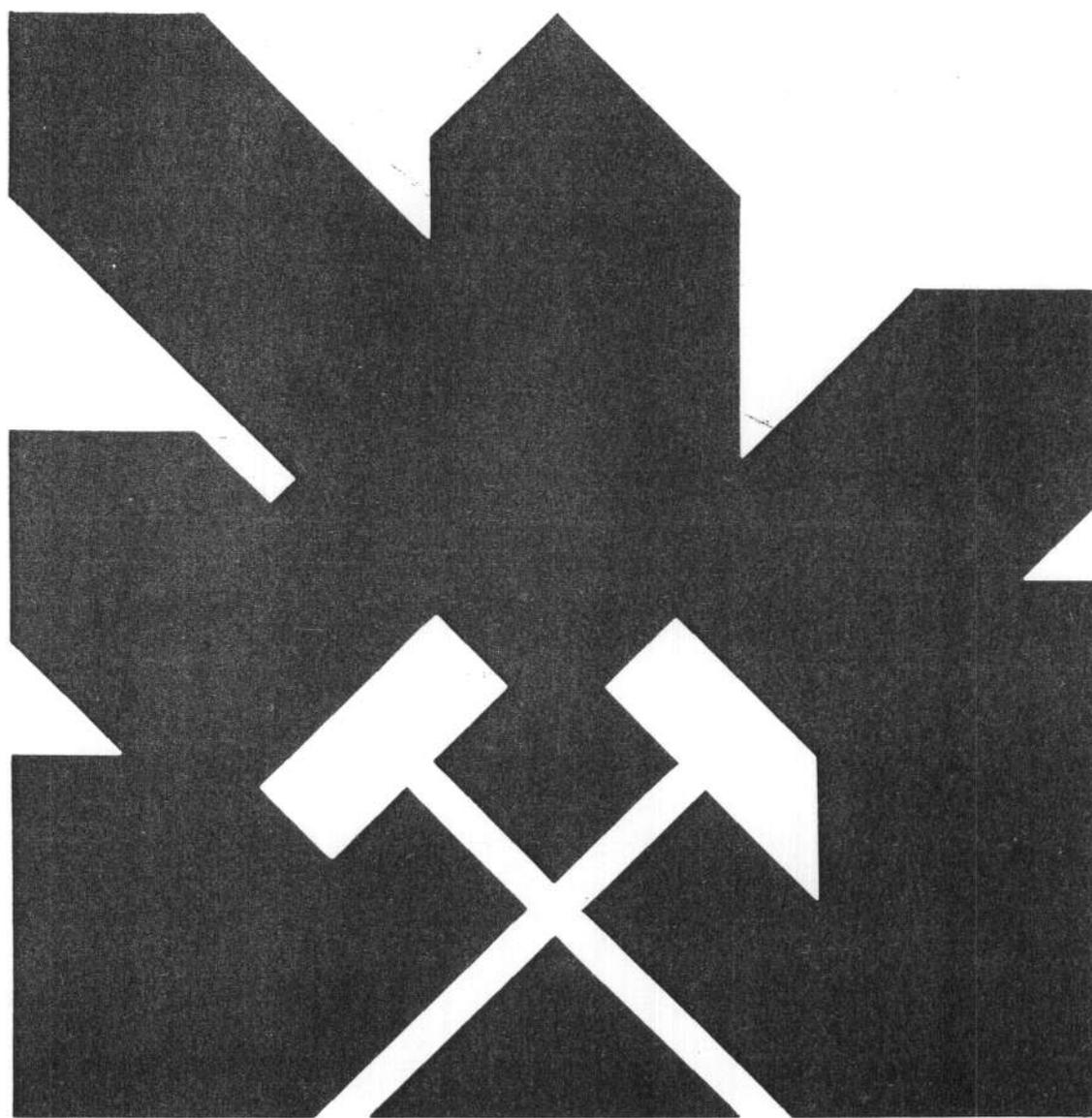


MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA  
SECRETARIA DE LA ENERGIA Y RECURSOS MINERALES

EXPLORACION PREVIA DE LIGNITOS  
EN EL EBRO CENTRAL

TOMO I- MEMORIA



INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

1985

11139

EXPLORACION PREVIA DE LIGNITOS  
EN EL EBRO CENTRAL

TOMO I- MEMORIA

11139

## INDICE GENERAL

Página

### PARTE I : EBRO CENTRAL

1.-	Introducción	1
1.1.-	Situación geográfica	1
1.2.-	Rasgos generales de la evolución de la Cuenca del Ebro Central	1
1.3.-	Situación geológica	3
2.-	Objetivos y metodología	7
2.1.-	Objetivos	7
2.2.-	Metodología de trabajo	8
3.-	Estratigrafía y análisis de facies	9
3.1.-	Generalidades sobre las facies y ambientes sedimentarios representados en la región estudiada	9
3.2.-	Descripción por sectores	10
4.-	Análisis de la cuenca	55
4.1.-	Paleogeografía general	55
4.2.-	Evolución sedimentaria	57
4.3.-	Relación entre la Fm. Alcubierre y la Fm. Mequinenza	63
5.-	Modelos de deposición de sistema fluvio-lacustres con contenido en lignito	64

	<b>Página</b>
6.- Conclusiones	67
6.1.- Resumen	67
6.2.- Conclusiones respecto a las posibilidades lignitíferas	68
7.- Propuestas y recomendaciones	71
8.- Bibliografía	75

## **PARTE II: PIRINEOS**

1.- Introducción	1
2.- Fm. Escanilla	2
3.- Fm. Collegats	10
4.- Propuesta y recomendaciones	15
5.- Bibliografía	17

**PARTE I**  
**EBRO CENTRAL**

<b>INDICE</b>	<b>Página</b>
1.- Introducción	1
1.1.- Situación geográfica	1
1.2.- Rasgos generales de la evolución de la Cuenca del Ebro Central	1
1.3.- Situación geológica	3
2.- Objetivos y metodología	7
2.1.- Objetivos	7
2.2.- Metodología de trabajo	8
3.- Estratigrafía y análisis de facies	9
3.1.- Generalidades sobre las facies y ambientes sedimentarios representados en la región estudiada	9
3.1.1.- Ambientes palustres	9
3.1.2.- Ambientes lacustres someros	9
3.2.- Descripción por sectores	10
3.2.1.- Sector de La Muela	11
3.2.1.1.- Unidad de facies aluviales distales	11
- Descripción	15
- Interpretación	15

	<b>Página</b>
3.2.1.2.- Unidad de facies lacustres litorales carbonatadas	15
- Descripción	15
- Interpretación	16
- Lignito y niveles carbonosos	19
3.2.1.3.- Unidad de facies fluviales carbo- natadas	20
- Descripción	20
- Interpretación	20
3.2.2.- Sector de Borja	20
3.2.2.1.- Unidad de facies aluviales	23
- Descripción	23
- Interpretación	23
3.2.2.2.- Unidad de facies palustres	23
- Descripción	23
- Interpretación	24
- Lignito y niveles carbonosos	26
3.2.2.3.- Unidad de facies fluviales	26
- Descripción	26
- Interpretación	27

	<b>Página</b>
3.2.2.4.- Unidad de facies lacustres cerradas	27
- Descripción	27
- Interpretación	29
3.2.3.- Región intermedia entre los sectores de La Muela y Borja y su correlación	29
- Análisis de los sondeos	30
- Observaciones de campo	33
- Conclusiones	34
3.2.4.- Sector de Alcubierre	37
3.2.4.1.- Unidad de facies fluvio-lacustres	37
- Descripción	38
1) Facies fluviales con interacciones lacustre-palustres	38
2) Facies lacustres someras con intercalaciones fluviales	40
- Interpretación	40
- Lignito y niveles carbonosos	42
3.2.4.2.- Unidad de facies lacustres abiertas	42
- Descripción	42
- Análisis secuencial y ciclicidad	44
- Descripción de ciclos	47

	<b>Página</b>
- Interpretación	51
- Lignito y niveles carbonosos. Aplicación a la investigación	52
4.- Análisis de cuenca	55
4.1.- Paleogeografía general	55
4.2.- Evolución sedimentaria	57
4.2.1.- La cuenca central	57
4.2.2.- La subcuenca de Borja	59
4.3.- Relación entre la Fm. Alcubierre y la Fm. Mequinenza	63
5.- Modelos deposicionales de sistemas fluvio-lacustres con contenido en lignito	64
6.- Conclusiones	67
6.1.- Resumen	67
6.2.- Conclusiones respecto a las posibilidades lignitíferas	68
6.2.1.- Sector de Alcubierre	68
6.2.2.- Sector de La Muela	68
6.2.3.- Sector de Borja	69
7.- Propuestas y recomendaciones	71
8.- Bibliografía	75

## **1.- INTRODUCCION**

## **1.- INTRODUCCION**

### **1.1.- Situación geográfica**

La región estudiada en el presente informe (Fig. 1) cubre la casi totalidad de la cuenca centro-sur del Ebro, desde un hipotético eje septentrional Ejea-Almudevar-Sarriena hasta la Cordillera Ibérica y hace referencia, casi exclusivamente, a los relieves calcáreos que forman las sierras de Sigüenza (Area 9), Alcubierre (Area 7), Montes de Castejón (Area 5) y terminación oriental de Las Bardenas (Area 1), al N. del río Ebro y La Muela (Area 4), La Plana de Zaragoza (Area 3) y La Muela de Borja (Area 2), al S.

### **1.2.- Rasgos generales de la evolución de la Cuenca del Ebro Central (Antecedentes)**

La Cuenca del Ebro, constituye un dominio tectoestratigráfico complejo, que se forma e individualiza en el transcurso del Paleógeno a modo de "foreland basin" de los Pirineos.

En el margen septentrional presenta un espesor de más de 4.000 m., de sedimentos terciarios, que se van reduciendo considerablemente hacia el borde S. Se pueden establecer dos grandes subdivisiones en su historia sedimentaria (RIBA et al., 1.985).

- Durante el Paleoceno y Eoceno la cuenca está conectada al mar por el .W, de forma que registra sedimentación marina en las áreas septentrionales en concordancia generalizada con el substrato cretácico.
- Desde el Eoceno superior-Oligoceno, hasta el Mioceno Superior, la cuenca se vuelve un surco molásico endorreico con sedimentación continental. Durante este segundo estadio evolutivo, se desarrollan, en los márgenes



Escala 1:200.000

**LEYENDA**

- ① SITUACION Y Nº DE COLUMNA
- SECCION ESTRATIGRAFICA
- ⊕ SITUACION DE SONDEO

- CUATERNARIO**
  - 1
- MIOCENO**
  - 7 FORMACIONES CONGLOMERATICAS
  - 6 FORMACIONES CALCAREAS (Fm. Alcañiz)
  - 5 FORMACIONES DETRITICAS (Fm. Soria)
  - 4 FORMACIONES YESIFERAS (Fm. Soria)
- OLIGOCENO**
  - 3 FORMACIONES DETRITICAS (Fm. Perdomo)
  - 2 FORMACIONES YESIFERAS (Fm. Barbastre)
- MEZOZOICO Y OLIGOCENO PLEGADO**
  - 1

MAPA GEOLOGICO SIMPLIFICADO, EXTRAIDO DE LA SINTESIS CARTOGRAFICA NACIONAL E. 1:200.000

DIBUJADO J.G. González	MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA	
FECHA DICIEMBRE - 1980	INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA	
COMPROBADO A. Moyano		
AUTOR I.G.M.E.	PROYECTO EXPLORACION PREVIA DE LIGNITOS EN EL EBRO CENTRAL	CLAVE
ESCALA 1:200.000		
CONSULTOR Inypsa	MAPA GEOLOGICO DE LA DEPRESION DEL EBRO CENTRAL	PLANO Nº 1

septentrional y meridional de la cuenca, dos grandes sistemas aluvio-fluviales que evolucionan hacia el centro a llanuras fangosas y áreas lacustres endorreicas someras (QUIRANTES, 1.969; BIRNBAUM, 1.976; CABRERA, 1.983). En el centro y S. de la cuenca, estos depósitos se apoyan en discordancia angular sobre el zócalo Meso o Paleozoico.

Se refleja en esta evolución sedimentaria, una traslación progresiva del eje de la cuenca hacia el S. Existe también un desplazamiento del depocentro de E. a W. (RIBA, 1.967; RIBA et al., 1.985) que origina una serie de litosomas que se van desplazando progresivamente. Sin embargo, es interesante señalar la existencia de un umbral en la zona de Los Monegros durante el Oligoceno, que separaría las cuencas de Navarra-Rioja y Cataluña, zona que se vuelve subsidente a partir del Mioceno.

### 1.3.- Situación geológica

El estudio más exhaustivo del Terciario continental de la región de Los Monegros, procede de QUIRANTES (1.969), al que se hará referencia en alguna ocasión especialmente al tratar de las unidades litoestratigráficas. Dicho autor hace una distinción litológica entre formaciones detríticas, de yeso y calcáreas (Fig. 2). Dichas formaciones y sus miembros, se enumeran a continuación, subrayando aquellos términos que entran en el ámbito de este trabajo.

a) Formaciones detríticas :

- Formaciones Peraltilla y Sarriena, de procedencia N.
- Formaciones Longares y Caspe, procedentes del S.

b) Formaciones de yeso :

- Formación yesos de Barbastro.
- Formación Zaragoza; en superficie comprende los yesos de Retuerta, Mediana, Alfocea y Remolinos.



