

Porcentaje estimado ≈ 3% de fosfato.

Arenisca (cuarzarenita) con cemento silíceo-ferruginoso y fosfatado, levemente arcillosa.

CB-140

Componentes:

Cuarzo - 80% - tamaño arena media, subredondeada
Cemento ferruginoso - 13%
Cemento silíceo - 5%
Cemento fosfatado - 1% (colofona)
Matriz (sericítica) - 1%
Accesorios: Pirita

Arenisca (cuarzarenita) con cemento ferruginoso, silíceo y fosfatado.

CB-196

Componentes:

Terrígenos - Cuarzo - 5% - Tamaño limo fino-arena muy fina, subanguloso
Aloquímicos- Clastos lumpales (gravels) - 25% - Tamaño rudita
- Bioclastos - 20% - Tamaño rudita predominante.
Ortoquímicos-(Dolomía) - 45%, de grano medio fino
Silicificación-5%
Accesorios: pirita
Estructuras geopetales rellenas de apatito <1%

Los clastos lumpales presentan una constitución variada desde masas pelíticas totalmente fosfatizadas (colofana) que engloban fragmentos de restos fósiles (predominantes) a gravels de constitución terrígena con limos de cuarzo y escasos bioclastos de pequeño tamaño cementados por colofana.

Los bioclastos en general de tamaño rudita, están poco fosfatizados.

Como porcentaje promedio, del total de componentes, puede estimarse en un 25% para la fosfatización del sedimento.

Biointraesparudita con limo y arena, recristalizada, dolomitizada y fosfatizada.

CB-197

Componentes:

Terrígenos - Cuarzo - 5% - Tamaño limo fino

Aloquímicos- Bioclastos - 38%

- Clastos lumpales (gravels) - 5%

Ortoquímicos (Dolomía) - 40% - Dolomía de grano fino-medio.

Silicificación - 5%

Cemento ferruginoso - 5%

Accesorios: pirita

Fisuras rellenas de apatito (secundario) - 2%.

Bioclastos poco fosfatizados y clastos lumpales totalmente fosfatizados. Porcentaje promedio de fosfatización en el conjunto de componentes ≈8-10%.

Bioesparudita con intraclastos y arena recristalizada, silicificada y fosfatizada.

CB-198

Componentes:

Terrígenos - Cuarzo 3%
Aloquímicos- Bioclastos - 15%
 - Clastos lumpales (gravels) - 35%
Ortoquímicos -(dolomía) - 35% - grano fino-medio
Silicificación - 5%
Cemento ferruginoso - 5%
Accesorios: pirita
Estructuras geopetales rellenas de apatito - 2%

Bioclastos poco fosfatizados y clastos lumpales totalmente fosfatizados.

Porcentaje promedio de todos los componentes \approx 18-20% - fosfato.

Intrabioesperudita dolomitizada, fosfatizada y silicificada.

CB-199

Componentes:

Terrígenos - Cuarzo - 4% - Tamaño limo grano-fino
Aloquímicos- Bioclastos - 25% - Parcialmente fosfatizados.
 - Clastos lumpales - 5% - Tamaño rudita, fosfatizados.
Ortoquímicos-Dolomía 30%
 - Esparita 25%

Silicificación - 4%

Matriz sericítica glauconítica, débilmente fosfatada en estructuras geopetales - 3%

Proceso de dolomitización con preformas rombo drales en esparita.

Porcentaje promedio de fosfatización en el conjunto de los componentes \approx 6-7%.

Bioesparudita con clastos y limo recristalizado, dolomitizada y silicificada.

CB-200

Componentes:

Terrígenos - Cuarzo - 7% - Tamaño limo grueso, arena muy fina.

Aloquímicos- Clastos lumpales 3% - fosfatizados

- Bioclastos - 5% - parcialmente fosfatizados

Ortoquímicos (dolomía) - 8%

Silicificación - 4%

Pequeñas fisuras y estructuras geopetales rellenas de apatito - 1%

Accesorios: pirita

Porcentaje promedio de fosfatización en el conjunto de los componentes \approx 2-3%

Esparita con fósiles, clastos y limos, recristalizada y dolomitizada.

CB-203

Componentes:

Terrígenos - Cuarzo - 3%
Aloquímicos- Bioclastos - 5% - Parcialmente fosfatiza -
dos. Tamaño rudita.
- Clastos lumpales - 6% - Totalmente fosfati
zados.
Ortoquímicos-Dolomía - 70% - Grano fino-medio
-Esparita - 10%
Silicificación - 6%
Cemento ferruginoso - 5%
Accesorios: Pirita
Fosfatización en clastos lumpales de tamaño rudita y en
pequeños bioclastos.

Proceso de dedolomitización incipiente.

Porcentaje promedio de fosfatización en el conjunto
de los componentes 3-4%.

Esparita con clastos y fósiles, débilmente arenosa, recrista-
lizada, dolomitizada y silicificada.

CB-204

Componentes:

Terrígenos - Cuarzo - 2%
Aloquímicos- Bioclastos - 7% - Parcialmente fosfatizados
- Clastos lumpales - 6% - Totalmente fosfati-
zados.

Ortoquímicos - Dolomía - 70% - Grano fino-medio
- Esparita - 10%

Silicificación - 2%

Cemento ferruginoso - 3%

Accesorios: Pirita

Proceso de dedolomitización incipiente.

Porcentaje promedio de fosfatización en el conjunto de los componentes 2-3%.

Esparita con fósiles y clastos lumpales, recristalizada, dolomitizada y silicificada.

CB-205

Componentes:

Terrígenos - Cuarzo - 1%

Aloquímicos- Clastos lumpales - 9% - Tamaño rudita y totalmente fosfatizados.

- Bioclastos - 25% - Tamaño rudita predominante y parcialmente fosfatizados.

Ortoquímicos-Dolomía - 45%

- Esparita - 7%

Matriz sericítico-glauconítica - 3%

Silicificación - 4%

Cemento ferruginoso - 6%

Accesorios: Pirita

Proceso de dedolomitización incipiente.

Porcentaje promedio de fosfatización en el conjunto de los componentes 4-6%.

Biointraesparudita recristalizada dolomitizada y fosfatizada con cemento ferruginoso-silíceo.

CB-210

Componentes:

- Terrígenos - Cuarzo - 1%
- Aloquímicos- Oolitos - 18% - Parcialmente fosfatizados.
 - Bioclastos - 15% - Tamaño rudita y parcialmente fosfatizados y silicificados.
 - Clastos lumpales - 1% - Fosfatizados
- Ortoquímicos-Dolomía - 45%
 - Esparita - 10%
- Silicificación - 5%
- Cantos ferruginosos - 5%
- Accesorios: piritita

Proceso de dedolomitización

Los oolitos se observan aplastados y constituidos por un núcleo de cuarzo o apatito y niveles de arcilla verde (clorítica?) fosfatizada.

Porcentaje promedio de fosfatización en el conjunto de los componentes \approx 5-6%.

Obioesparudita recristalizada, dolomitizada y silicificada con cemento ferruginoso.

CB-211

Componentes:

- Terrígenos - Cuarzo - 3% - Tamaño limo medio-arena muy fina.

Aloquímicos - Oolitos - 20%
- Bioclastos - 16%
- Clastos lumpales - 1%
Ortoquímicos- Dolomía - 30%
- Esparita - 15%
Silicificación - 5%
Cemento ferruginoso - 5%
Materia orgánica - 2%
Materia arcillosa - 3%
Accesorios: piritita

Proceso de dedolomitización.

Oolitos aplastados de composición diversa desde oolitos ferruginosos a oolitos con envueltas de lutita, clorítico-glauconítica fosfática.

Sedimento secuenciado con tres términos en cada secuencia, a) término con oolitos ferruginosos y bioclastos, b) término con oolitos glauconíticos y escasos bioclastos, c) término limo arcilloso no oxidado, d) término pelítico con materia orgánica abundante y óxidos de Fe.

Porcentaje promedio de fosfatización en el conjunto de los componentes \approx 5-7%.

Oobioesparudita recristalizada, dolomitizada, silicificada y fosfatizada con cemento ferruginoso.

CB-222

Componentes:

Terrígenos - Cuarzo - 3% - Tamaño arena fino-limo grueso

Aloquímicos - Oolitos - 20%
- Bioclastos - 20% - Tamaño rudita predominante y parcialmente fosfatados
- Clastos lumpales - 5% - Totalmente fosfatados
Ortoquímicos- Dolomía - 3%
- Esparita - 10%
Silicificación - 3%
Cemento ferruginoso - 7%
Materia orgánica - 2%
Accesorios: Pirita
Oolitos aplastados del tipo lutita-glaucionita-clorítica fosfatizada.

Porcentaje promedio de fosfatización en el conjunto de los componentes \approx 5-7%.

Oobioesparudita, con clastos y arena recristalizada y dolomitizada con cemento ferruginoso.

CB-224

Recristalización y dolomitización muy fuerte. Solo se observan abundantes fantasmas de restos fósiles y otros aloquímicos (oolitos?)

No se observa fosfato.

Accesorios pirita.

Bioesparita recristalizada y dolomitizada.

CB-233

Componentes:

Terrígenos - Lutita - 87%
- Limo - 3% (cuarzo tamaño limo fino-muy fino)
Silicificación - 5%
Materia orgánica - 2%
Aloquímicos - 3% (pequeños clastos, bioclastos y mallas
de algas parcialmente fosfatizadas).

Porcentaje promedio de fosfatización en el conjunto
de los componentes < 1%.

Lutita algo limosa con restos fósiles, silicificada

CB-251

Carbonato casi totalmente recristalizado y dolomitizado.
Sólo se observa una estructura orgánica fosfatizada.

Porcentaje promedio de fosfatización < 1%.

Dolomía de grano medio con fósiles.

CB-256

Componentes:

Terrígenos - Cuarzo 2% - Tamaño limo fino-medio
Aloquímicos - Bioclastos - 78%
Ortoquímicos- Dolomía - 20%
Pequeños núcleos de fosfatización en los bioclastos

Porcentaje promedio de fosfatización en el conjunto de los componentes <1%.

Bioesparita dolomitizada levemente limosa

CB-276

Componentes:

Terrígenos - Cuarzo - 80% - Tamaño arena media redondeada
Aloquímicos- Clastos lumpales - 1% - Tamaño rudita, fosfatizados
- Bioclastos - 1% Tamaño rudita
Matriz sericítica - 5%
Cemento silíceo - 12%
Cemento fosfatado - 1%
Accesorios: pirita, turmalina, circón

El fosfato se tiene en los clastos lumpales y como cemento (colofano) y pequeños granos de apatito.

Porcentaje promedio de fosfatización en el conjunto de los componentes ≈1-2%.