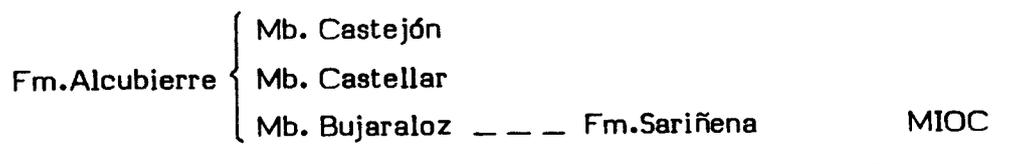
c) Formaciones calcáreas :

- Formación Alcubierre, con los miembros siguientes en orden estratigráfico descendente :
  - . Mb Castejón : comprende las plataformas calcáreas superiores de los Montes de Castejón, La Muela, La Plana y las calizas de Alcubierre y Sigena.
  - . Mb Castellar : forma las estribaciones orientales y sur de los Montes de Castejón.
  - . Mb Bujaraloz : en el que se integran las calizas de Bujaraloz, Peñalba, Cardiel y Sástago.
  
- Formación Mequinenza, en la que se sitúan las explotaciones lignitíferas de Mequinenza y Maials.

Estas formaciones se indentan entre sí y pasan lateralmente de unas a otras. RIBA et al. (1.985) establecen las siguientes relaciones, precisando que las unidades carbonatadas de la Fm. Alcubierre necesitan una revisión de campo (sic.).

Según un corte estratigráfico N.- S.:

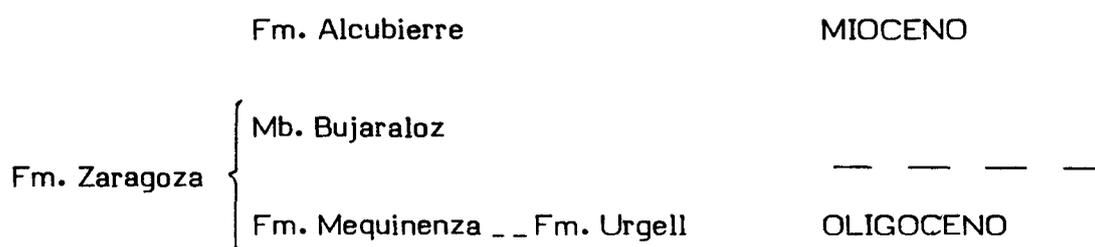
S.-N.





Según un perfil sintético longitudinal W.- E.:

**W. - E.**



Así pues, la región estudiada abarca :

- Los Mbs. Castellar y Castejón de la Fm. Alcubierre y sus probables equivalentes laterales hacia occidente : las calizas de La Muela de Borja y de Las Bardenas. Se trata de facies lacustres s.l. más o menos centrales.
- La franja aluvial meridional que se interdigita con ellas, es decir, la Fm. Longares y sus equivalentes occidentales.
- Y finalmente, la fracción más distal de la Fm. Sariñena, puesto que los sedimentos fluviales propiamente dichos del margen septentrional, que han quedado preservados de la erosión, afloran mayoritariamente al N. del eje antes citado.

En cuanto a su edad, la Fm. Alcubierre (a excepción del Mb. Bujaraloz) se atribuye clásicamente al Mioceno Superior (Vindoboniense Superior-Pontiense s.l.). Recientemente AZANZA et al. (1.983) datan como Mioceno Medio (Aragoniense) un yacimiento de mamíferos situado estratigráficamente por debajo de las calizas superiores de La Muela de Borja.

## **2.- OBJETIVOS Y METODOLOGIA**

## **2.- OBJETIVOS Y METODOLOGIA**

### **2.1.- Objetivos**

Los objetivos propuestos, de acuerdo con el pliego de condiciones técnicas elaborado por el IGME, se pueden esquematizar en los siguientes:

- 1º. Establecer la estratigrafía general y la localización estratigráfica de los niveles carbonosos.
- 2º. Estudiar y describir los diferentes ambientes sedimentarios y sus relaciones.

**Este estudio se ha realizado en base a:**

- Análisis y caracterización de las asociaciones de facies y secuencias elementales típicas de cada ambiente. Este apartado incluye un estudio detallado de las secuencias con contenido en lignito o materia orgánica.
- Establecimiento de su distribución areal y evolución macrosecuencial (agrupación en secuencias de orden superior).

**Tiene por finalidad:**

- Integrar los indicios de lignito y lutitas carbonosas en su ambiente deposicional correspondiente.

**E incluye:**

- La evaluación de su potencial continuidad y cambios laterales de facies que pueden producirse.

- 3º. Trazar los rasgos generales del contexto paleogeográfico y del modelo deposicional y establecer la evolución sedimentaria lateral y vertical con el fin de acotar y delimitar el desarrollo espacial de los diferentes ambientes sedimentarios.
- 4º. Orientar la prospección a las áreas de ambientes sedimentarios favorables y descartar definitivamente futuras prospecciones en zonas cuyas condiciones ambientales hacen imposible la presencia de lignitos.

## **2.2.- Metodología de trabajo**

El estudio de campo llevado a cabo se ha basado fundamentalmente en el levantamiento de columnas estratigráficas de detalle a escala 1:100, así como de reducidos "logs" de las secuencias elementales a escalas mucho menores. El análisis y la delicada correlación de las columnas ha permitido trazar varias secciones estratigráficas, que reflejan, al menos parcialmente, la evolución sedimentaria.

Las limitaciones impuestas por la falta de una cartografía y por el hecho de realizar el estudio de tan solo un fragmento de lo que debería haber sido una cuenca mucho mayor, impiden caracterizar totalmente los diversos sistemas deposicionales y las unidades tectosedimentarias, pero en la medida de lo posible se ha intentado establecer cuál ha sido la relación entre tectónica y sedimentación.

### **3.- ESTRATIGRAFIA Y ANALISIS DE FACIES**

### **3.- ESTRATIGRAFIA Y ANALISIS DE FACIES**

#### **3.1.- Generalidades sobre las facies y ambientes representados en la región estudiada**

Fuera de las zonas más marginales de la cuenca, se hallan representados tres tipos principales de ambientes sedimentarios:

- la franja aluvio-fluvial distal procedente de los bordes.
- los típicos ambientes palustres más o menos centrales.
- ambientes lacustres desarrolladas hacia las zonas más internas.

##### **3.1.1.- Ambientes palustres**

Estos ambientes incluyen asociaciones de facies que representan llanuras pantanosas carbonatadas o fangosas y llanuras marginales carbonatado-evaporíticas.

Son zonas afectadas por frecuentes descensos del nivel de agua, dónde se desarrollan facies calcáreas que pueden estar ampliamente bioturbadas y mostrar un gran desarrollo de estructuras diagenéticas tempranas, indicativas de emersión, llegando incluso a la brechificación total.

##### **3.1.2.- Ambientes lacustres someros**

En sentido amplio, los ambientes lacustres someros pueden ser divididos en marginales y abiertos (en el sentido de LINK & OSBORNE, 1.978).

- Los ambientes lacustres marginales incluyen principalmente asociaciones de facies que reflejan la sedimentación en llanuras fangosas terminales, litorales lacustres carbonatados y lagos efímeros de la llanura de inundación fluvial. Las secuencias lacustres

marginales, usualmente, incluyen tramos carbonatados delgados que alternan repetidamente con tramos terrígenos. No han sido reconocidos sub-ambientes deltaicos o interdelticos propiamente dichos.

- En las áreas lacustres abiertas, donde el nivel del agua es relativamente alto y persistente, sin fuerte influencia terrígena, se depositan litofacies carbonatadas formando potentes secuencias de gran continuidad lateral.

Las calizas palustre-lacustres son "mudstones" y "wackestones", que presentan, a veces, alguna laminación pero que frecuentemente son masivas y pueden exhibir bioturbación. Son abundantes también las capas laminadas ("packstones"- "grainstones") con intra y bioclastos. Contienen Gasterópodos y Ostracodos y esporádicamente materia orgánica dispersa.

El lignito y las lutitas carbonosas proceden fundamentalmente de la sedimentación en charcas restringidas ("bog"), que se desarrollan en ambientes palustres o lacustres litorales.

### **3.2.- Descripción por sectores**

En parte por comodidad descriptiva, pero fundamentalmente por presentar características geológicas propias cada uno de ellos, la región de estudio ha sido subdividida, desde un punto de vista geográfico, en tres grandes sectores:

- Dos sectores meridionales, situados entre el Ebro y la Cordillera Ibérica :
  - 1.- Sector de La Muela, al E., en el que se incluyen La Muela y La Plana (Áreas 3 y 4).

- 2.- Sector de Borja, al W., referido a La Muela de Borja y áreas adyacentes (Area 2).
- Un sector septentrional, al N. del Ebro :
- 3.- Sector de Alcubierre, que engloba las sierras de Sigena, Alcubierre, Montes de Castejón y Rama Aragonesa de Las Bardenas (Areas 9, 7, 5 y 1).

En las páginas siguientes se realiza, en orden estratigráfico ascendente, la descripción e interpretación de las unidades ambientales sedimentarias de cada uno de estos sectores, en base a las secciones estratigráficas de las Figs. 4, 5 y 9 y a los paneles de correlación de las Figs. 12 y 13, a las que se hará referencia continuamente.

### **3.2.1.- Sector de La Muela**

Este sector abarca principalmente las plataformas calcáreas de La Muela y La Plana y los relieves de Rueda y Chilos, con una extensión superficial de 909 km<sup>2</sup> (Fig.1).

La evolución vertical refleja una megasecuencia de tendencia simétrica, con el desarrollo de facies fundamentalmente terrígenas y/o tractivas en las partes inferior y superior separadas por un término de facies carbonatadas lacustres (Figs. 3, 4, 5 y 18).

#### **3.2.1.1.- Unidad de facies aluviales distales**

Constituyen los materiales basales sobre los que se desarrolla el término lacustre, al que también pasan lateralmente.

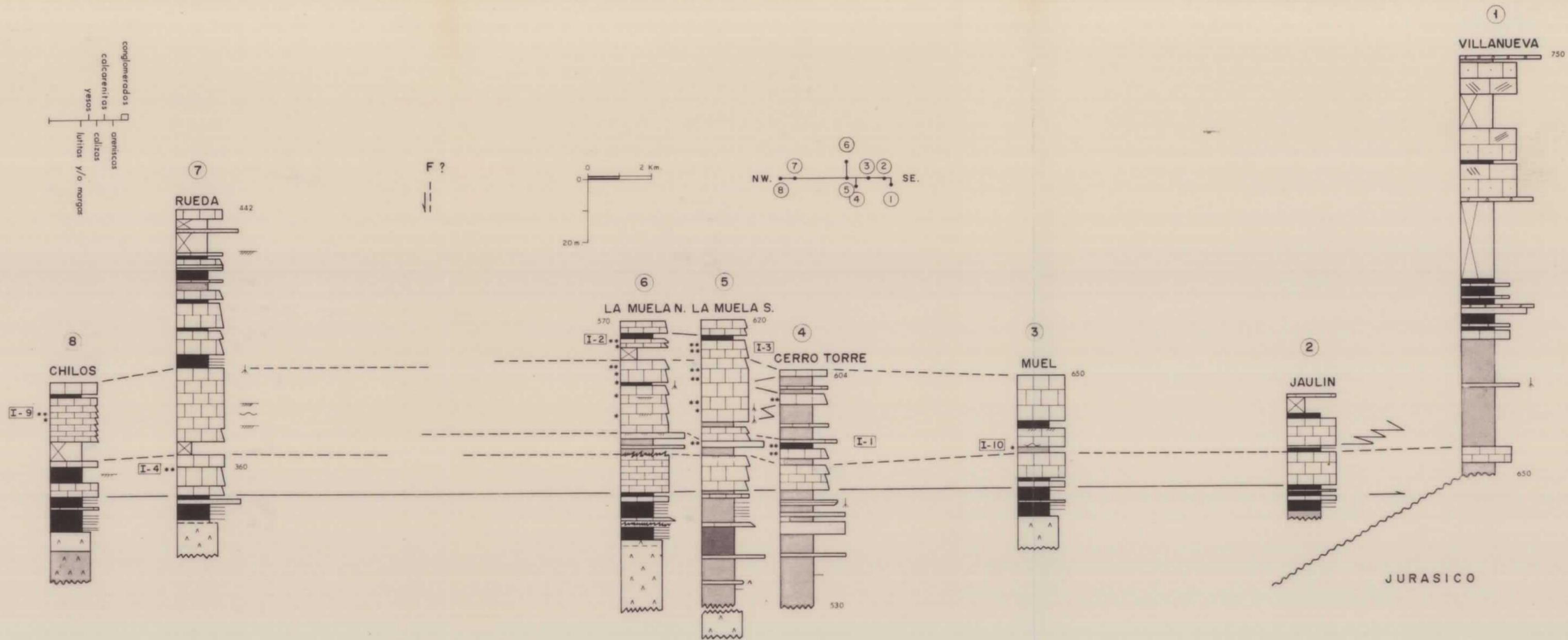


FIGURA 3.- PANEL DE CORRELACION DE LAS COLUMNAS  
ESTRATIGRAFICAS SINTETICAS DEL SECTOR  
LA MUELA - LA PLANA

- Margas y margas lutíticas
- Lutitas rojas
- Lutitas grises
- Secuencia positiva

- 604 Cota aproximada
- Paleosuelo y/o nivel con gran bioturbación vegetal
- Paleokarst
- Superficie ferruginosa
- Estratificación "hummocky"
- Lutitas carbonosas
- Nivel de lignito I-3 Nº de indicio

DIBUJADO J.G. González		MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA
FECHA DICIEMBRE - 1980		
COMPROBADO A. Maymo		PROYECTO EXPLORACION PREVIA DE LIGNITOS EN EL EBRO CENTRAL
AUTOR L. Ardevol		
ESCALA: H/100,000 V/10,000		CLAVE
COMBUSTOR inypsa		PLANO Nº <b>3</b>
CORRELACION DEL SECTOR LA MUELA - LA PLANA		