Arenisca (cuarzarenita) con matriz arcillosa y cemento silíceo.

CB-277

Componentes:

Terrígenos- Cuarzo - 75% - Tamaño arena media redondeada
Aloquímicos - Bioclastos 1% - Silicificados
Matriz sericítica - 8%

Cemento silíceo - 15%
Cemento fosfatado - 1%
Accesorios: pirita y turmalina

Porcentaje promedio de fosfatización en el conjunto de los componentes ≈1%.

Arenisca (cuarzarenita) con matriz arcillosa y cemento silíceo

CB-278

Componentes:

Terrígenos - Cuarzo - 80% - Tamaño arena media, subredondeada.
Aloquímicos - Bioclastos - 1% silicificados y fosfatados
Matriz sericítica - 1%
Cemento silíceo - 14%
Cemento ferruginoso - 4%

Porcentaje promedio de fosfatización < 1%

Ortocuarcita levemente arcillosa.

CB-303

Carbonato recristalizado y dolomitizado totalmente.
Sólo se observan escasos fantasmas de aloquímicos.

No se observa fosfato.

Dolomía ferruginosa

CH-8

Componentes:

- Terrígenos - Cuarzo - 45% - Arena fina-limo grueso, sub-redondeado
- Aloquímicos- Bioclastos - 10% tamaño rudita, parcialmente fosfatados.
 - Clastos lumpales - 5%. Parcialmente fosfatados.
- Ortoquímicos-Esparita - 15%
 - Dolomía - 5%
- Cemento fosfatado - 5%
- Cemento silíceo - 2%
- Cemento ferruginoso - 3%
- Matriz sericítico-clorítica - 2%
- Accesorios: pirita framboidal, turmalina, circón - 8%

El fosfato se presenta como colofana en cemento y como fosfatización en aloquímicos.

Porcentaje promedio de fosfatización en el conjunto de los componentes 5-6%.

Arenisca (cuarzarenita) con fósiles y bioclastos y cemento carbonatado, fosfatado y ferruginoso.

CH-18

Componentes:

- Terrígenos - Cuarzo 7%. tamaño limo grueso-arena fina - subanguloso.

Aloquímicos - Bioclastos - 48%
- Clastos lumpales - 4%
Ortoquímicos- Esparita - 25%
- Dolomita - 10%
Silicificación - 8%
Fosfatización - 3%
Matriz sericitico-glauconítica - 5%
Bioclastos arenáceos con conchas apiladas

Fosfatización como cemento colofona, en facies pelíticas y apatito disperso: clastos lumpales fosfatizados.

Porcentaje promedio de fosfatización en el conjunto de los componentes 4-5%.

Bioesparudita con clastos, recristalizada, dolomitizada y ligeramente limo-arcillosa.

CH-17

Componentes:

Terrígenos- Cuarzo - 30% - Arena media-fina, subredondeada
Aloquímicos - Clastos lumpales (gravels) - 50% - Fosfatizados. Tamaño rudita.
- Bioclastos - 2% - Silicificados
Cemento silíceo - 12%
Cemento ferruginoso - 5%
Matriz sericítica - 1%
Accesorios: pirita y turmalina.

Los clastos lumpales de tamaño rudita 3 cm a 1 cm se presentan en varias modalidades: como masas de colofana orladas por hierro y pirita en su envoltura externa, como sedimen

to terrígeno limos-arena fina con cemento de colofana, y como agregados de bioclastos y terrígenos con cemento de colofana. En todas las modalidades están fosfatados.

Porcentaje promedio de fosfatización en el conjunto de los componentes 18-20%.

Arenisca (cuarzarenita) intraclástica (con grava) con cemento silíceo-ferruginoso.

CH-21

Componentes:

Terrígenos - Cuarzo 30% - Tamaño arena media-fino subredondeada

Aloquímicos- Clastos lumpales (gravels) - 50% - Tamaño ruda, fosfatizados.

- Bioclastos - 2% - Silicificados

Matriz sericítica - 4%

Cemento silíceo - 5%

Cemento ferruginoso 9%

Accesorios: piritita, turmalina

Porcentaje promedio de fosfatización en el conjunto de los componentes 18-20%.

Arenisca (cuarzarenita) intraclástica (con grava) y cemento silíceo-ferruginoso, débilmente arcillosa.

CH-22

Componentes:

Terrígenos - Cuarzo - 30% - Arena fina-media subredondeada.

Aloquímicos-Clastos lumpales (gravel) - 60% - Tamaño rudita, fosfatizados.

-Bioclastos - 2% fosfatados

Cemento silíceo - 7%

Cemento fosfatado - 1% (apatito)

Accesorios: pirita

Clastos de tamaño rudita 2 m - 1 cm, en las modalidades expuestas en la CH-17.

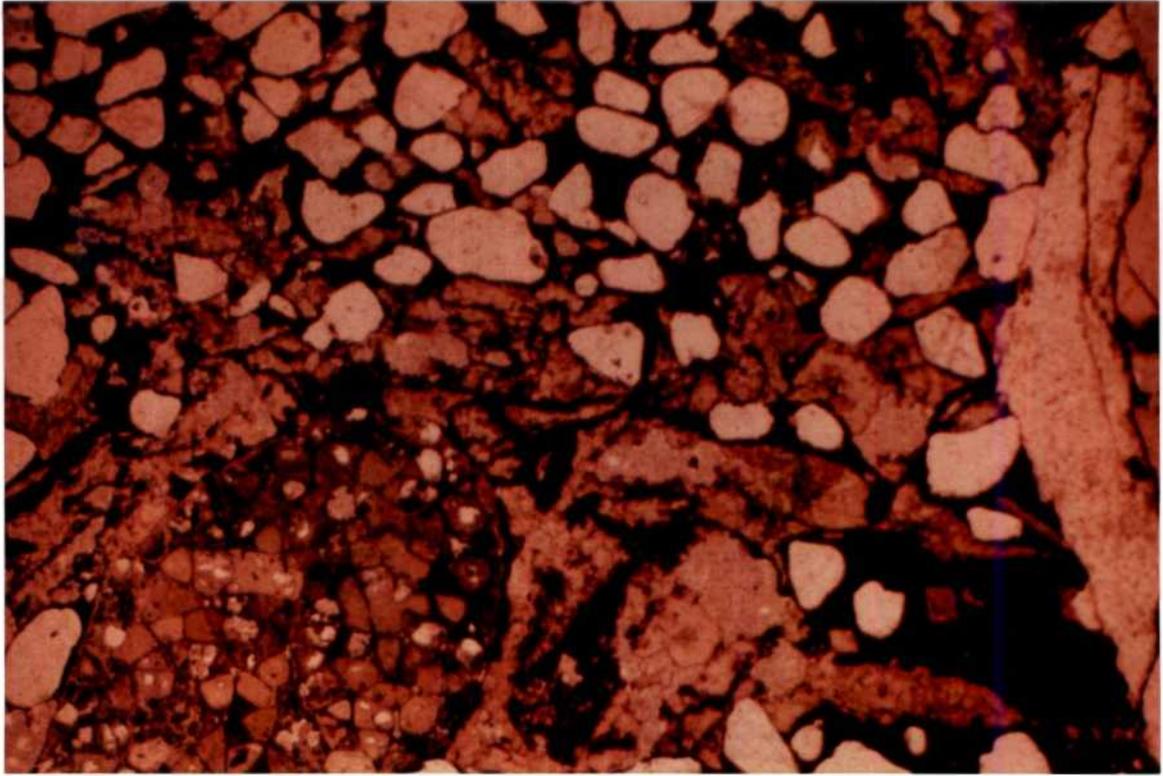
Porcentaje promedio de fosfatización en el conjunto de los componentes 20-22%.

Arenisca (cuarzarenita) intraclástica (con grava y cemento silíceo).

P-4

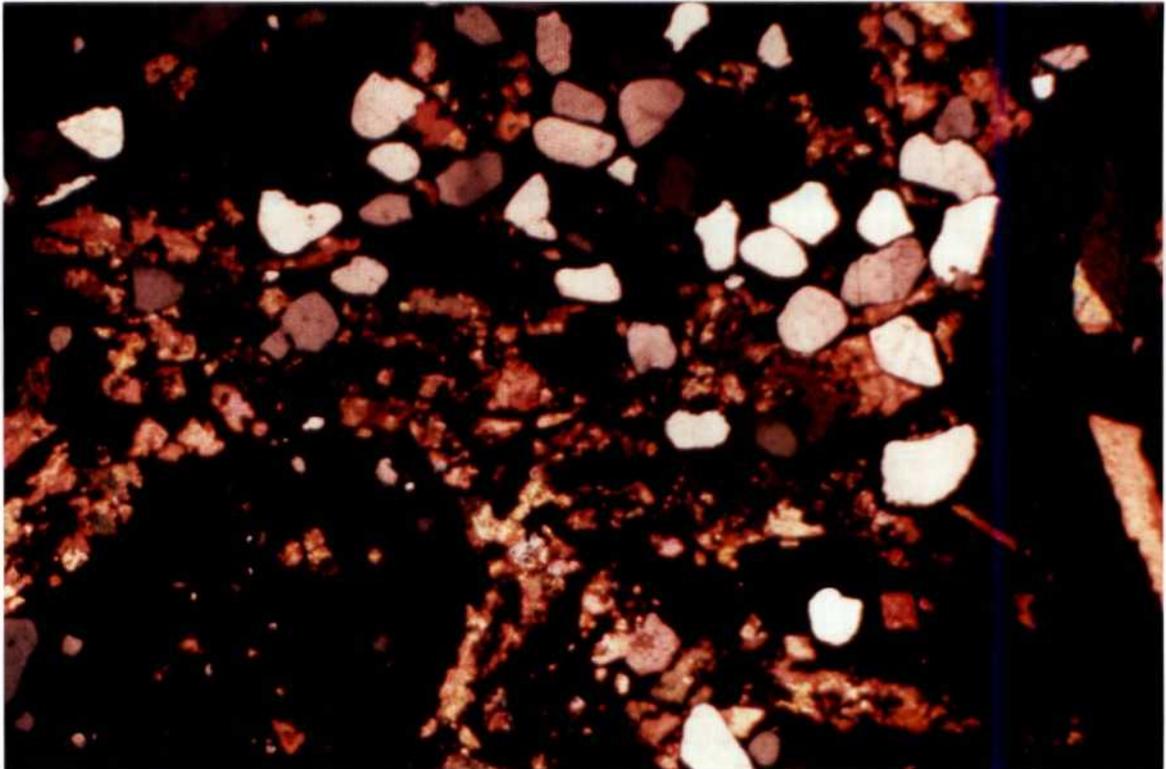
Roca volcánica o subvolcánica de composición ácida alterada hidrotermalmente a cuarzo, sericita, moscovita, esfena..., fenocristal de cuarzo y biotita.