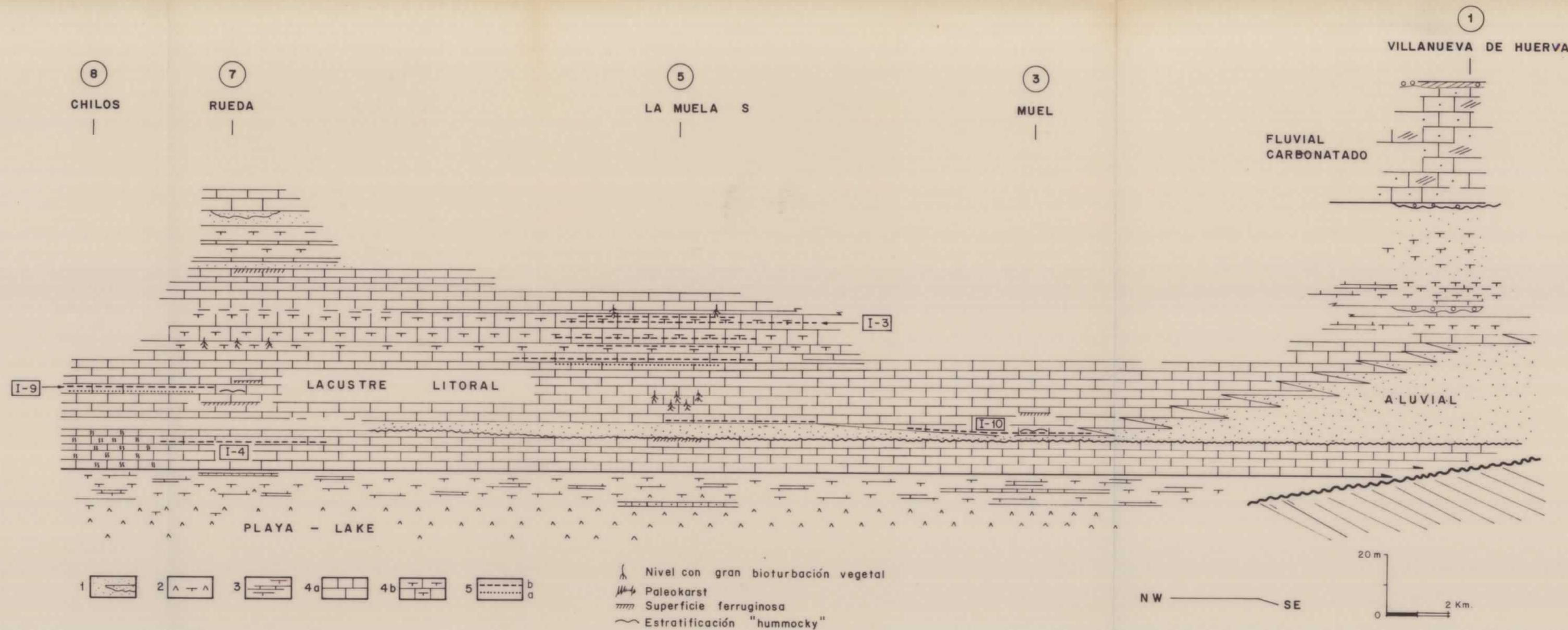


FIGURA 4.- SECCION ESTRATIGRAFICA Y RELACION DE FACIES DEL SECTOR LA MUELA - LA PLANA EN UN PERFIL DE DIRECCION IBERICA

1. Lutitas arenosas rojas
2. Margas lutíticas y evaporitas
3. Margas interestratificadas con calizas finas
4. Calizas y margas formando secuencias de colmatación de litorales lacustres someros a) Secuencias eminentemente calcáreas b) Secuencias calcáreo - margosas
5. a) Lutitas carbonosas b) Nivel de lignito I-4 Nº de indicio

DIBUJADO M. Diaz	MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA	
FECHA DICIEMBRE - 1980	INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA	
COMPROBADO A. Maymo	PROYECTO EXPLORACION PREVIA DE LIGNITOS EN EL EBRO CENTRAL	CLAVE
AUTOR L. Ardevol	ESCALA H. 1/200000 V. 1/1000	PLANO Nº
COMBUSTOR inypsa	SECCION ESTRATIGRAFICA DEL SECTOR LA MUELA - LA PLANA	4

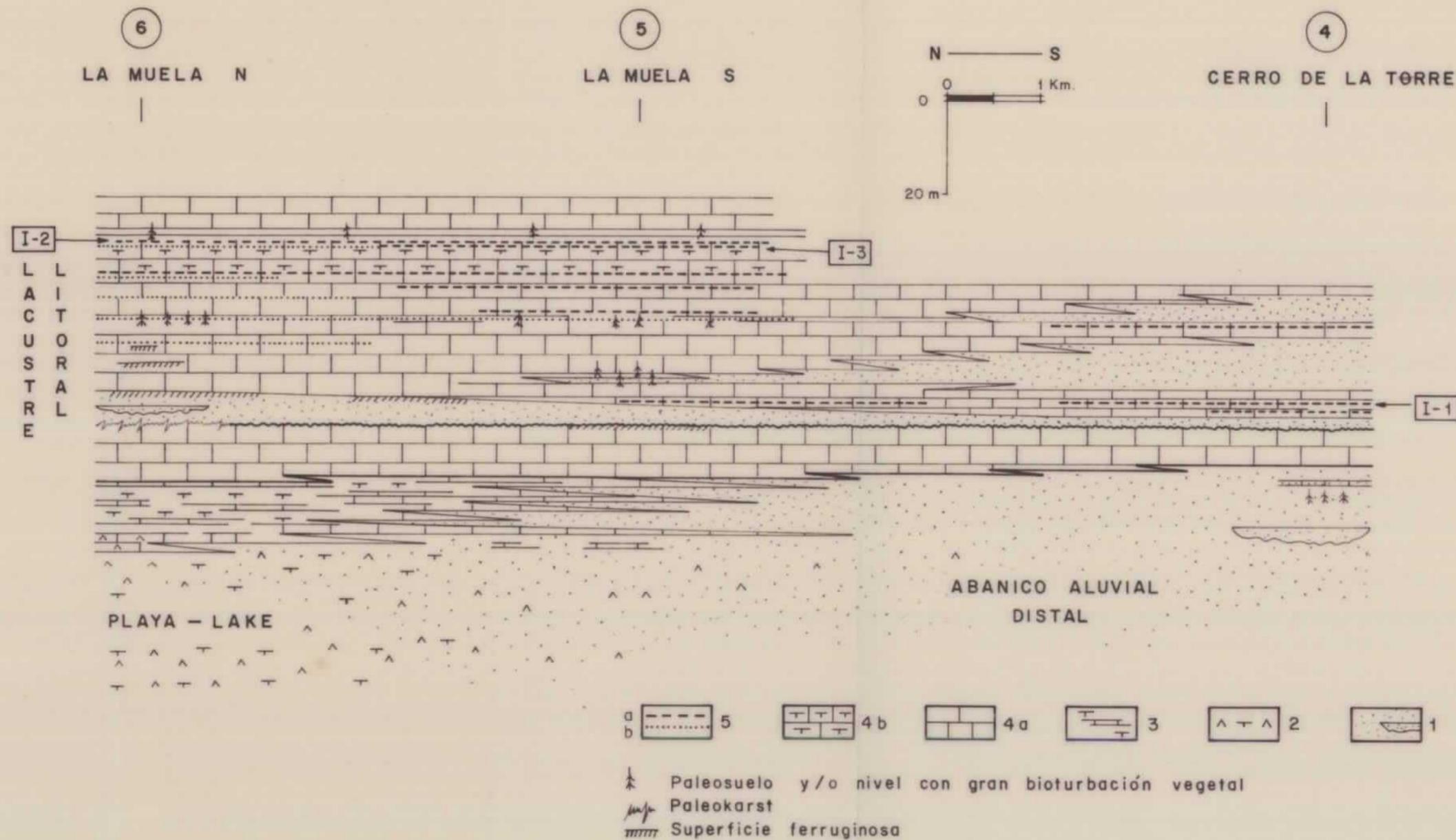


FIGURA 5.— SECCION ESTRATIGRAFICA Y RELACION DE FACIES DEL SECTOR LA MUELA — LA PLANA EN UN PERFIL TRANSVERSAL

1. Lutitas arenosas rojas con canales aislados de areniscas
2. Margas lutíticas y evaporitas
3. Margas interestratificadas con calizas finas
4. Calizas y margas formando secuencias de colmatación de litorales lacustres someros:
  - a) Secuencias eminentemente calcaréas
  - b) Secuencias calcareo-margosas
5. a) Lutitas carbonosas      b) Nivel de lignito      I-2 N<sup>o</sup> de indicio

DIBUJADO M. Diaz FECHA DICIEMBRE - 1985 COMPROBADO A. Maymo AUTOR L. Ardevol ESCALA H. 1/50000 V. 1/1000 CONSULTOR inypsa	MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA	PROYECTO EXPLORACION PREVIA DE LIGNITOS EN EL EBRO CENTRAL CLAVE
SECCION ESTRATIGRAFICA DEL SECTOR LA MUELA — LA PLANA		PLANO Nº 5

### **Descripción**

Son lutitas rojas con niveles arenosos muy esporádicos. En dirección S. y SE., es decir, hacia la parte proximal de la cuenca, evolucionan bastante rápidamente a facies esencialmente conglomeráticas o conglomerático-areniscosas (no representadas en las secciones estratigráficas), que afloran rellenando paleovalles en el zócalo jurásico. En dirección septentrional, pasan a facies terrígenas margosas, grises y rojas, que contienen evaporitas.

### **Interpretación**

Estas asociaciones de facies, representan sistemas de abanicos aluviales procedentes del margen ibérico.

#### **3.2.1.2.- Unidad de facies lacustres litorales carbonatadas ("lacustrine carbonate nearshore facies")**

Esta unidad forma las plataformas calcáreas propiamente dichas y su espesor máximo preservado es de 80-90 m.

### **Descripción**

El contacto con las facies de evaporitas subyacentes es neto. El tramo basal es margoso, con interestratificación de calizas finas, que presentan una tenue laminación horizontal y ocasionalmente "ripples" simétricos a techo o en la parte superior de las capas.

En general, la unidad está constituida por una sucesión de tramos de orden métrico, eminentemente calcáreos, separados por niveles margosos, más importantes hacia la parte superior. En la parte inferior de la unidad se intercala un nivel de materiales terrígenos formado por lutitas y areniscas blancas, canalizadas o construyendo "levees", con una potencia máxima de 7 m.

En dirección meridional se interestratifican cuñas terrígenas, progresivamente más potentes hacia el margen ibérico. No obstante la unidad es de carácter expansivo y llega a apoyarse directamente (probablemente dibujando una figura en "on lap") sobre el substrato ibérico.

Las calizas, con estratificación fina y media y continuidad lateral variable, son predominantemente micríticas de tipo "mudstone"- "wackstone", aunque también son frecuentes las capas de tipo "wackstone"- "packstone" con bases erosivas e incipiente laminación paralela. Ocasionalmente presentan "ripples" simétricos de oleaje. La estructura pedogenética más ampliamente desarrollada es la bioturbación vertical de raíces y esporádicas superficies ferruginosas a techo de algunas capas.

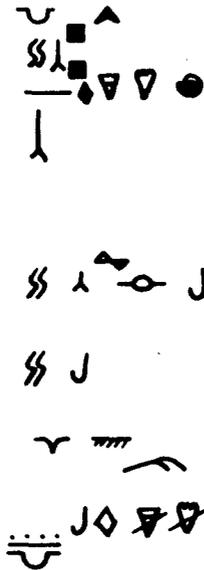
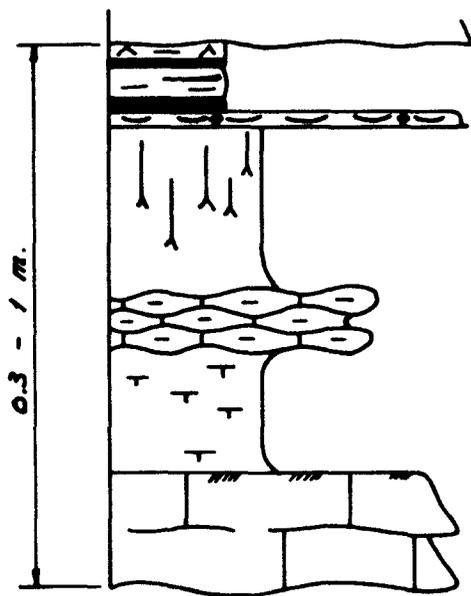
La secuencia elemental, cuando aparece completa en todos sus términos, se representa en la Fig. 6, mientras que la Fig. 7 muestra esquemáticamente los diferentes estadios de su formación (una descripción e interpretación detallada de esta secuencia se realiza en el Cap. 3.2.4.2.).

Estas secuencias forman a su vez macrosecuencias de tendencia positiva de 2 a 6 m., que constituyen cuerpos sedimentarios, a veces erosivos, con continuidad lateral de orden hectométrico, pero que terminan acufiándose en favor de otro conjunto de capas.

Estas megasecuencias varían en vertical según la predominancia de unos términos u otros de la secuencia elemental, de modo que reflejan variaciones en el nivel lacustre o en la proximidad de la línea de costa.

### **Interpretación**

Estas asociaciones de facies se desarrollarían en áreas lacustres litorales, más someras que las zonas lacustres abiertas. Con frecuencia se observan calizas y/o margas palustres en este ambiente, registrando accidentales descensos del nivel de agua y el desarrollo incipiente de procesos pedogenéticos.