ANEXO II
FOTOGRAFIAS LAMINAS TRANSPARENTES



Muestra CB-18. (Foto 1)

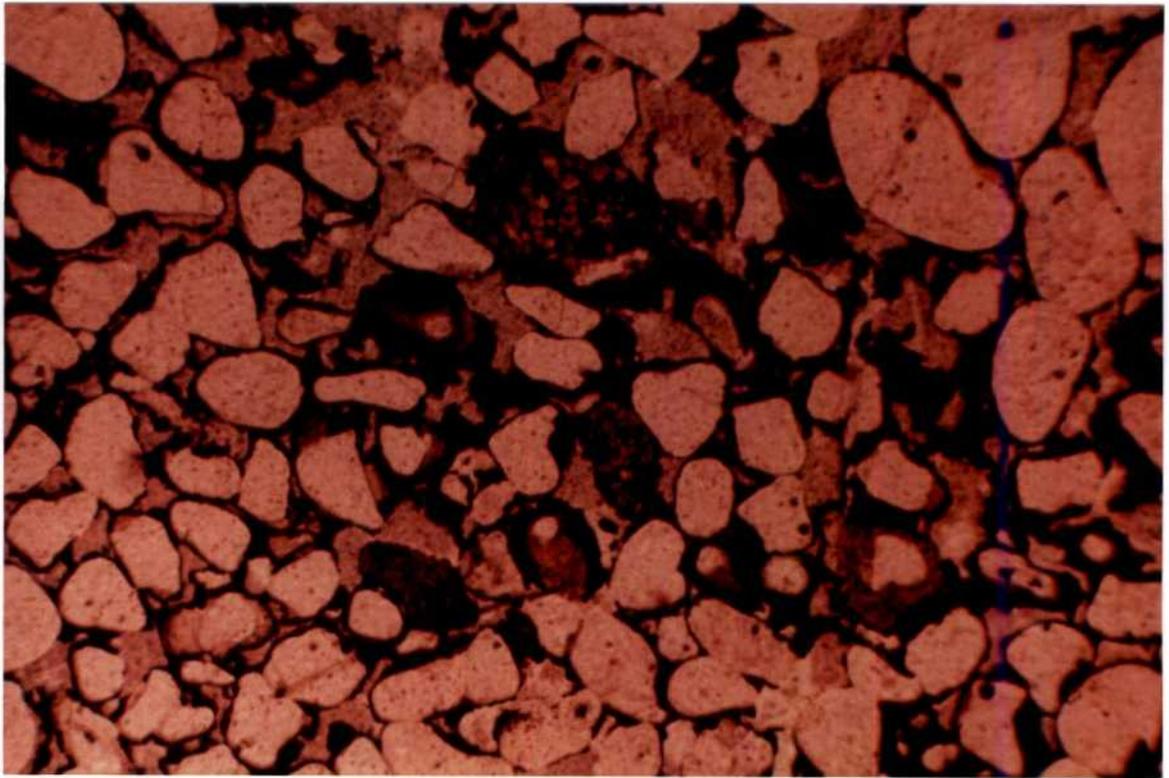
(2,5x1,25x2,5)



Muestra CB-18. (Foto 2) con nicoles cruzados.

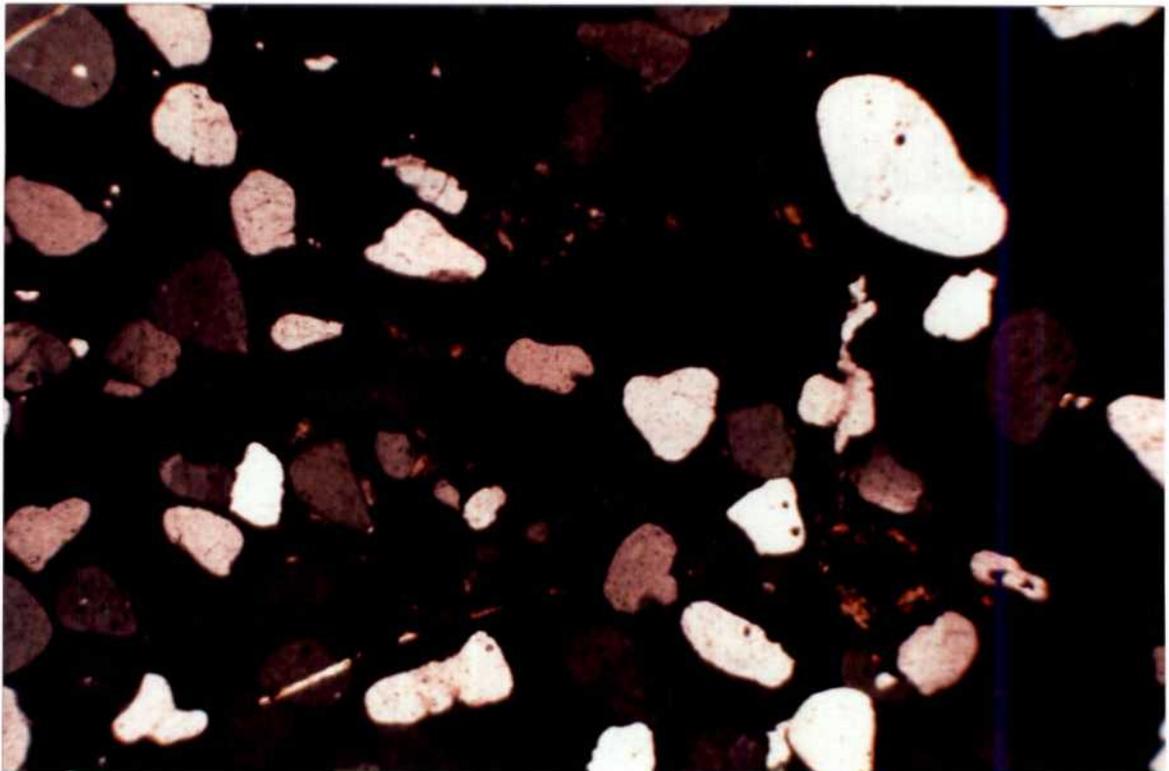
(2,5x1,25x2,5)

MUESTRA CB-18.- Biosparita arenosa con oncolitos, bioclastos y clastos lumpales fosfatizados y dolomizados. Abundante OFe y pirita framboidal. Fisura rellena de apatito y calcita.



Muestra CB-40. (Foto 3)

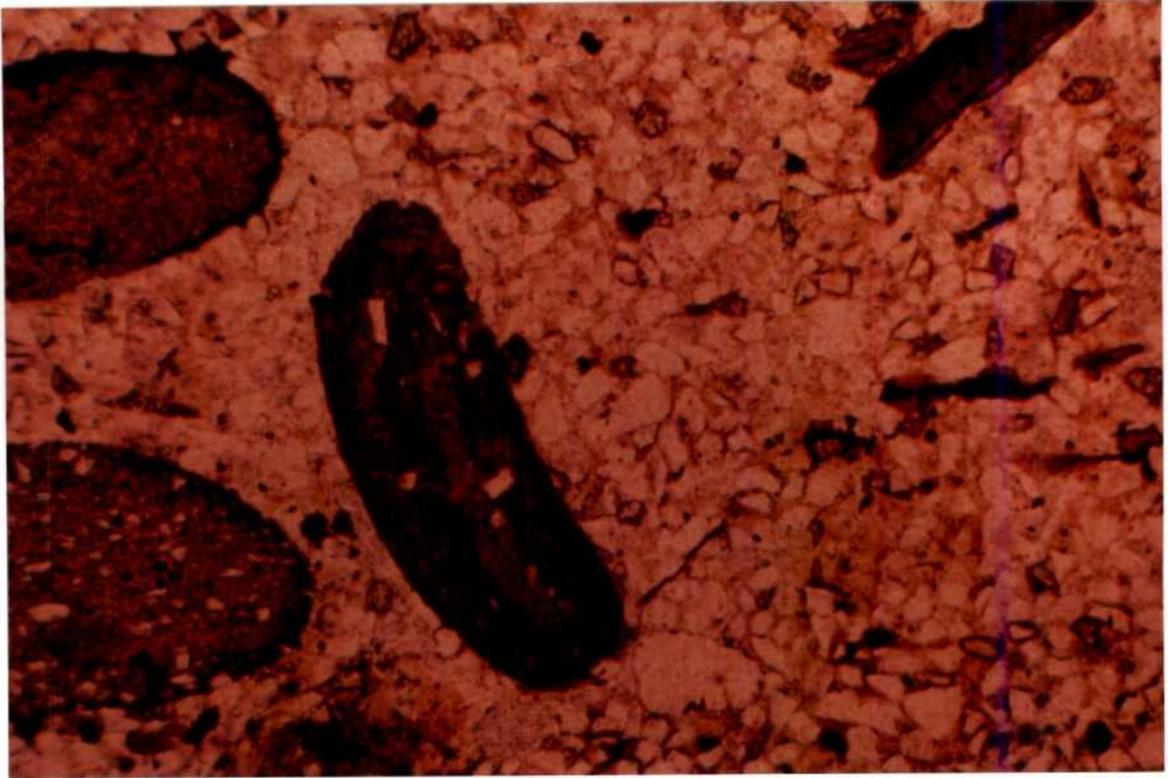
(2,5x1,25x4)



Muestra CB-40. (Foto 4) con nicoles cruzados.