4	Charcas restringidas con acumulación de materia orgánica ("bogs") y desecación.	SECUENCIA DE COLMATACION
3	Suelos hidromorfos con raíces (colmatación en medio lacustre)	
2	Calizas nodulosas y margas bioturbadas (relleno activo en medio lacustre)	
1	Calizas intraclásticas y bioclásticas (relleno activo en medio lacustre)	

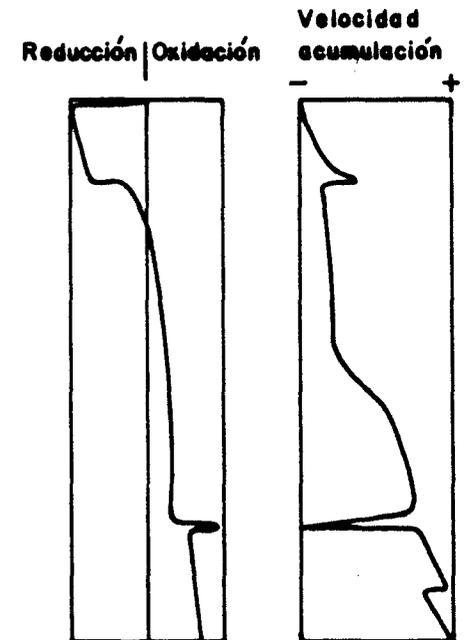
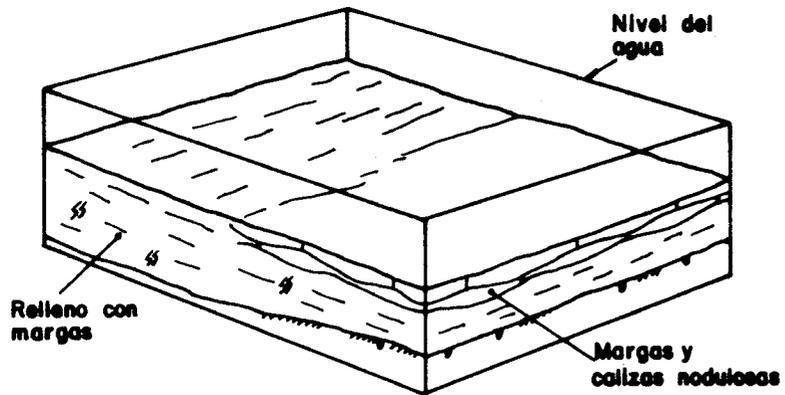
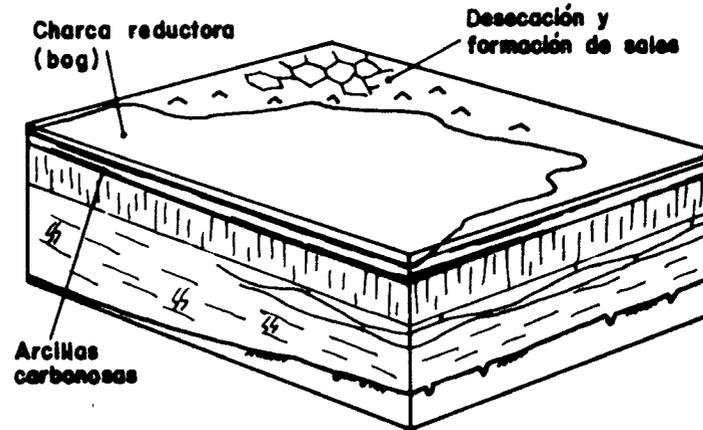


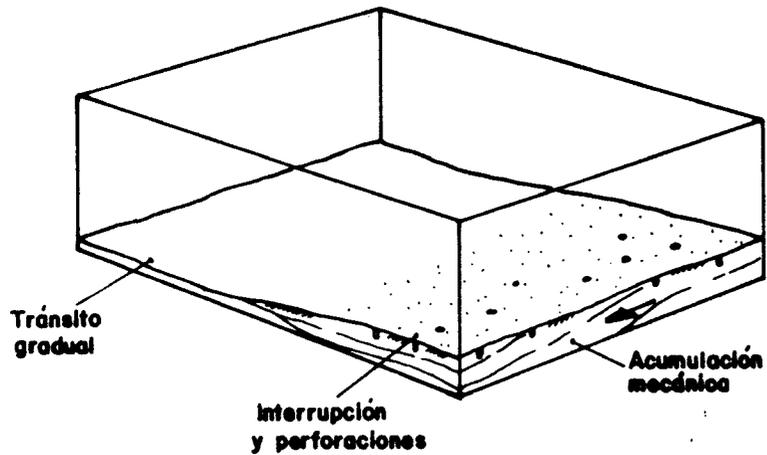
FIGURA 6.- Secuencia elemental de colmatación de ambientes lacustres s.l.  
Columna la Muela N., Unidad de facies lacustres litorales carbonatadas.



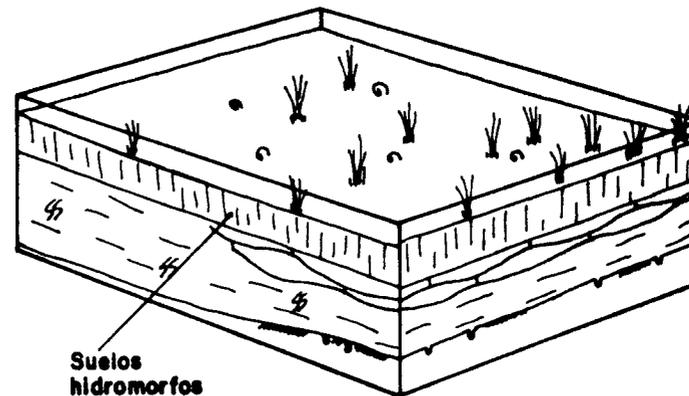
2- RELLENO CONDICIONADO (LACUSTRE)



4- INTERRUPCION (CHARCAS Y EMERSION)



1- RELLENO ACTIVO



3- COLMATACION (PALUSTRE)

1 m.

FIGURA 7.- Estadios de formación de la secuencia elemental de colmatación de ambientes lacustres s.l.

Las geometrías deposicionales existentes reflejan, tanto la morfología de tipo "mound" lacustre, como la actividad de corrientes que afectan estas áreas lacustres marginales y son la causa del desarrollo de superficies erosivas en el somero fondo lacustre.

En la zona de interacción con la llanura de inundación aluvial, alternan secuencias carbonatadas y secuencias terrígenas. Sin embargo la cuña de materiales terrígenos, intercalada en la parte inferior de la unidad, puede reflejar una ruptura de carácter local.

#### **Lignito y niveles carbonosas**

Como puede comprobarse en las columnas estratigráficas, los indicios de lignito y lutitas carbonosas son bastante numerosos. En vertical se contabilizan un mínimo de 10-12 niveles, de los cuales se han considerado 6 como indicios : I-1, 2, 3, 4, 9 y 10.

Aunque de muy reducido espesor (máximo de 10 cm.), son de gran continuidad lateral; se ha comprobado que es del orden de los 5 km. (Fig. 4), si bien durante ese intervalo, el lignito puede transformarse en lutita carbonosa y viceversa o bien mantenerse. Probablemente su continuidad alcance, en ciertos casos por lo menos, los 7,5 km, como parece desprenderse de la correlación de las columnas de Cerro de la Torre y La Muela S. (Fig. 4, I- 1).

En consecuencia estos niveles pueden representar:

- sedimentación en charcas restringidas ("bogs") constituyendo el término final de la secuencia de colmatación lacustre, o bien
- removilización de la materia orgánica por corrientes tractivas, en cuyo caso el lignito es hipoaútóctono y puede aparecer en la parte basal de la secuencia. En este segundo caso va asociado a estructuras tractivas en la caliza, que en casos extremos son de tipo "hummocky". Ocasionalmente puede tener un significado ruptural.

Se remite el lector al ANEXO III, dónde se exponen los resultados de los análisis efectuados en los indicios I-1 e I-3.

### **3.2.1.3.- Unidad de facies fluviales carbonatadas**

Estas facies constituyen la parte alta de la megasecuencia, pero sólo se han observado en la zona de Villanueva de Huerva-Fuendetodos (La Plana).

#### **Descripción**

Se trata de cuerpos sedimentarios lenticulares, del orden de 10-15 m. de potencia y continuidad lateral hectométrica, que internamente están constituidos por calcarenitas homogéneas, con estratificación cruzada de tipo "festoon" o planar a diversas escalas y presentan superficies internas erosivas, tapizadas por cantos de tamaño "pebble". No se han reconocido indicios de lignito en este tipo de facies.

#### **Interpretación**

Estos cuerpos pueden representar litosomas canalizados de origen fluvial con componentes detríticos calcáreos. Probablemente supongan una ruptura sedimentaria.

### **3.2.2.- Sector de Borja**

Comprende la región de Borja y Tarazona y su superficie es de 142 km<sup>2</sup> (Fig. 1).

La evolución vertical de este sector refleja el desarrollo de dos megasecuencias positivas (Fig. 8, 9 y 18) cada una de ellas formada por facies aluvio-fluviales en la base y facies palustre-lacustres en la parte superior. No obstante puede hallarse en la sucesión vertical alguna ruptura sedimentaria de carácter más o menos local.

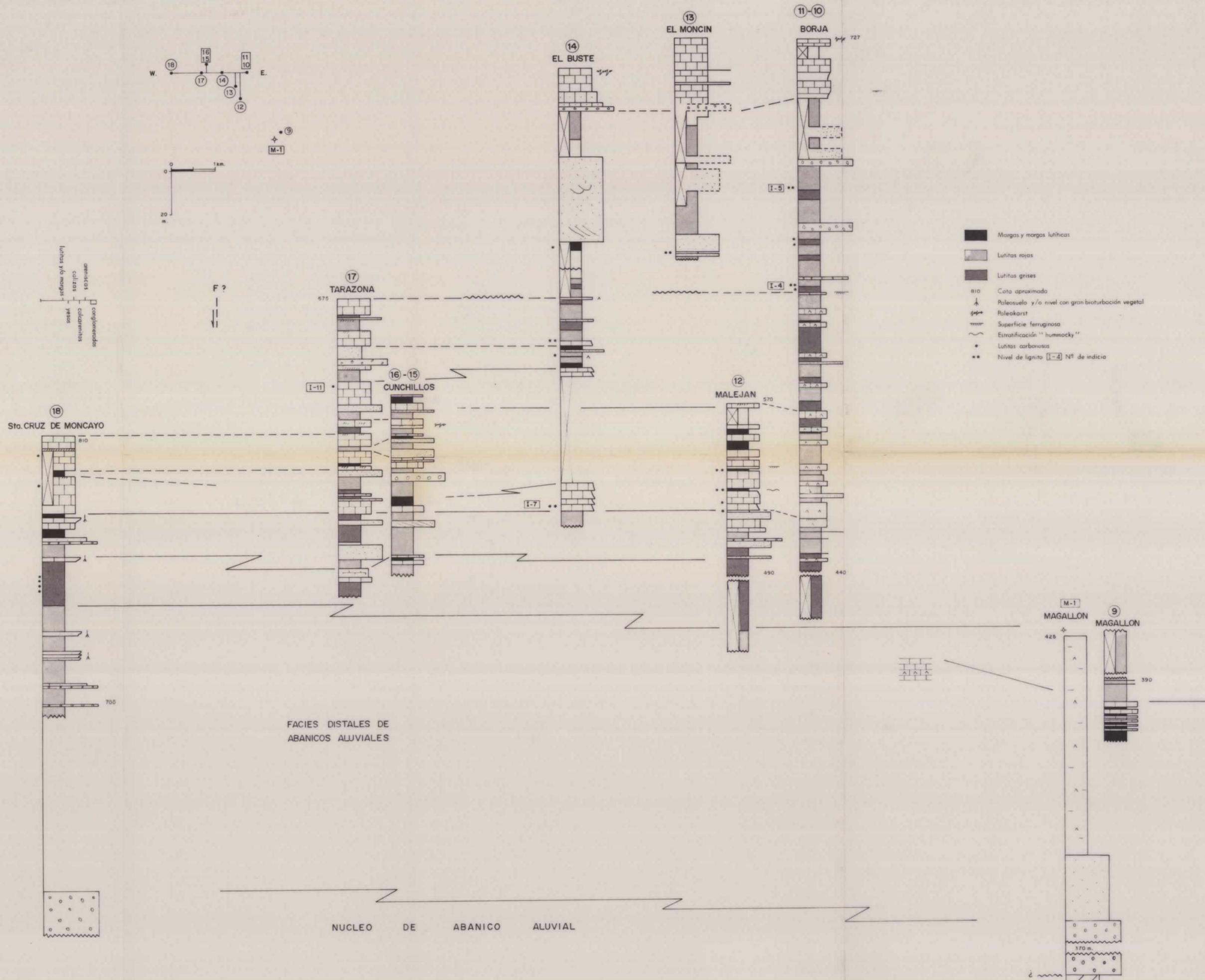


FIGURA 8.- PANEL DE CORRELACION DE LAS COLUMNAS ESTRATIGRAFICAS SINTETICAS DEL SECTOR BORJA - TARAZONA

DISEÑADO J. G. Gonzalez FECHA Diciembre - 1985 COMPROBADO A. Maymo AUTOR L. Ardevol ESCALA: H/1/50000 V/1/1000 COMBUSTOR inypsa	MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA PROYECTO EXPLORACION PREVIA DE LIGNITOS EN EL EBRO CENTRAL PANEL DE CORRELACION DEL SECTOR BORJA - TARAZONA	CLAVE 8
--	--	------------