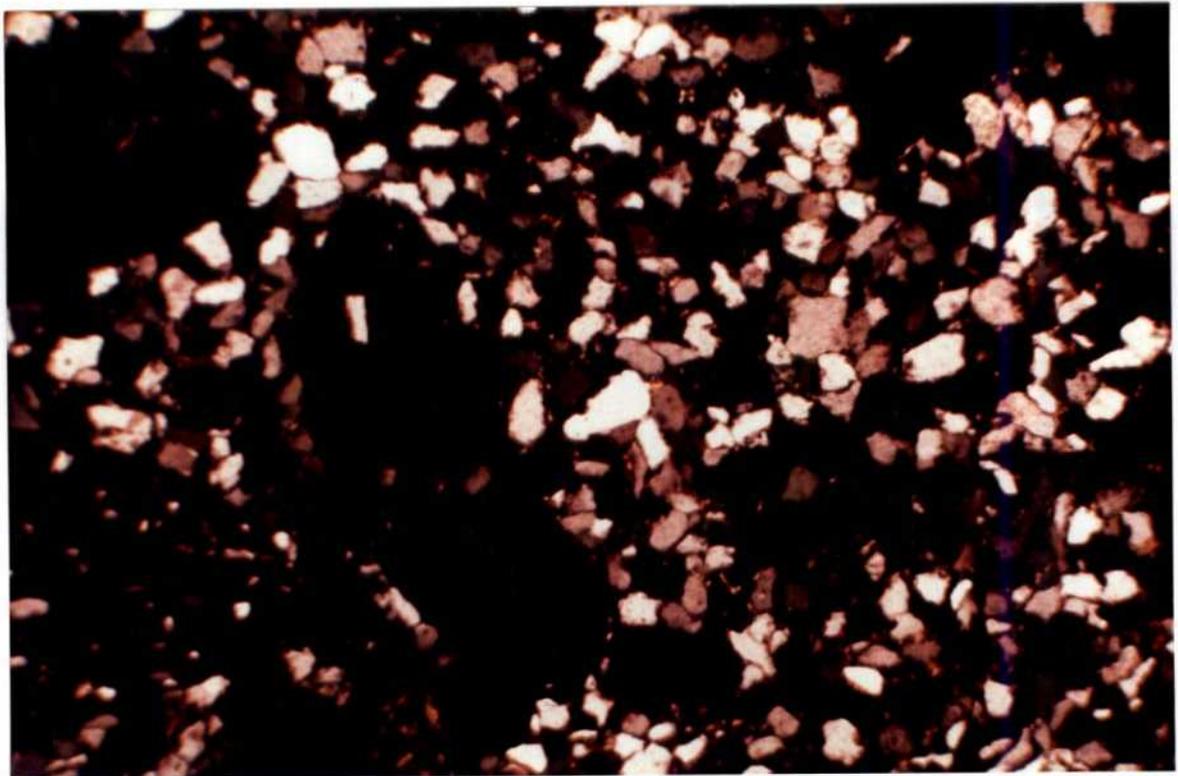
(2,5x1,25x4)

MUESTRA CB-40.- Arenisca (cuarzarenita) con cemento ferruginoso-silíceo y escasos clastos lumpales y oolitos fosfatizados.



Muestra CB-52. (Foto 5)

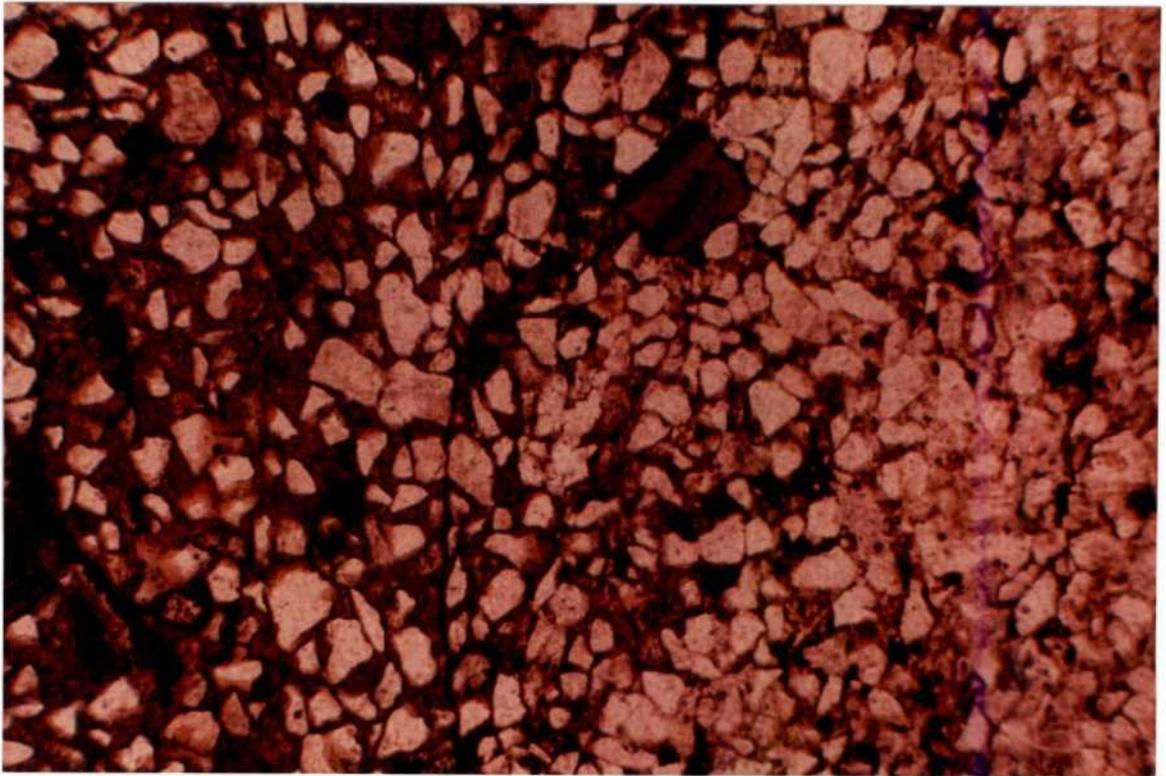
(2,5x1,25x4)



Muestra CB-52 (Foto 6) con nícoles cruzados.

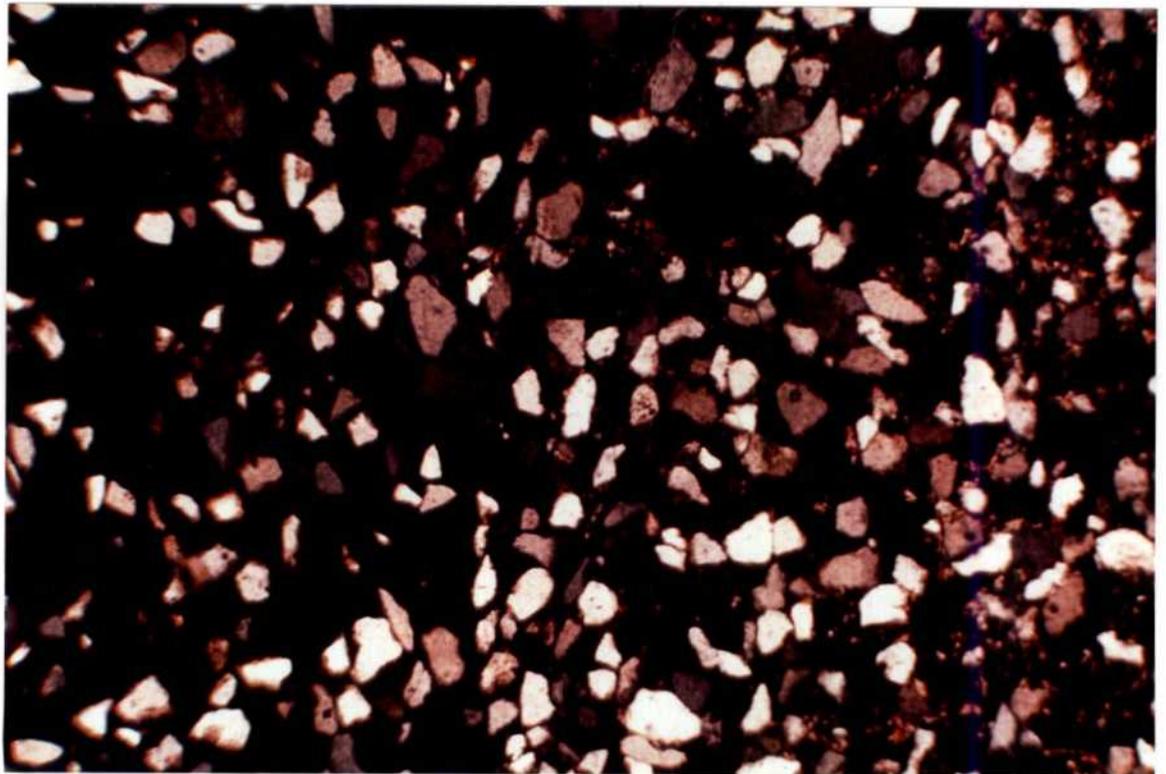
(2,5x1,25x4)

MUESTRA CB-52.- Arenisca (cuarzarenita) limoso-arcillosa con bioclastos y clastos lumpales tamaño rudita, fosfatizados. Cemento silíceo y fosfatado.



Muestra CB-52. (Foto 7)

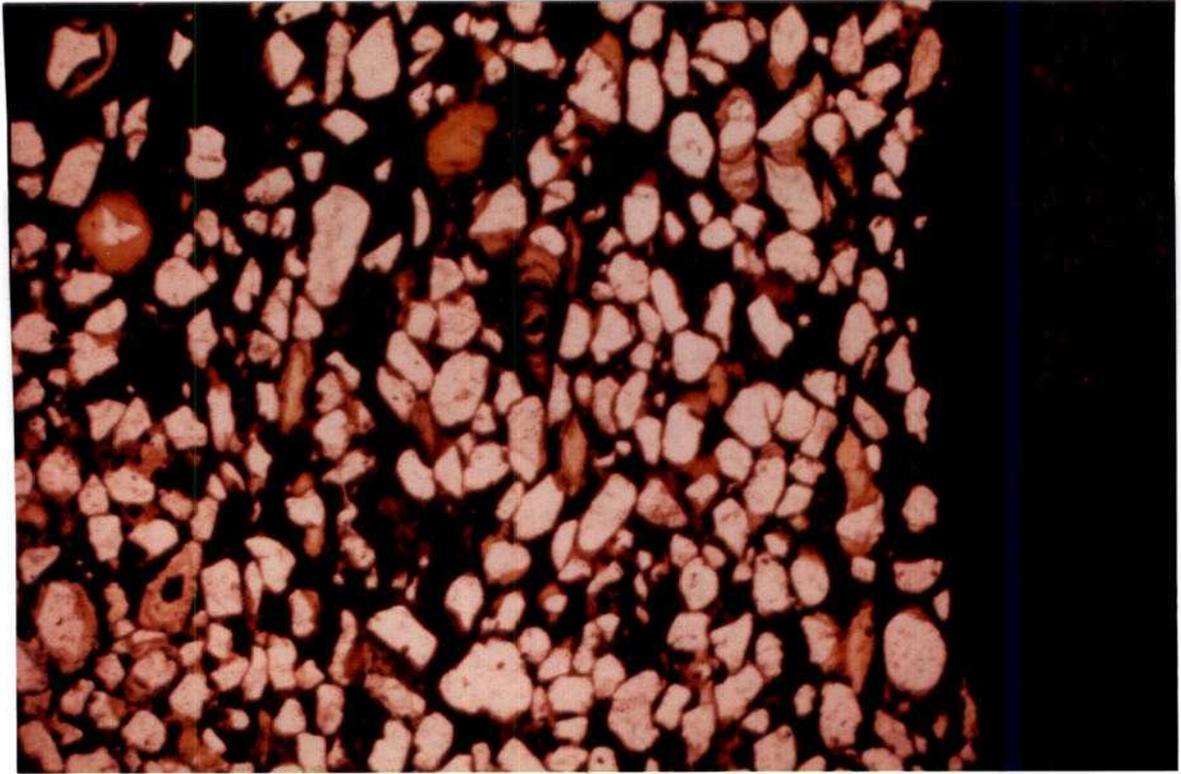
(2,5x1,25x4)



Muestra CB-52. (Foto 8) con nicoles cruzados.