TRAZAS DE CARBON EN EL PALEOZOICO A 3200m. DE PROFUNDIDAD TOTAL

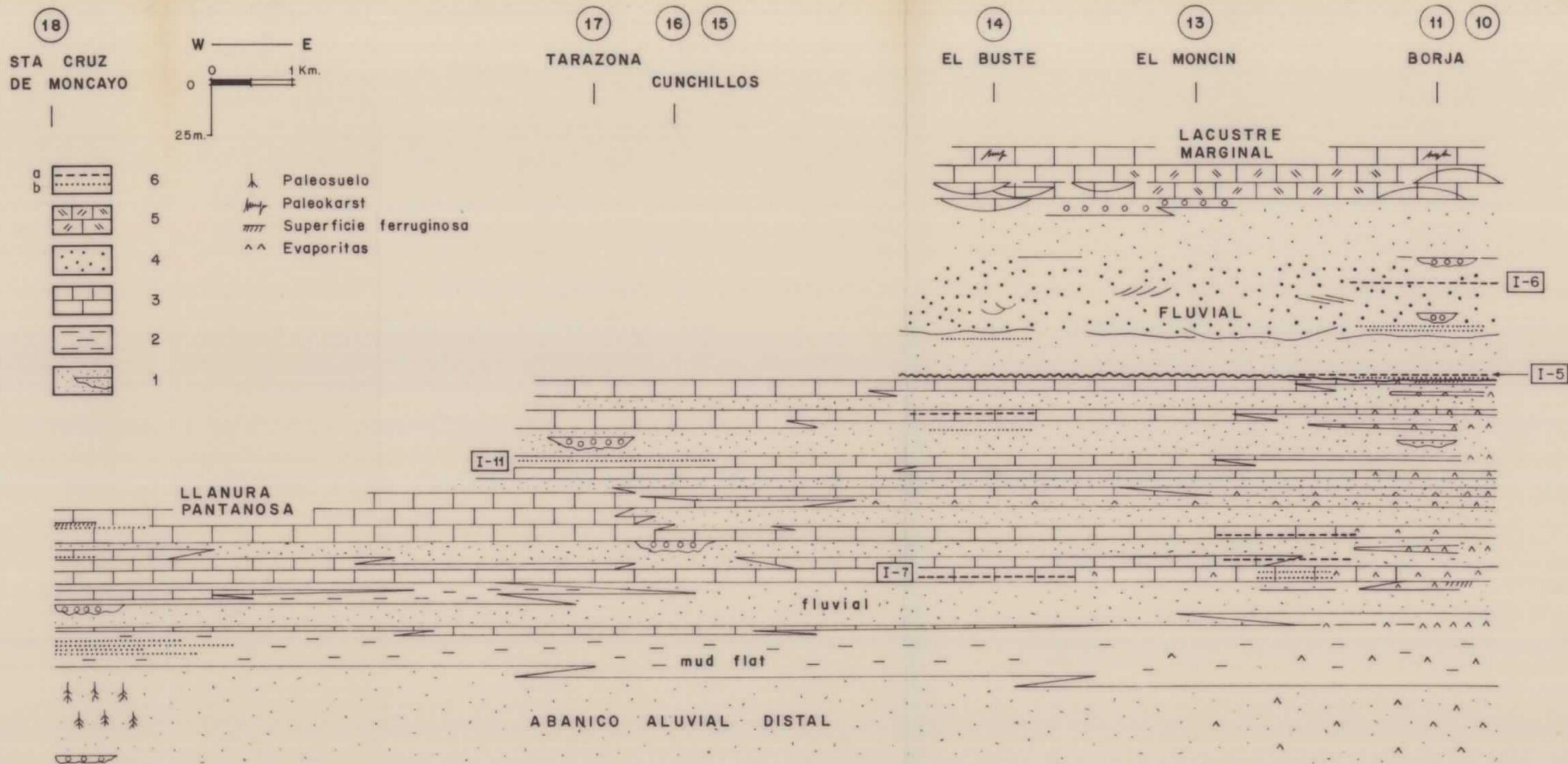


FIGURA 9 .- SECCION ESTRATIGRAFICA Y RELACION DE FACIES DEL SECTOR BORJA-TARAZONA. Paleocorrientes procedentes del S y SW

1. Lutitas arenosas rojas (a veces grises) con canales aislados conglomeráticos o arenosos
2. Lutitas y margas arenosas grises
3. Calizas y margas formando secuencias de colmatación de ambientes palustres
4. Areniscas lutíticas masivas con estratificación cruzada
5. Calizas travertínicas y oncolíticas
6. a) Lutitas carbonosas b) Nivel de lignito I-7 Nº de indicio

DIBUJADO M. Díaz	MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA	
FECHA DICIEMBRE - 1980	INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA	
COMPROBADO A. Maymo	PROYECTO EXPLORACION PREVIA DE LIGNITOS EN EL EBRO CENTRAL	CLAVE
AUTOR L. Ardevol	SECCION ESTRATIGRAFICA Y RELACION DE FACIES DEL SECTOR BORJA-TARAZONA	PLANO Nº
ESCALA H 1/20000 V 1/2000		9
CONSEJADOR inypsa		

### **3.2.2.1.- Unidad de facies aluviales**

#### **Descripción**

La unidad basal está constituida esencialmente, de forma similar a la que se observa en el sector de La Muela, por lutitas arenosas rojas con esporádicos canales de conglomerados y niveles de areniscas canaliformes o laminares.

Esta unidad muestra una evolución vertical positiva, gradando desde facies conglomeráticas masivas, de núcleo de abanico aluvial, a facies mucho más distales de franja de abanico.

En dirección distal (hacia el centro de la cuenca), estas facies lutíticas incluyen frecuentes niveles yesíferos.

#### **Interpretación**

La unidad representa un sistema de abanicos aluviales de procedencia ibérica, que sufren una retrogradación brusca hacia la parte superior.

### **3.2.2.2.- Unidad de facies palustres**

#### **Descripción**

Esta integrada por tramos de orden métrico, constituidos por calizas y margas grises con niveles carbonosos, que incluyen abundantes fragmentos de Gasterópodos, alternando con tramos lutíticos rojos, que pueden presentar canales arenosos, también de orden métrico.

Esta unidad presenta marcados cambios laterales de facies, esencialmente en función de la mayor o menor actividad aluvial.

Las calizas son predominantemente micríticas (de tipo "mudstone"- "wackstone") y tienen estratificación media y media-gruesa formando cuerpos de geometría lenticular, con bases de tendencia plana y techos convexos, del orden de 2 a 3 m. de espesor por varios metros de desarrollo lateral. Son frecuentes asimismo las superficies erosivas.

Estas facies carbonatadas muestran toda una gran variedad de huellas que indican una diagenización temprana : marcas de emersión (grietas de desecación), huellas de raíces, brechificación, pseudomicrokarst, etc.

Una característica secuencia elemental que presentan este tipo de facies se representa en la Fig. 10.

### **Interpretación**

Las secuencias de este tipo de ambiente muestran una gran variedad de facies carbonatadas con diagénesis temprana. Este hecho registra frecuentes oscilaciones del nivel del agua, características de medios palustres (FREYDET & PLAZIAT, 1.982 y FREYDET, 1.984). Tal interpretación coincide con la señalada por PEREZ y MUÑOZ (1.985). Concretando más, tales asociaciones de facies pueden representar un ambiente de llanura pantanosa carbonatada ("carbonate swamp"). Las geometrías lenticulares son el resultado de "mounds" carbonatados de pequeña escala, cuya forma final está afectada también por la acción de corrientes erosivas. Las secuencias pueden llegar a homogeneizarse por acción de esta alteración pedogenética.

Este medio palustre estaría sometido a soterramiento periódico, debido a la actividad de los abanicos aluviales próximos, aunque en sus momentos de máxima expansión probablemente alcanzaría la Cordillera Ibérica. **Este contexto sedimentario con subsidencia, desarrollo de ambientes palustres y sedimentación aluvial, es favorable a la formación de lignito.**

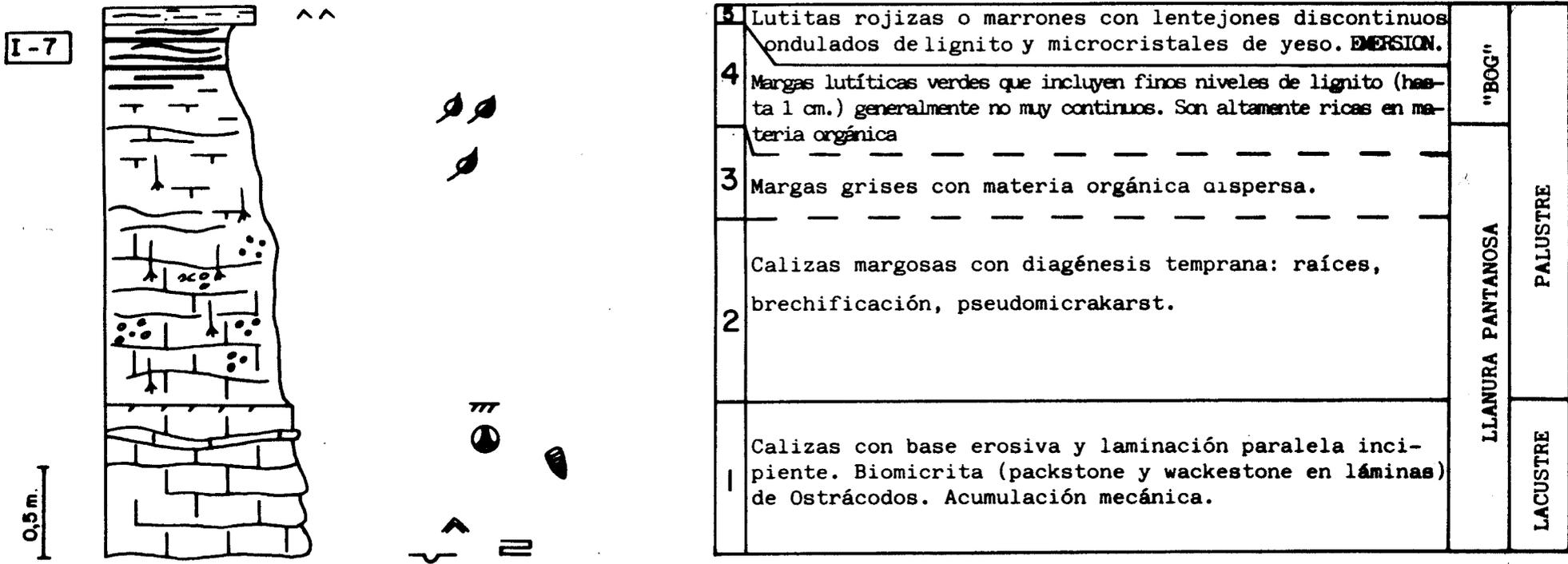


FIGURA 10.- Secuencia de colmatación de llanuras pantanosas carbonatadas de ambientes palustres. Columna El Buste, Unidad de facies palustres.

La evolución lateral puede apreciarse en el esquema de la Fig. 9, donde se refleja además, el paso en dirección E. de las facies carbonatadas a facies marginales aluviales con yesos.

El gráfico muestra un perfil W.-E., pero es válido también en sentido N.-S., ya que las paleocorrientes del sistema provienen del S. y del SW., es decir, el sistema evoluciona distalmente hacia el E. y N.

### **Lignito y niveles carbonosos**

Los niveles de lignito presentan escasa continuidad lateral (aunque no ha podido ser cuantificada) y pasan gradualmente a numerosos niveles lutíticos carbonosos y con potencias que oscilan entre unos pocos cms. y 0,5 m. El indicio I-11, corresponde a este último tipo de materiales.

Estas facies lignitíferas autóctonas pueden ser consideradas de "swamp" s.l. El lector encontrará el resultado del análisis científico del indicio I-7 en el ANEXO III.

### **3.2.2.3.- Unidad de facies fluviales**

Esta unidad, que alcanza una potencia de 60 a 80 m., aparece encima de la unidad anterior, aunque el contacto entre ambas nunca ha podido ser observado y en general, aparece cubierta.

### **Descripción**

Consta esencialmente de lutitas rojas masivas, a veces grises y de areniscas lutíticas de grano muy fino y fino, con estratificación cruzada generalmente de tipo "festoon" y de escala variable de media a grande. Estas areniscas se presentan en cuerpos masivos intercalados entre las lutitas con potencias de hasta 50 m. Son frecuentes las superficies erosivas, a veces

marcadas por la presencia de cantos blandos alineados y contienen una gran cantidad de fauna de Gasterópodos y Mamíferos.

Localmente se incluyen canales de conglomerados con cantos de tamaño "cobble", con potencias de hasta 5 m. y continuidad lateral reducida (de orden decamétrico).

Existen algunos indicios de lignito y de lutitas carbonosas, aunque de muy escaso desarrollo y de continuidad lateral escasa (I-5 e I-6).

Una característica secuencia elemental es la que se representa en la Fig. 11.

### **Interpretación**

Esta unidad representa una ruptura sedimentaria con la aparición generalizada de depósitos terrígenos sobre una cuenca que era esencialmente de tipo palustre.

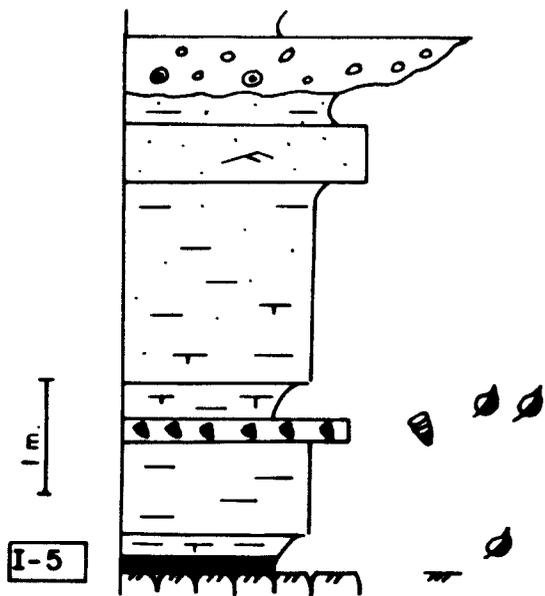
Las estructuras sedimentarias y las características de este tipo de facies, apuntan un medio de carácter mucho más fluvial que en el caso de los terrígenos de la unidad inferior, probablemente en régimen "braided".

#### **3.2.2.4.- Unidad de facies lacustres cerradas**

Constituye la unidad más superior de todo el área y da lugar a lo que morfológicamente se denomina como "La Muela de Borja". Su potencia es de unos 40 m., como máximo.

### **Descripción**

La parte basal presenta localmente canales de brechas de tamaño "cobble" y cuerpos de morfología canaliforme de calcarenitas, de dimensiones decamétricas.



6	Canal	SECUENCIA DE PROGRADACION ALUVIAL
5	Facies de margen de canal/desbordamiento	
4	Lutitas arenosas masivas rojas o marrones de desbordamiento	
3	Lutitas margosas grises y nivel de Gasterópodos	
2	Lutitas rojas y grises	CHARCA RESTRINGIDA "BOG"
1	Lutitas grises con materia orgánica dispersa y un nivel con lignito basal	

FIGURA 11.- Secuencia de colmatación de charcas restringidas de ambientes fluviales.  
Columna Borja II, Unidad de facies fluviales.

Las calizas son masivas, travertínicas, aunque también aparecen estratificadas con estratificación gruesa (alternando con margas) y fuerte bioturbación vegetal.

Hacia la parte superior se desarrollan calizas oncolíticas masivas.

Morfológicamente denotan cuerpos lenticulares del orden de unos pocos metros de espesor, por unas decenas de metros de continuidad lateral.

No se han reconocido indicios de lignito en este tipo de facies.

### **Interpretación**

Las asociaciones de facies son de ambientes palustres o lacustres restringidos o cerrados, con alta concentración de carbonato cálcico en el agua (depósitos químicos de caliza).

#### **3.2.3.- Región intermedia entre los sectores de La Muela y Borja y su correlación**

La región comprendida entre el Sector de La Muela y el Sector de Borja (Fig. 1) es preferentemente llana, con cotas no superiores a los 600 m. y en superficie, está ocupada mayoritariamente por depósitos terrígenos finos y rojos que localmente incluyen evaporitas, pertenecientes a la unidad inferior de las secciones estratigráficas de ambos sectores, es decir, a la unidad de facies aluviales distales/"playa-lake" (Fig. 4 y 9).

Las elevaciones o muelas propiamente dichas (y algunos relieves, como al W. de Rueda de Jalón) son las que están formadas por las unidades esencialmente calcáreas. Sin embargo, se desprende de las observaciones de campo y del análisis de los numerosos sondeos efectuados en esa llanura intermedia, la existencia de otras varias litofacies calcáreas o carbonatadas de

origen palustre-lacustre. Este hecho puede ser de extremo interés ya que, como se verá seguidamente, no son raros los indicios carbonosos en tales litofacies.

### **Análisis de los sondeos**

Se han consultado mas de treinta sondeos, lo que supone, en la práctica, la casi totalidad de los efectuados para la captación de aguas subterráneas, así como dos mas de investigación, también con fines hidrogeológicos (Z-18 y Z-19) y uno antiguo de prospección petrolífera (MAGALLON-1).

- a) El sondeo Magallón, efectuado en el año 1.963 por la compañía ENPENSA, alcanza una profundidad de casi 3.500 m. de los que 2.500 pertenecen al Terciario, bajo el cuál aparece directamente el Aptiense. Es improbable que el zócalo de la Depresión del Ebro se encuentre a esa profundidad, ya que en áreas cercanas se sitúa a unas pocas decenas de metros constituido por el Jurásico. De todas formas, su información de los primeros 500 m. (véase la Fig. 8) se reduce a:
  - De 0 a 103 m.: Yeso con intercalaciones de arcilla
  - De 103 a 132 m.: Areniscas finas
  - De 132 a 500 m.: Conglomerados
  
- b) Los sondeos de prospección de aguas suelen estar comprendidos entre los 50 y 200 m. de profundidad y excepcionalmente alcanzan los 275 m. El sistema acuífero es denominado Mesozoico Ibérico de la Depresión del Ebro, de forma que la mayoría de los sondeos llegan o atraviesan el basamento, formado por las calizas micríticas y margas del Jurásico.

La descripción litológica de estos sondeos no es en absoluto fiable. Suelen citar una escueta columna que, en ocasiones, lleva aparejada varios

metros con el término "sin muestras". No precisan tampoco la edad de los materiales perforados, pero es de suponer que al entrar en potentes tramos de materiales calcáreos micríticos con intercalaciones margosas estén cortando ya el zócalo jurásico.

Fundamentalmente estos sondeos aparecen agrupados en cuatro zonas: dos orientales (La Almunia de Dña Godina y Epila) y dos occidentales (Fuendejalón y Borja). Particularmente interesantes se presentan las zonas de Fuendejalón y Borja, puesto que en la serie terciaria, de espesor variable pero que probablemente no sobrepase en mucho los 200 m. , se citan habitualmente materiales margosos-calcáreos grises o negros. Como ejemplo, véanse las columnas de dos sondeos, que, con las debidas reservas, se consideran de interés. Su localización viene indicada en el mapa de la Fig. 1.

		<b>Coordenadas</b>	<b>Cota</b>
Nº 2514-40038		x: 779.550 y: 796.675	556 m.
0-15	Arcillas rojas		
15-160	Calizas y una piedra negra dura		
160-197	Conglomerados		
		<b>Coordenadas</b>	<b>Cota</b>
Nº 2514-40037		x: 779.400 y: 796.600	560 m.
0-140	Arcilla		
140-142	Conglomerados		
142-200	<u>Arcillas y margas grises y negras</u>		

- c) Los dos sondeos hidrogeológicos de investigación y explotación se consideran de extraordinario interés. Al contrario de los anteriores, la descripción de la columna litológica es bastante completa y se precisa la edad de los materiales atravesados. Se hallan situados entre Borja y Fuendejalón (Fig. 1) y sus columnas litológicas son las siguientes:

	<b>Coordenadas</b>	<b>Cota</b>
Sondeo Z-18 Nº 2514-40045	x: 778.400 y: 796.600	515 m.
De 0 a 14 m.:	Margas y arenas	
De 15 a 16 m.:	Gravas	
De 17 a 23 m.:	Limos y arenas	
De 24 a 27 m.:	<u>Margas arcillosas con abundante materia orgánica de color oscuro</u>	
De 28 a 31 m.:	<u>Arcillas margosas con abundante materia orgánica y contenidos de arenas gruesas a medias</u>	
De 32 a 50 m.:	<u>Lutitas margosas calcáreas con restos carbonosos y escasas arenas finas</u>	
De 51 a 60 m.:	Margas calcáreas grises claras	

	<b>Coordenadas</b>	<b>Cota</b>	<b>Profundidad total</b>
Sondeo Z-19 Nº 2514-40046	x: 776.930 y: 803.430	480 m.	476 m.

De 0 a 9 m.:	Arcillas rojas y gravas
De 9 a 20 m.:	Arcillas rojas
De 20 a 30 m.:	Arcillas marrones con gravas
De 30 a 36 m.:	Gravas y arcillas

De 36 a 54 m.:	Arcillas y escasas gravas	
De 55 a 116 m.:	Arcillas marrones y arenas	
De 117 a 118 m.:	<u>Gravas calizas y margas negras</u>	
De 119 a 148 m.:	Arcillas marrones con arenas	TERCIARIO
De 149 a 156 m.:	<u>Margas de color negro</u>	JURASICO

Es de destacar también la existencia de margas negras en el Jurásico, hecho ya citado por los autores de la Hoja nº 320 (Tarazona), 1ª serie ("margas y calizas pizanosas, a veces con restos carbonosos...")-

### **Observaciones de campo**

En los cortes de algunos barrancos ubicados en la región comprendida entre los sectores de La Muela y Borja, afloran materiales calcáreos que, sin la existencia de una cartografía detallada y de unos estudios más exhaustivos, no pueden ser relacionados con unidades calcáreas de ninguno de ambos sectores.

Por ejemplo, véase la columna de Magallón (Fig. 8), realizada al S. del pueblo en la margen del río Huecha. Desde el punto de vista de las facies estas calizas no guardan ninguna relación con los materiales calcáreos del Sector de Borja.

El indicio I-12, se encuentra en una profunda bodega del pueblo de Fuendejalón, a una cota aproximada de 460 m. Se trata de un nivel de lutitas muy carbonosas, que afloran muy mal, con una potencia mínima de 0,5 m. y aparentemente encajado en materiales margosos grises y amarillentos.

Por otra parte, es de constatar la existencia de fracturas normales que hundan el borde occidental de la plataforma de La Muela (PEREZ GARCIA, com. pers.), con lo que ésta puede ser la razón de la diferencia de cotas existente entre las columnas de La Muela N. o La Muela S. y Rueda (Fig. 3), quedando ésta última unos 150 m. más baja.

## Conclusiones

Tras la exposición que acaba de hacerse, se pone de manifiesto la presencia generalizada de materiales carbonatados terciarios entre los sedimentos terrígenos aluviales, materiales que pueden contener indicios carbonosos o de materia orgánica y que a su vez podrían servir de enlace entre los sectores de La Muela y Borja.

Hechas estas consideraciones, las posibilidades existentes para explicar el origen de estos materiales y por tanto, de correlación entre los sectores de La Muela y Borja (Fig. 18), se pueden sintetizar en los siguientes puntos:

- 1) Estos materiales pueden representar la continuación hacia el W. de la unidad calcárea lacustre de La Muela y haber sido hundidos en bloques por las fracturas normales anteriormente citadas. Aceptando esta posibilidad puede suponerse también la continuación en profundidad de los indicios carbonosos presentes en la unidad lacustre del Sector de La Muela. De hecho, como ya se ha adelantado, las calizas de la columna de Magallón (Fig. 8), que son interpretadas como depositadas en ambientes lacustres litorales o ligeramente abiertos, no pueden ser relacionadas con la unidad calcárea palustre del Sector Borja, pero sí podrían ser atribuidas a la unidad lacustre litoral del Sector de La Muela.

Esta atribución apoyaría la hipótesis planteada e indicaría la no existencia de correlación entre las unidades calcáreas de ambos sectores.

- 2) Existe también la posibilidad de que las facies palustres del Sector Borja, que evolucionan a facies marginales aluviales hacia el N. y E. (como se indicó en el capítulo anterior), se puedan seguir en dirección S. y SE. a lo largo de la parte meridional de la región comprendida entre ambos sectores tratados, con lo que, indicios como el de Fuendejalón y el del sondeo Z-18, podrían pertenecer a tal unidad.