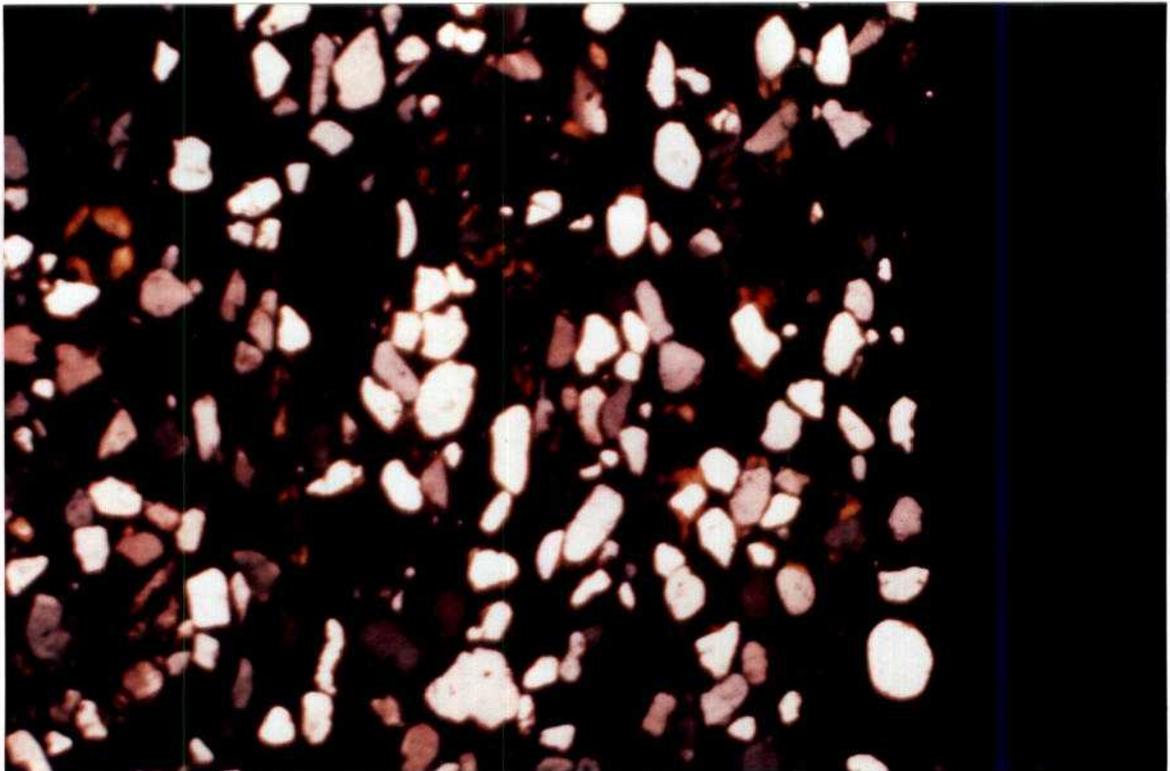
(2,5x1,25x4)

MUESTRA CB-52.- Arenisca (cuarzarenita) limoso-arcillosa con bioclastos y clastos lumpales tamaño rudita, fosfatizados. Cemento silíceo y fosfatado.



Muestra CB-85. (Foto 9)

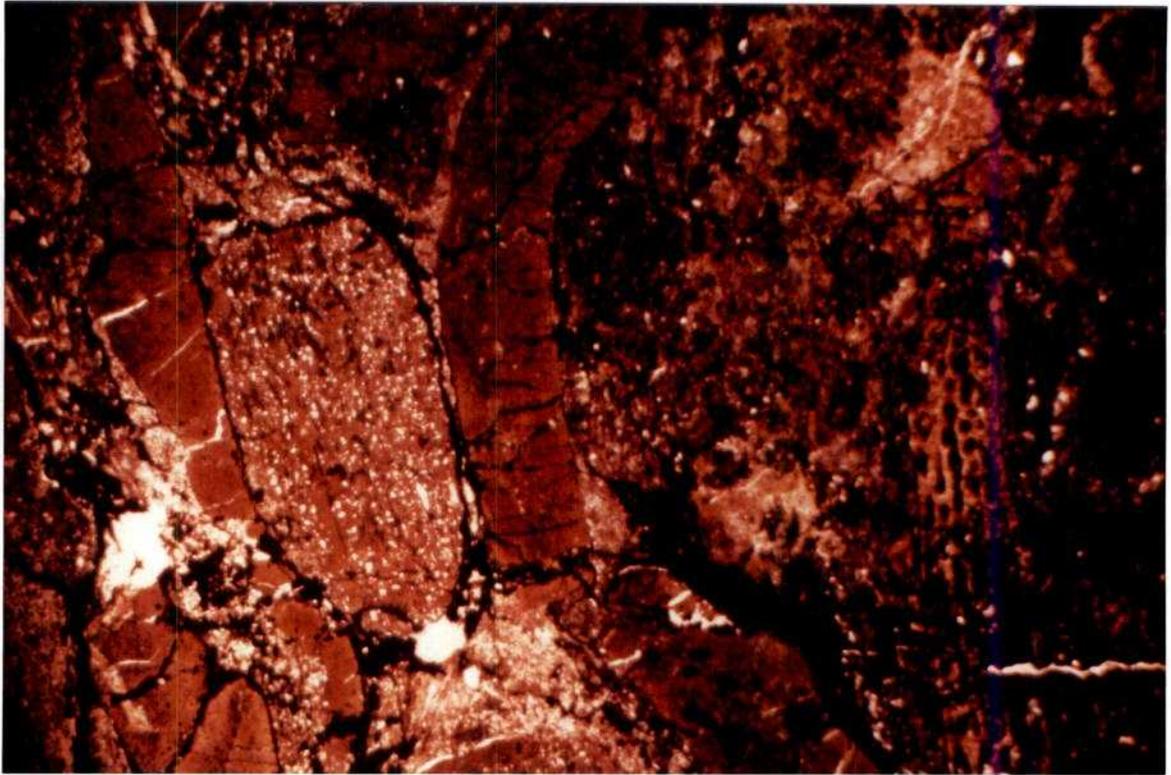
(2,5x1,25x2,5)



Muestra CB-85. (Foto 10) con nicoles cruzados.

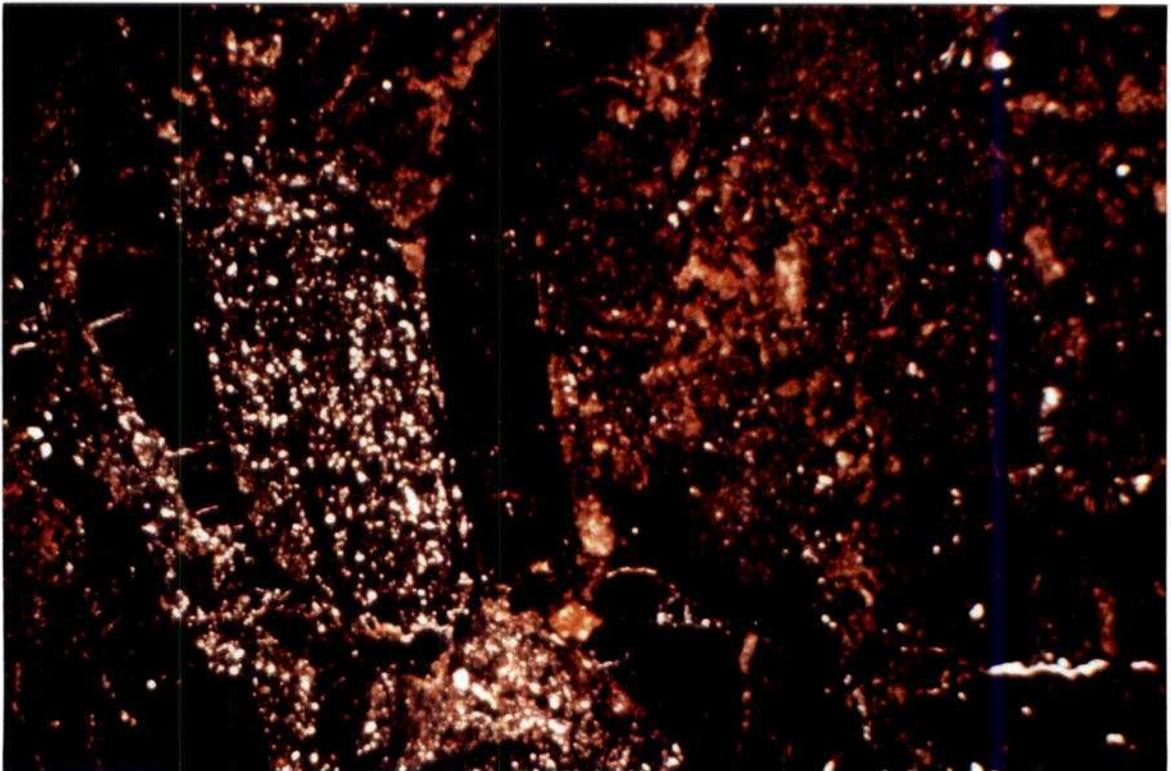
(2,5x1,25x4)

MUESTRA CB-85.- Arenisca (cuarzarenita) con oolitos y clastos lumpales de tamaño rudita. Cemen-
to ferruginoso, fosfatado y silíceo.