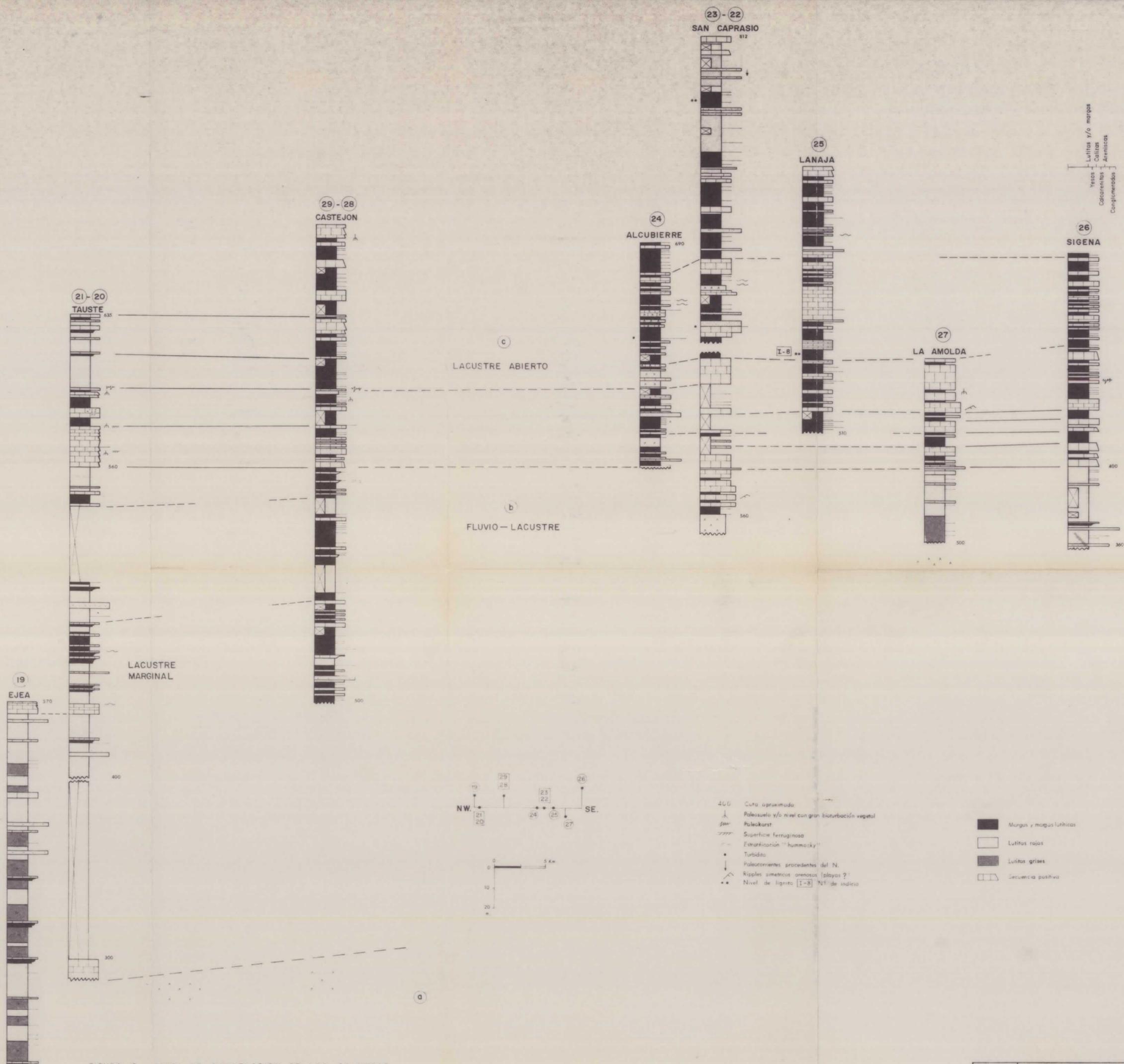
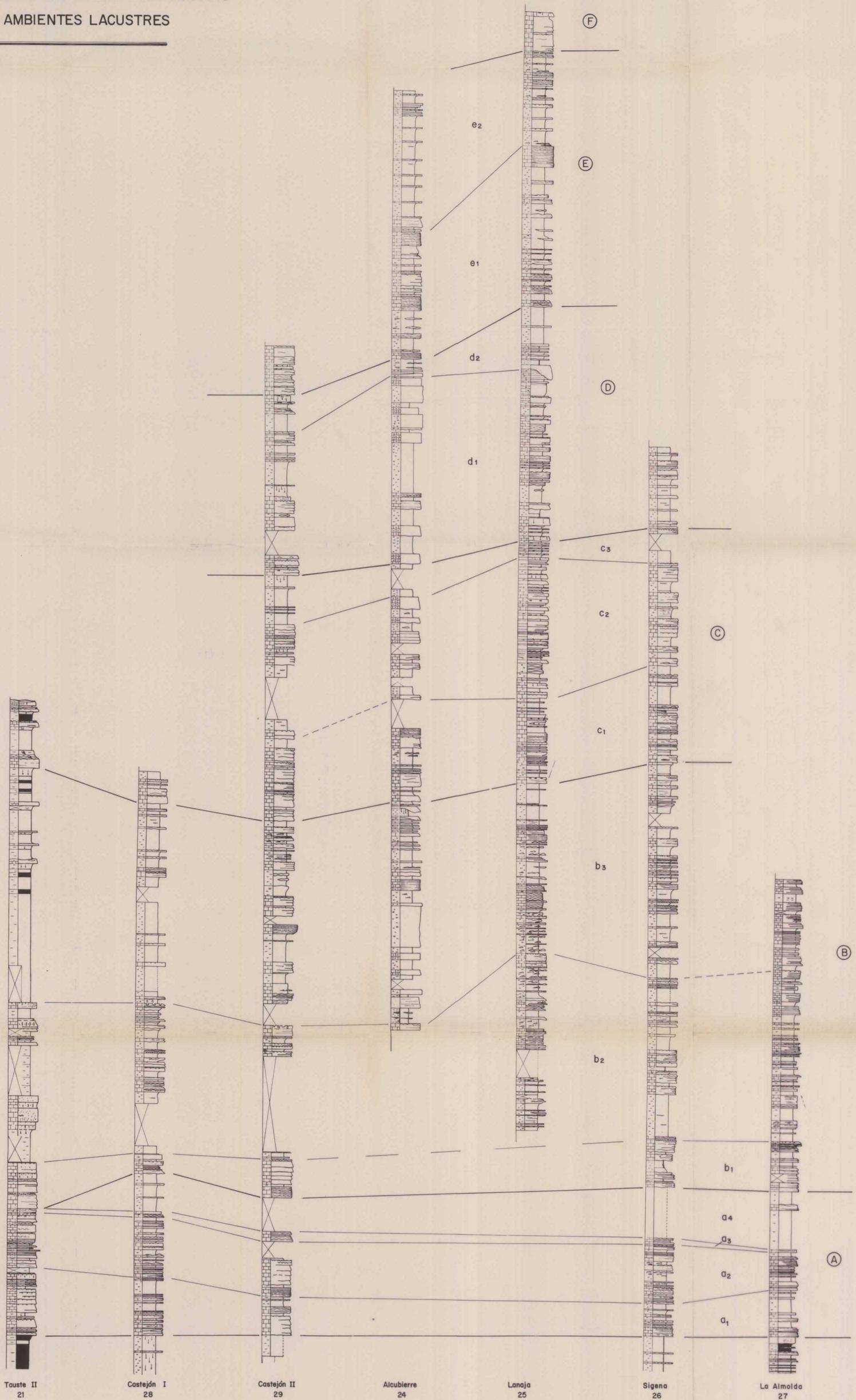


FIGURA 12.- PANEL DE CORRELACION DE LAS COLUMNAS  
 ESTRATIGRAFICAS SINTETICAS DE LAS AREAS SEPTENTRIONALES:  
 SIGENA- ALCUBIERRE Y CASTEJON- LAS BARDENAS  
 (SECTOR DE ALCUBIERRE)

ELABORADO J. O. González	MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA	
FECHA DICIEMBRE - 1988	INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA	
COMPROBADO A. Maymo		
AUTOR L. Ardevol	PROYECTO EXPLORACION PREVIA DE LIGNITOS EN EL EBRO CENTRAL	CLAVE
ENCALAJE 1/200000 1/21000		
CONTRATOR inypsa	CORRELACION DE LAS AREAS SEPTENTRIONALES SIGENA-ALCUBIERRE Y CASTEJON-LAS BARDENAS	PLANO Nº 12

CORRELACION DE CICLOS Y SECUENCIAS  
EN AMBIENTES LACUSTRES



Tauste II  
21

Castejón I  
28

Castejón II  
29

Alcubierre  
24

Lanaja  
25

Sigena  
26

La Almolda  
27

DIBUJADO J. G. González	MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA	
FECHA DICIEMBRE - 1985	INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA	
COMPROBADO A. Maymo		
AUTOR J. G. Lastre	PROYECTO EXPLORACION PREVIA DE LIGNITOS EN EL EBRO CENTRAL	CLAVE
J. Palacios		
ESCALA V: 1/500		
H: sin escala		
CONSULTOR invasa	CORRELACION ENTRE LAS AREAS SEPTENTRIONALES	PLANO Nº
INDUSTRIAL S.A.	SIGENA - ALCUBIRRE Y CASTEJON	13

- 3) Finalmente, cabe considerar la posibilidad de que los materiales calcáreos en cuestión, no guarden relación con ninguna de las unidades calcáreas de los dos sectores, es decir, que sean estratigráficamente inferiores y estén englobados en la unidad de facies aluviales distales representando la sedimentación en ambientes palustres restringidos.

Podría suponerse en este caso que las unidades calcáreas, de ambos sectores fueran equivalentes en el tiempo pero sin continuidad física entre ellas.

#### **3.2.4.- Sector de Alcubierre**

Este amplio sector se sitúa en la zona central de la Cuenca del Ebro y en él se integran las sierras de Sigena y Alcubierre, Montes de Castejón y terminación oriental de las Bardenas (Fig. 1). La sección sedimentaria estudiada, esencialmente carbonatada, sobrepasa los 300 m. de potencia y cubre una superficie de 2.053 Km<sup>2</sup>.

Se han establecido dos grandes unidades sedimentarias que se suceden en vertical (Fig. 12 y 13). En líneas generales descansan sobre los yesos de la Fm. Zaragoza y de inferior a superior son las siguientes:

##### **3.2.4.1.- Unidad de facies fluvio-lacustres**

Esta unidad basal, alcanza un desarrollo vertical mínimo de 200 m. en Las Bardenas, ya que su base, no observada, se situaría aproximadamente sobre la cota 300, donde los sondeos entran en materiales evaporíticos.

En dirección oriental su espesor se reduce considerablemente y localmente puede pasar a facies terrígenas rojas con evaporitas.

Se hallan representados en esta unidad dos tipos principales de asociaciones de facies lateralmente interdigitadas, en función de un mayor o menor predominio de facies lacustres.

## Descripción

1) Facies fluviales con intercalaciones palustre-lacustres (secciones de Las Bardenas y Sigena)

La descripción procede esencialmente de las columnas de Ejea de los Caballeros y Tauste I. Esta asociación está formada por tramos terrígenos rojos entre 10 y 20 m. de potencia por término medio, que alternan con niveles calcáreos-margosos, generalmente comprendidos entre 0,5 y 2 m., pero que en casos extremos llegan a alcanzar 15 m.

Los tramos terrígenos están formados por lutitas arenosas rojas masivas, que incluyen esporádicamente canales de areniscas menores de 1 m. y de escasa continuidad o facies de desbordamiento y "levées".

Las calizas son de tipo "mudstone"- "wackstone", con estratificación media y gruesa, tabulares y de extraordinaria continuidad lateral (kilométrica). Contienen Ostrácodos y Gasterópodos y pueden mostrar señales de bioturbación.

La secuencia elemental simple característica, se representa en la Fig. 14. Normalmente las secuencias son complejas, insinuando una tendencia macrosecuencial simétrica.

La ordenación secuencial es el reflejo de la progradación de un lago sobre las facies fluviales distales marginales, que se traduce en una inundación con desarrollo de suelos hidromorfos (ambiente palustre o lacustre-somero). Estos lagos, por regla general, son de vida efímera y con relativa rapidez vuelven a restablecerse los ambientes fluviales.

Pueden ser considerados de ambientes lacustres abiertos dos tramos eminentemente calcáreos, de unos 10 m. de potencia, para los que es válida la descripción del capítulo siguiente.

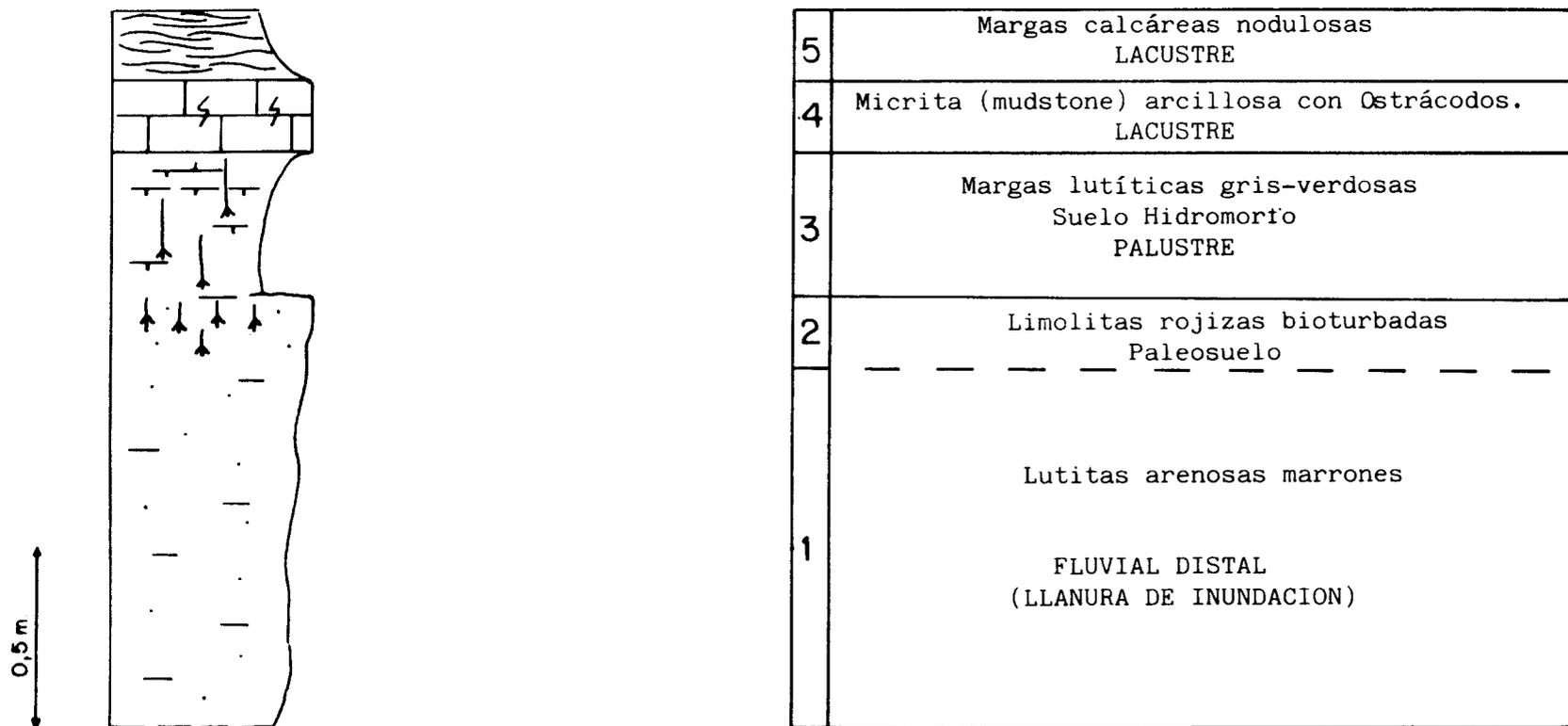


FIGURA 14.- Secuencia elemental de instalación de lagos efímeros de la llanura de inundación fluvial.  
Columna Ejea, Unidad de facies fluvio-lacustres.