Muestra CB-196. (Foto 11)

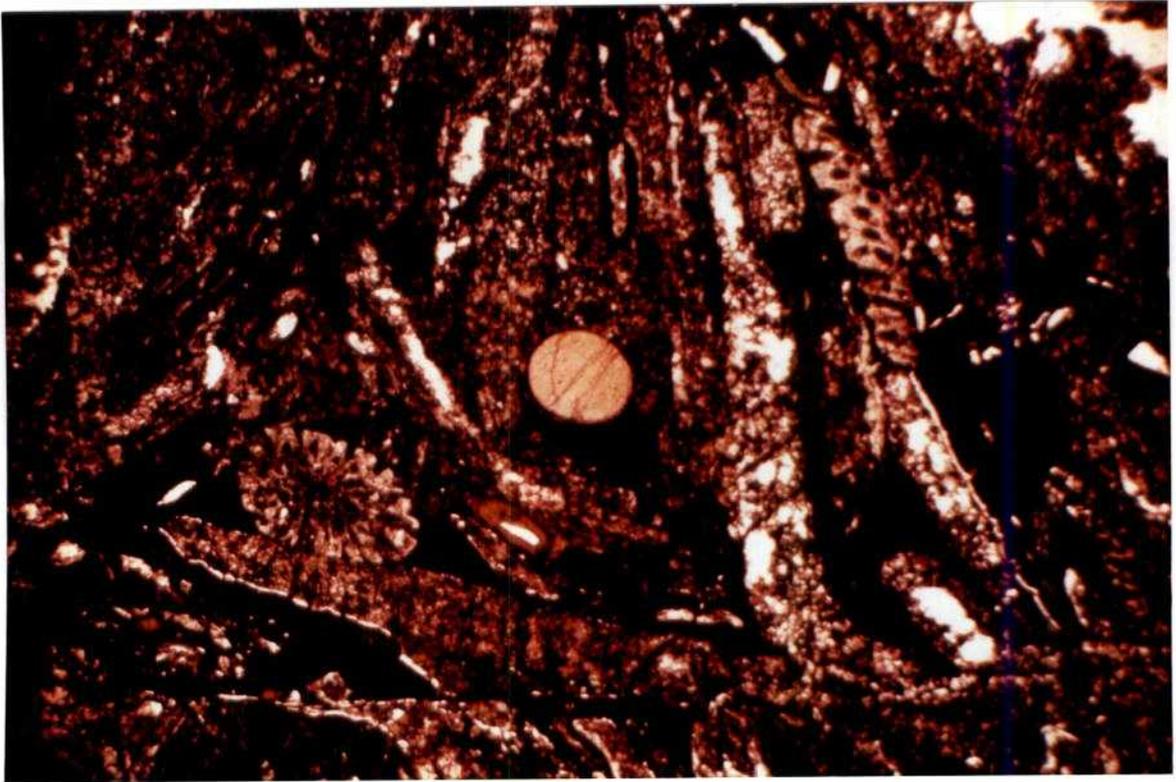
(3,2x1,25x1)



Muestra CB-196. (Foto 12) con nicoles cruzados.

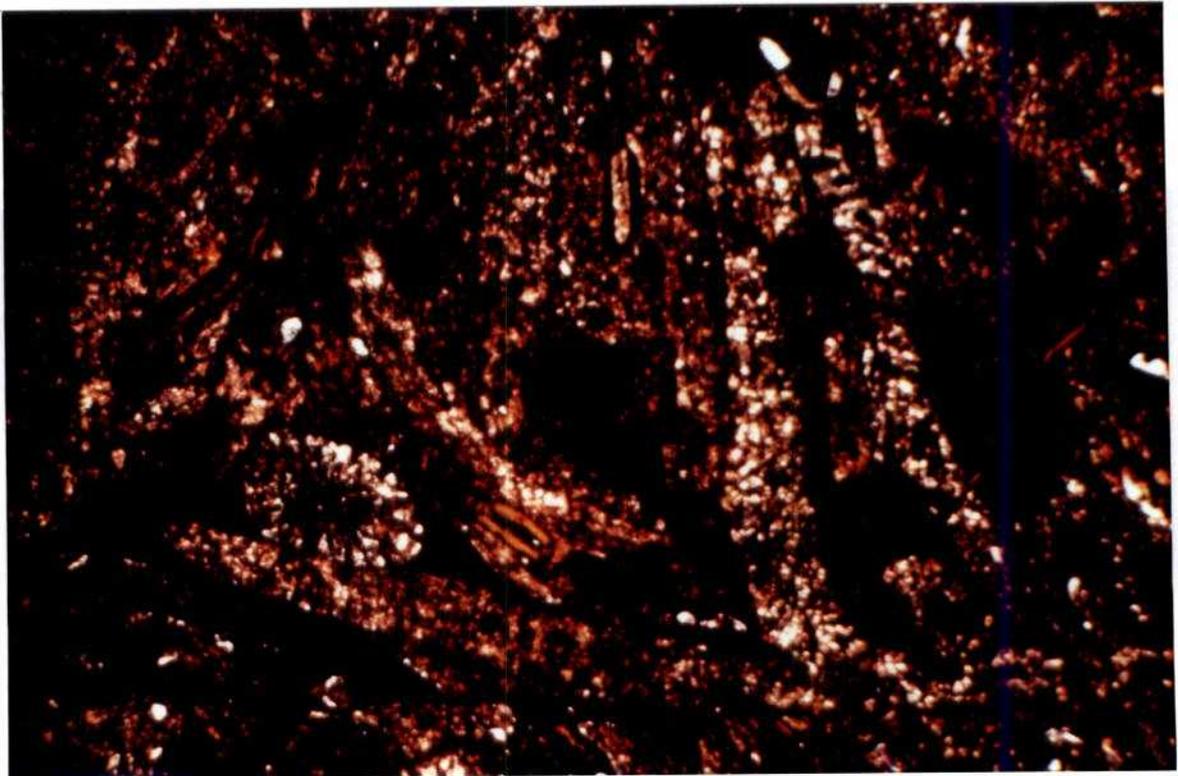
(3,2x1,25x1)

MUESTRA CB-196.- Biointraesparudita con limo y arena,recristalizada. Clastos lumpales, gravels e intraclastos de tamaño rudita fosfatizados.



Muestra CB-210. (Foto 13)

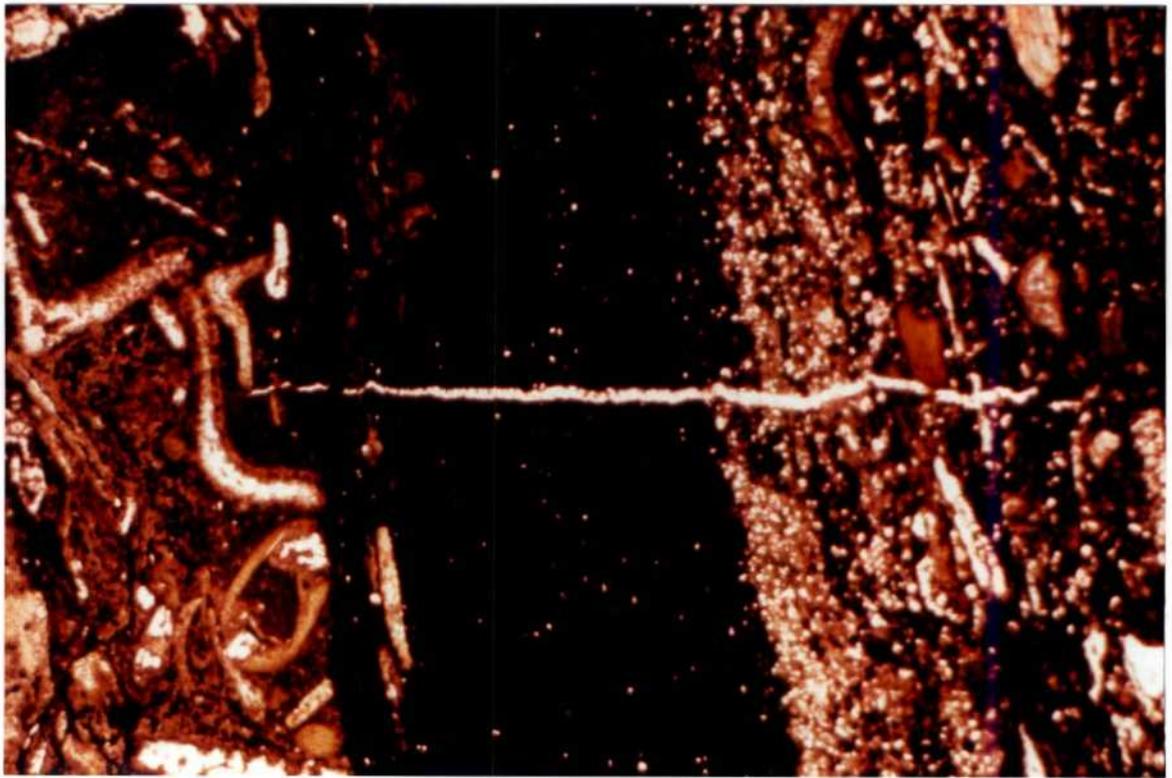
(3,2x1,25x1)



Muestra CB-210. (Foto 14) con nicoles cruzados.

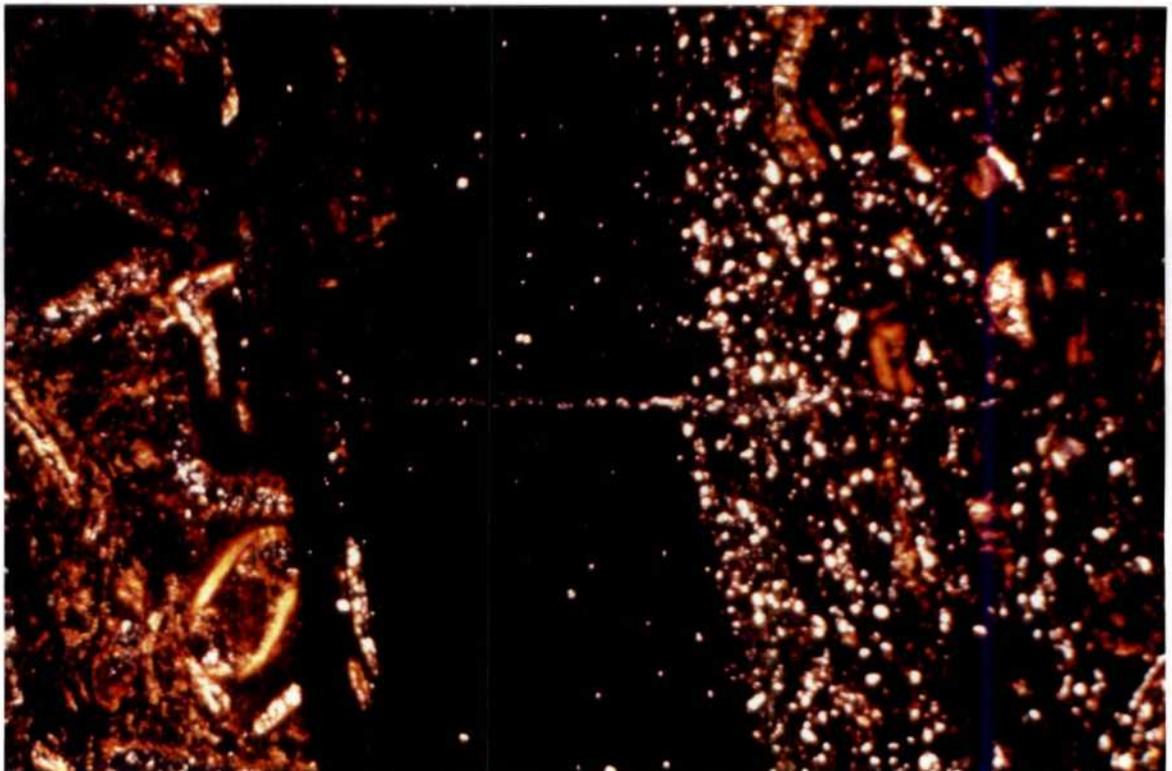
(3,2x1,25x1)

MUESTRA CB-210.- Oobioesparudita recristalizada y dolomitizada: Oolitos con núcleo en cuarzo y apatito, envueltas en clorita silicificada y fosfatizada, bioclastos, -clastos lumpales y gravels fosfatizados.



Muestra CB-211. (Foto 15)

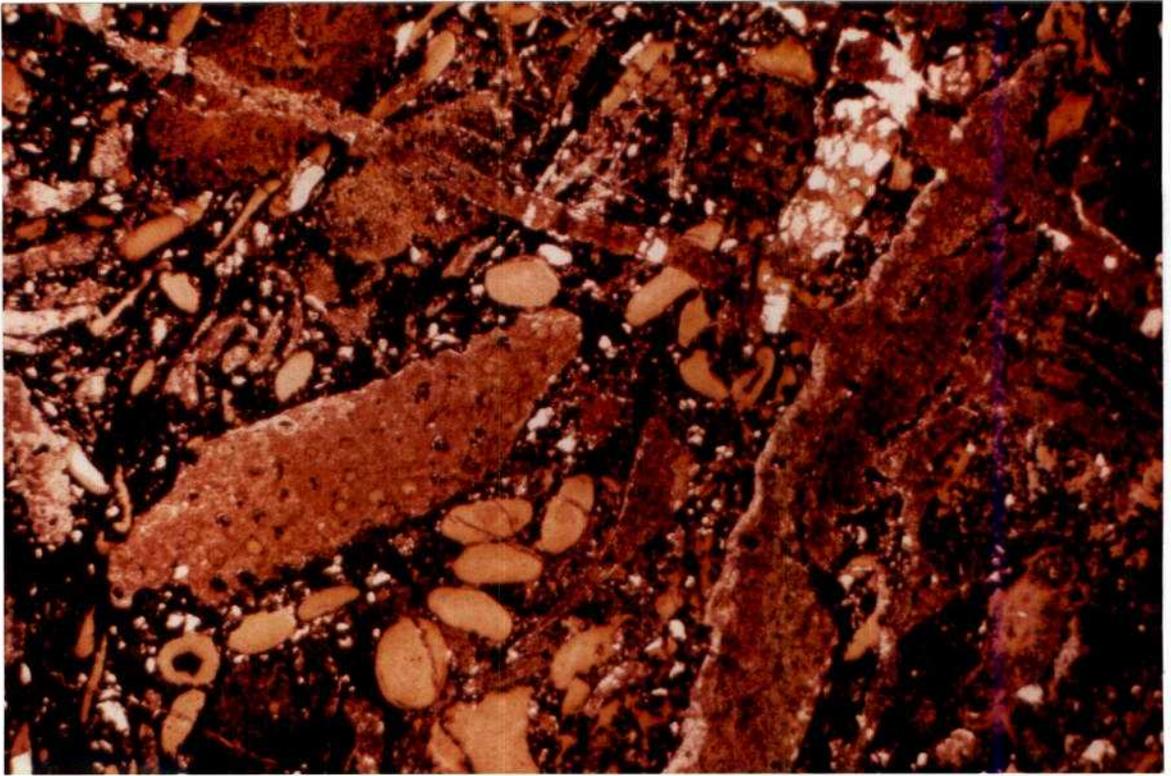
(2,5x1,25x2,5)



Muestra CB-211. (Foto 16) con nículos cruzados.

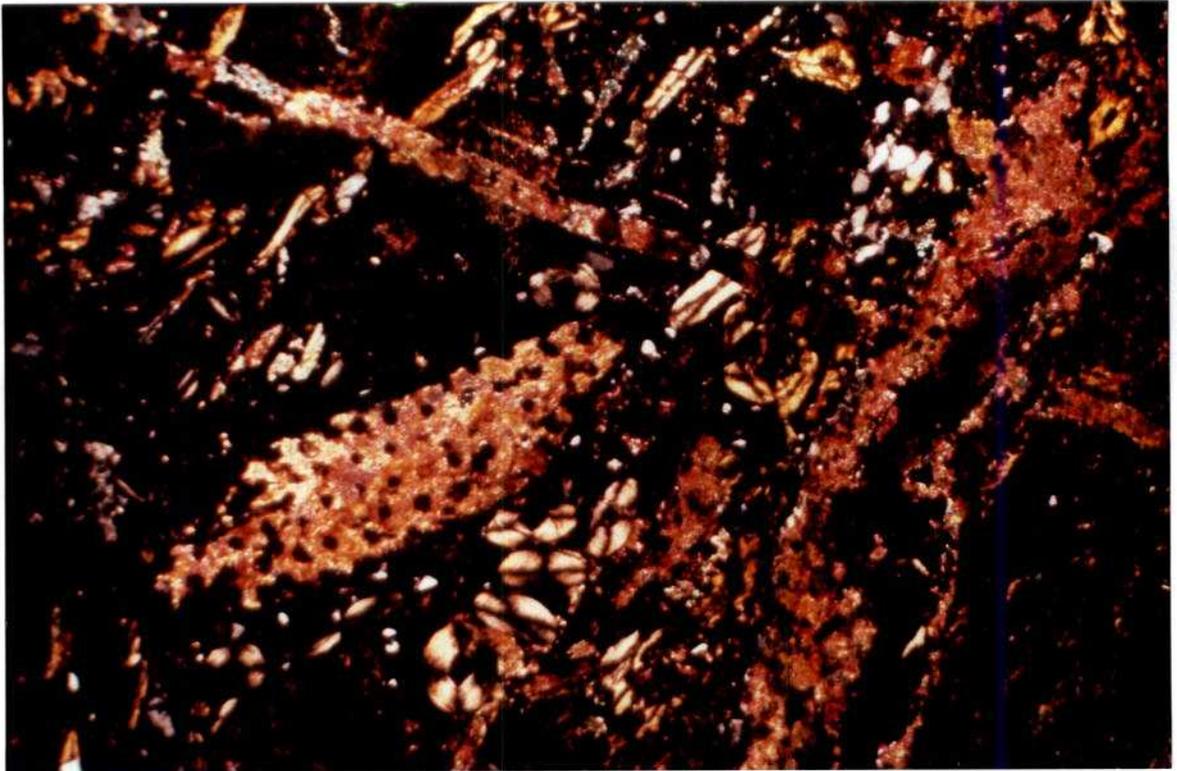
(2,5x1,25x2,5)

MUESTRA CB-211.- Oobioesparudita recristalizada. Micro hard-ground separando láminas de concentración de oolitos, clastos lumpales, gravels y bioclastos.



Muestra CB-222. (Foto 17)

(2,5x1,25x2,5)



Muestra CB-222. (Foto 18) con nicoles cruzados.

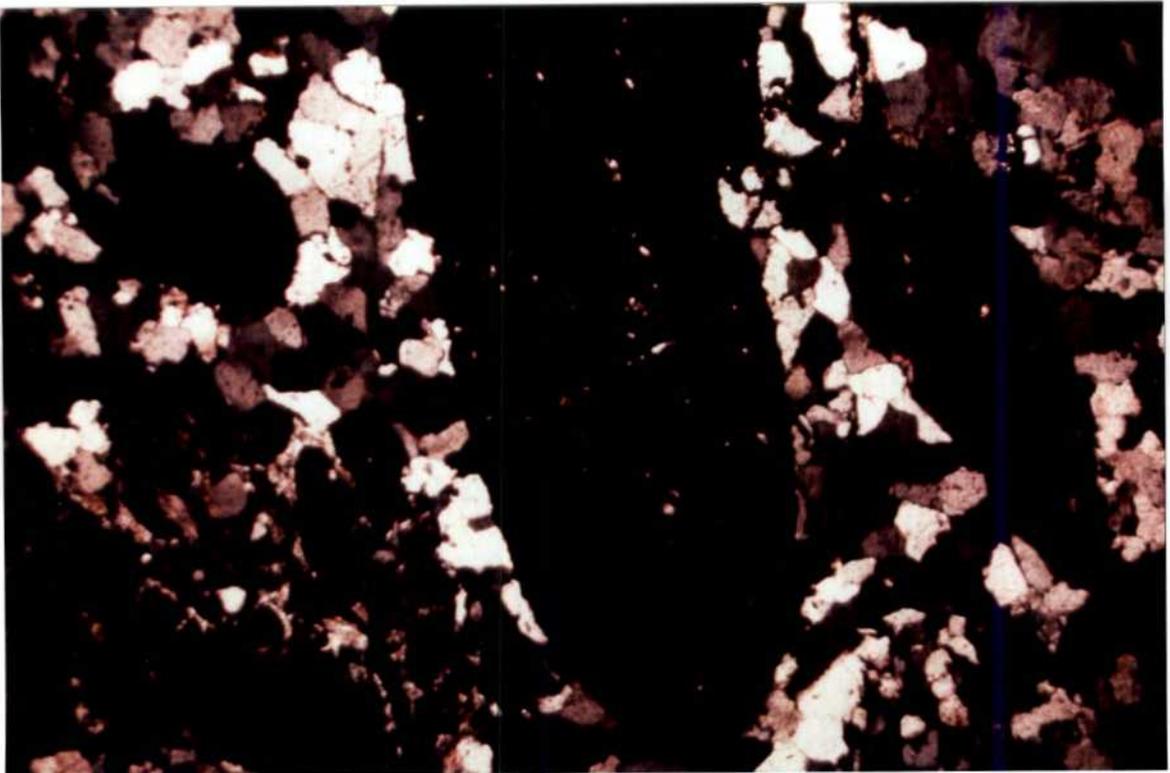
(2,5x1,25x2,5)

MUESTRA CB-222.- Oobioesparudita con clastos y arena con cemento mixto dolomítico-ferruginoso. Oolitos, bioclastos y clastos fosfatizados.



Muestra CH-17. (Foto 19).

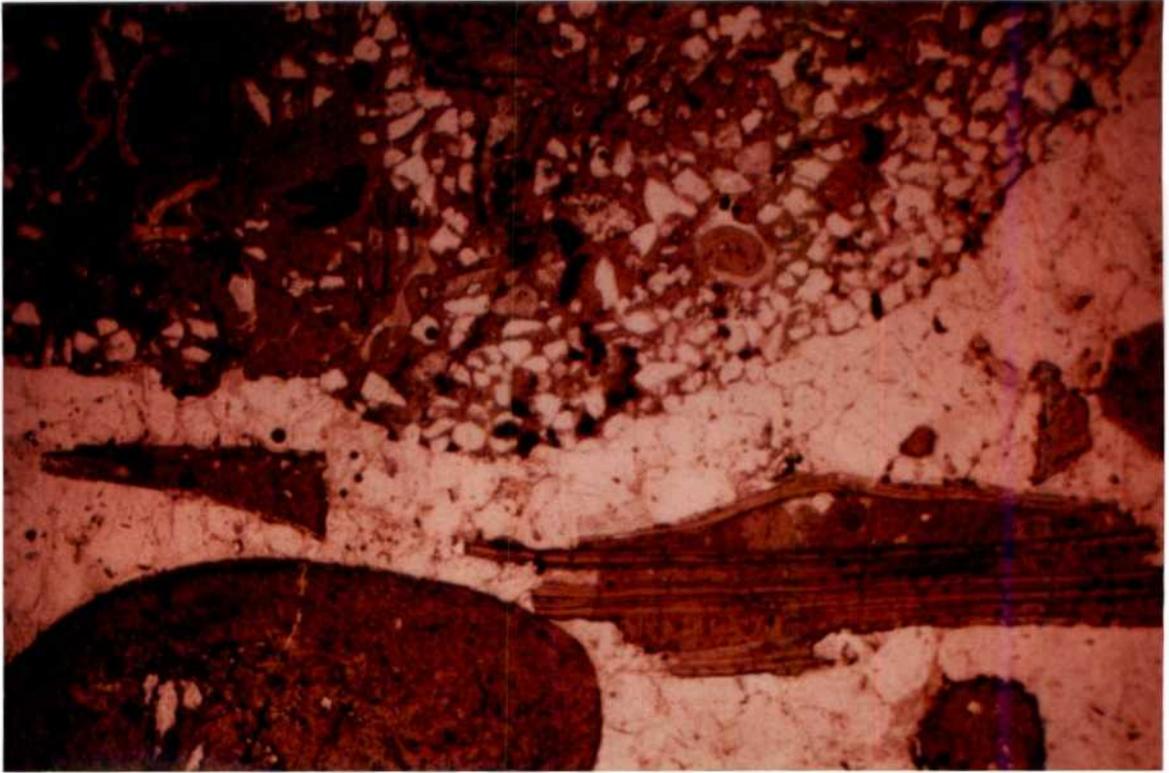
(2,5x1,25x9,5)



Muestra CH-17. (Foto 20) con nicoles cruzados

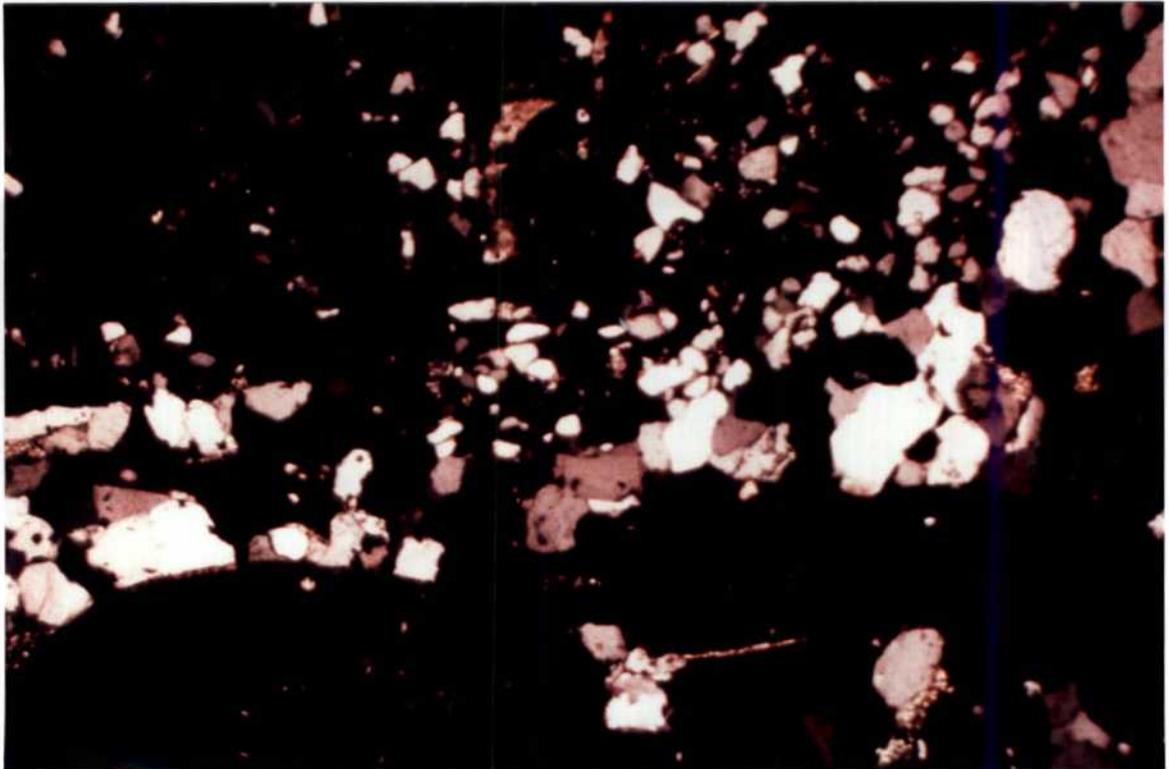
(2,5x1,25x9,5)

MUESTRA CH-17.- Arenisca (cuarzarenita) con intraclastos (gravel, clastos lumpales y bioclastos) de tamaño rudita (grava) fosfatizados. Cemento silíceo-ferruginoso. Recristalización y silicificación en bioclastos.



Muestra CH-22. (Foto 21)

(2,5x1,25x2,5)



Muestra CH-22. (Foto 22) con nicoles cruzados

(2,5x1,25x2,5)

MUESTRA CH-22.- Arenisca (cuarzarenita) con intraclastos (gravels y clastos lumpales) y bioclastos tamaño rudita y fosfatizados. Cemento silíceo.

7.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LA INVESTIGACION

Al final de cada capítulo, correspondiente a la descripción de las distintas áreas estudiadas, se ha dedicado un apartado con las conclusiones obtenidas y recomendaciones a seguir. En este capítulo, y a modo de resumen, se señalan las conclusiones y recomendaciones más significativas de las áreas investigadas.

AREA DE CODOS

- En el área de Codos se presentan niveles carbonatados con presencia de fosfatos. Los estudios estructurales realizados permiten asignar una edad Precámbrico (Vendiense ?) a estos materiales, existiendo una fuerte discordancia angular entre éstos y la Cuarcita de Bámbola (Cámbrico inf.).
- Estratigráficamente se han distinguido dos miembros:

- MIEMBRO SILICICLASTICO

- MIEMBRO CARBONATADO

El "Miembro Carbonatado" es el que contiene la mineralización de fosfato, con valores de hasta 10,50% de P_2O_5 .

- Recomendaciones

Las características litoestratigráficas, unido a la poca extensión del afloramiento, hace que el área carezca de interés, recomendándose no continuar la investigación.

AREA CALATAYUD-LA ALMUNIA

- Conclusiones

- Este área se seleccionó con el objeto de reconocer el Precámbrico, ampliamente aflorante en la misma, por si se encontraban los niveles carbonatados fosfatados intercalados en la F. Pizarras de Paracuellos (Precámbrico) semejante a los localizados en el área de Codos.
- Los estudios realizados no han dado resultados, aunque el espaciado entre itinerarios, su situación, según criterios cartográficos, y la densidad del desmuestre, han sido suficientes.
- Los resultados de los análisis colorimétricos de las muestras recogidas dieron contenidos siempre inferiores al 1%, no siendo necesario, por tanto, la realización de análisis químicos.

- Recomendaciones

- Con lo expuesto anteriormente, se concluye la falta de interés del área, desde el punto de vista de la investigación de fosfatos, recomendándose el abandono de la misma.

AREA DE SANTEDE

- Conclusiones

- En la Formación Santede, existe un nivel fosfatado de importante espesor (aprox. 15 m) y desarrollo lateral próximo a los 800 metros.

- El "nivel fosfatado" se sedimentó inicialmente en un ambiente dominado por mareas, siendo acumulado por la acción de tormentas, como ruditas litareníticas gradadas y rudíticas.
- La fosfatación se produjo en la diagénesis precoz, seguida posteriormente por una silicificación y por último por una hematización muy importante que desplazó al fosfato y a la sílice.
- Los contenidos en fosfatos son muy bajos, aunque la ausencia de normalidad en la distribución puede considerarse como indicativo de que estos bajos contenidos pueden deberse a la diagénesis de la sílice y del hierro.

- Recomendaciones

- Se cree oportuna la realización de algunos sondeos mecánicos de reconocimiento con recuperación de testigo continuo, con una profundidad estimada de 150-200 m, con objeto de cortar la serie fuera de la zona de alteración, ya que cabe la posibilidad de que un contenido inicial, netamente más alto, hubiera quedado enmascarado por la diagénesis del hierro (hematización), con expulsión de fosfatos, y que éstos estuvieran en zonas no alteradas del nivel de capas de "tormenta" (ruditas).

AREA DE SEGURA DE LOS BAÑOS

- Conclusiones

- Dentro de la Fm. Luesma-Nogueras, se han localizado numerosos tramos con contenido en fosfato. De estos tramos y niveles, los más significativos, por su contenido en P_2O_5 y potencia son los que se han definido en el sector de Cabezo Bendito:

| | | | | <u>% P₂O₅</u> |
|-----------|--------------|--------|---|-------------------------------------|
| - Tramo 1 | - 140-180 cm | - 2,4 | - | 4,5 |
| " 2 | - 160 cm | - 2,3 | - | 4,3 |
| " 3 | - 30-40 cm | - 2,11 | - | 2,16 |
| Nivel 4 | - 40 cm | - 4,1 | | |
| " 5 | - 30-60 cm | - 2,67 | | |
| " 6 | - 20-30 cm | - 2,5 | | |
| " 7 | - 50 cm | - | - | 2,2 |

- La única zona de posible interés se sitúa en Cabezo Bendito y sus proximidades en el sector NO del área de estudio en una estructura N-S conformada por las Formaciones Luesma-Nogueras del Devónico inferior. La continuidad lateral de los niveles de Cabezo Bendito se estima entre 1-2 Km.

- Recomendaciones

- Se recomienda proteger legalmente el sector de Cabezo Bendito, mientras se realiza una investigación más detallada que, en principio, debería comprender:
- Cartografía geológico-minera detallada de los niveles fosfatados, para una superficie de unas 300 Ha.
- Levantamiento de columnas estratigráfico-sedimentológicas, con tomas de muestras, mediante labores mineras, con posterior análisis de P₂O₅.