El análisis megasecuencial es variable. No existe una evolución generalizada, no obstante, hacia el techo, parece existir una tendencia hacia el aumento de las condiciones lacustres.

2) Facies lacustres someras con intercalaciones fluviales (sección de Castejón)

Estas asociaciones de facies están constituidas por tramos de orden métrico, formados por calizas y margas, entre los que, de manera un tanto irregular, se intercalan tramos terrígenos variables en espesor, integrados por lutitas rojizas que pueden incluir esporádicas areniscas de grano fino.

Las calizas presentan estratificación fina y media con gran continuidad lateral. Fundamentalmente estas capas son de tipo "mudstone"- "wackstone" y frecuentemente muestran "ripples" de corriente y de oscilación. No son raras las estructuras pedogenéticas, (entre las que destacan las perforaciones por raíces), sinéresis y costras ferruginosas. Las margas pueden presentar, asimismo, signos de bioturbación vegetal. La Fig. 15, representa una característica secuencia de colmatación para este tipo de facies.

Estas secuencias de colmatación, reflejan oscilaciones del nivel del agua no relacionadas con su desarrollo. Este tipo de sedimentación tiene lugar en ambientes lacustres someros relativamente marginales como se desprende de la esporádica intercalación de facies fluviales. El análisis megasecuencial responde a una progresiva colmatación del área lacustre, es decir, una megasecuencia negativa.

### **Interpretación**

Esta unidad sedimentaria refleja una cuenca mixta, fluvial y lacustre, con frecuentes interacciones entre ambos sistemas. Localmente y en áreas restringidas, la sedimentación puede haber sido esencialmente evaporítica.

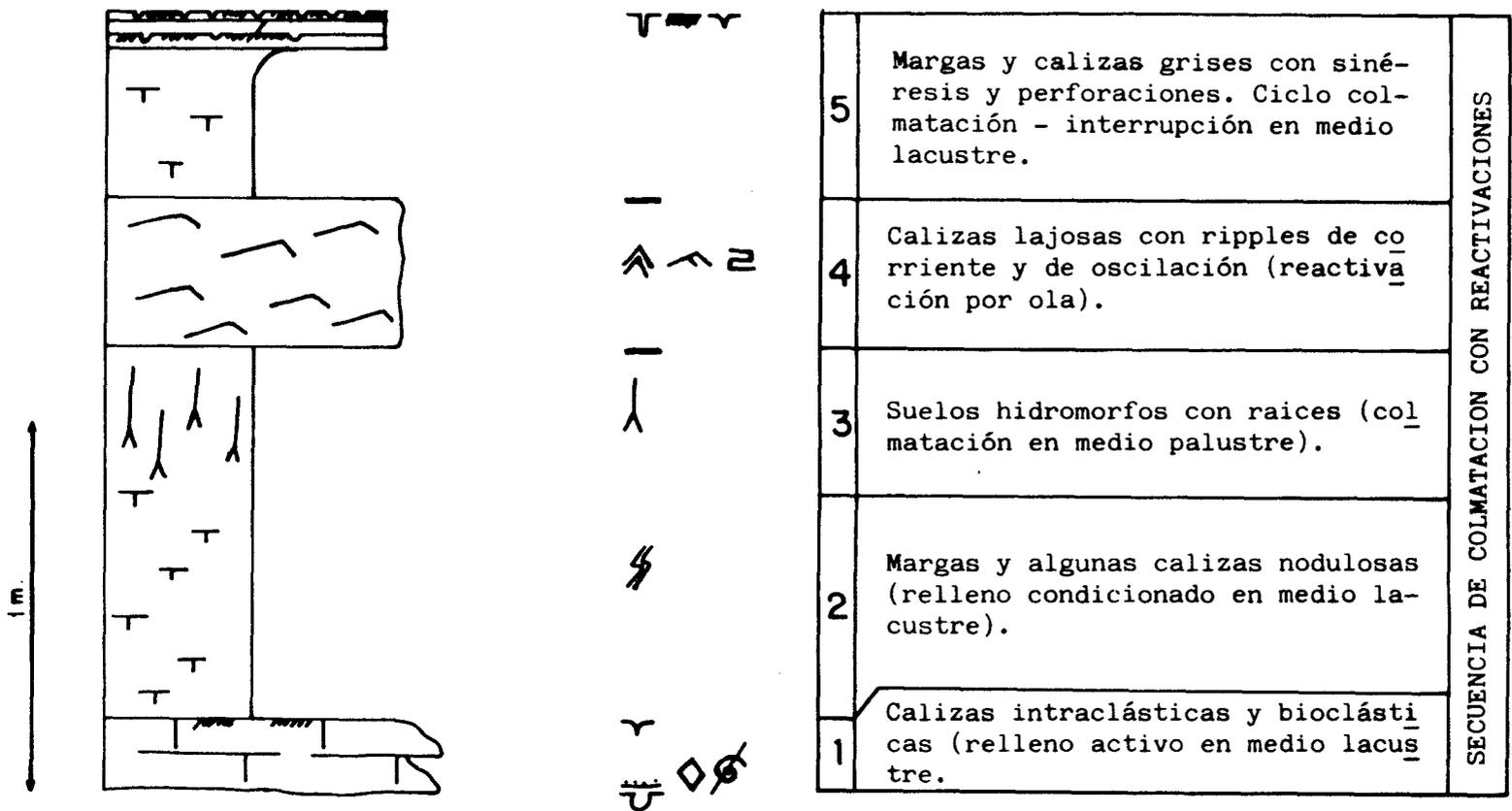


FIGURA 15.- Secuencia de colmatación de ambientes lacustres con oscilación del nivel del agua no relacionados con su desarrollo.  
Columna Castejón II, Unidad de facies fluvio-lacustres.

### **Lignito y niveles carbonosos**

No ha sido reconocido ningún indicio en esta unidad. Desde el punto de vista ambiental, las condiciones no serían en absoluto desfavorables, teniendo en cuenta que se trata de un medio transicional fluvio-lacustre. Ahora bien, es lógico dado que hay que tener en cuenta dos factores importantes:

- a) No existe desarrollo de áreas deltaicas
- b) Probablemente no ha habido formación de lignito en relación con los sistemas fluviales de procedencia septentrional

#### **3.2.4.2.- Unidad de facies lacustres abiertas ("open lacustrine facies")**

El contacto neto de esta unidad terminal sobre todas las formaciones subyacentes es un rasgo geomorfológico características de todas las sierras. La potencia máxima preservada sobrepasa en algo los 200 m., mientras que lateralmente supera con mucho toda la longitud de la región estudiada. Constituye un evento claramente expansivo.

### **Descripción**

Está formada por tramos esencialmente calcáreos, que son dominantes, alternando con tramos margosos que incluyen esporádicamente calizas finas y medias, más importantes hacia la parte superior. Ambos son de potencia métrica y de una continuidad lateral extraordinaria.

Los niveles terrígenos, constituidos por lutitas rojas y/o areniscas de grano fino, son escasos, poco potentes y discontinuos.

Las calizas son de tipo "mudstone"- "wackstone"- "packstone", con estratificación fina, media y gruesa (excepcionalmente muy gruesa) y de gran continuidad lateral. Las estructuras sedimentarias más comunes son laminación paralela y "ripples" de oleaje, destacando, ocasionalmente, laminación de tipo "hummocky". La bioturbación vertical es incipiente y el techo de los tramos calcáreos suelo estar karstificado o tapizado por una superficie ferruginosa.



El análisis sedimentológico muestra que la serie total puede dividirse en seis ciclos de colmatación complejos, correlacionables entre las diferentes columnas realizadas (A a F en la Fig. 13), cada uno de los cuáles se subdivide en varios tramos formados a su vez por secuencias elementales.

### **Análisis secuencial y ciclicidad**

El estudio de campo ha permitido definir una serie de términos en función de las características litológicas y morfológicas de los estratos. Estos términos individuales se han asociado en fases, que forman a su vez secuencias elementales.

La secuencia tipo se representa en la Fig. 6, aunque se pueden presentar variaciones importantes al respecto.

En esta unidad la variación más frecuente es la aparición de secuencias incompletas, por ausencia de los términos de base o de los de techo. Otra variación corriente es la presencia de zonas con "ripples" de oscilación o laminación "hummocky".

A continuación se enumeran las diferentes fases y términos de una secuencia de colmatación, en su desarrollo de muro a techo (Fig. 6, 7 y 16).

<b>Fase</b>	<b>Términos</b>
- Relleno activo	Términos tractivos (base erosiva, gradación, laminación de relleno de surco, paralela o de "ripples") Calizas bioclásticas o intraclásticas bioturbadas Superficies de "scour and fill" Lignitos arrastrados

- Relleno condicionado
  - Calizas microfíticas nodulosas
  - Margas bioturbadas
  - Calizas lajosas con "ripples" de oscilación
  - Capas con laminación "hummocky"
  - "Slumps"
  - Acumulaciones de algas "in situ"
  
- Colmatación
  - Suelos hidromorfos
  - Calizas palustres
  - Calizas bioclásticas perforadas
  - Facies de "bogs"
  
- Interrupción
  - "Hard-grounds" y "firm-grounds"
  - Superficies con sinéresis
  - Caliches y karstificaciones
  - Emersiones
  - Facies fluviales (canales, desbordamientos, llanuras de inundación)

Cada secuencia de colmatación se produce por pérdida de efectividad de los mecanismos de distribución del sedimento que parten de las zonas de producción, generalmente lacustres marginales, donde se acumulan fundamentalmente fragmentos bioclásticos (de algas calcáreas en su mayoría) y en menor medida micritas de precipitación directa.

Inicialmente, en las zonas relativamente deprimidas se forman acumulaciones de sedimento durante las fases de relleno activo, en forma de "lóbulos" de forma muy aplanada y gran extensión lateral. La parte más alta de estos "lóbulos" deja de recibir directamente el material, con el que se pasa a la fase de relleno condicionado, transformándose entonces en zonas de producción, produciéndose retoques por ola o desarrollándose zonas palustres, en función de su profundidad y de su situación respecto a los bordes.

El final de la secuencia es la colmatación e interrupción por aplanamiento, que presentará características muy diferentes según la lámina de agua que permanezca por encima del sedimento.

Todas estas secuencias se agrupan a su vez en ciclos (Fig. 13) que son también de colmatación, pasándose, de niveles en que la secuencia está formada fundamentalmente por relleno activo con poco desarrollo de la fase de colmatación e interrupción, a otros en que la secuencia se hace incompleta por ausencia de la fase de relleno. En resumen, cada ciclo reproduce a gran escala la misma sucesión de acontecimientos que se producen en una secuencia y mientras en ésta se pasa de las fases de relleno a las de colmatación e interrupción, dentro de cada ciclo se pasa de secuencias con predominio del relleno, a otras con predominio de la colmatación.

Cada secuencia y paralelamente cada ciclo, se produce con disminución de la intensidad de sedimentación (véase el esquema de la Fig. 16), pasándose de fases activas en la base, a fases estables en el techo.

La aplicación de esta metodología permite definir, en cada columna estudiada, los sucesivos ciclos de relleno, que después van a ser correlacionables, a pesar de las posibles variaciones litológicas, en muchos casos derivadas de accidentes de carácter local (entrada de materiales terrígenos en las zonas más marginales, aparición de facies fluviales, retoque por "ripples" de ola únicamente en los puntos de profundidad adecuada, emersiones locales, etc.).

Como resultado, se obtiene un instrumento de correlación de alta precisión, basado en el análisis de ciclos de espesores prácticamente constantes (panel de la Fig. 13). En el caso de secuencias con predominio del relleno en condiciones de lago abierto con relativa profundidad, la correlación puede incluso realizarse en base a secuencias. Este es el caso por ejemplo de la correlación de los tramos "a<sub>1</sub>" y "a<sub>2</sub>" (dos secuencias completas), o del tramo "c<sub>1</sub>", formado en todas las secciones estudiadas por cinco secuencias de colmatación. Por el contrario, en condiciones más someras y en la parte alta de los ciclos, la correlación no puede hacerse con esta precisión, debido a la existencia de

cambios laterales de mayor importancia, que dependen de la profundidad en cada punto.

### Descripción de ciclos (Fig. 13)

#### Ciclo A

El ciclo A representa la instalación de las condiciones lacustres abiertas. Su espesor oscila entre 17 y 19 m. Se subdivide en cuatro tramos:

- a<sub>1</sub> (Fig 16). Secuencias de colmatación completas, con base neta o erosiva. Capas amalgamadas tractivas en la base, que presentan a techo interrupciones y perforaciones, en general con aumento del porcentaje de margas.

En ocasiones presentan "ripples" de oscilación, siendo en este caso su espesor sensiblemente menor (4 m. frente a 6-7 de media).

- a<sub>2</sub>. Secuencia de colmatación similar a la anterior aunque de espesor más constante (6-7 m). Tiene en general retoques de "ripples" de oscilación y en ocasiones entradas locales de arena.
- a<sub>3</sub>. Capa de tormenta que incluye intraclastos, oncolitos, fragmentos de grietas de desecación, etc., con laminación "hummocky" y "ripples" de ola. En ocasiones hay además laminación paralela de alto régimen de flujo.
- a<sub>4</sub>. Tramo margoso con escasez de capas calcáreas perforadas e interrumpidas. Fin de ciclo en condiciones de baja intensidad de sedimentación.

#### Ciclo B

El ciclo B, se deposita en condiciones lacustres abiertas aunque de características mucho más someras. De esta forma se producen entradas

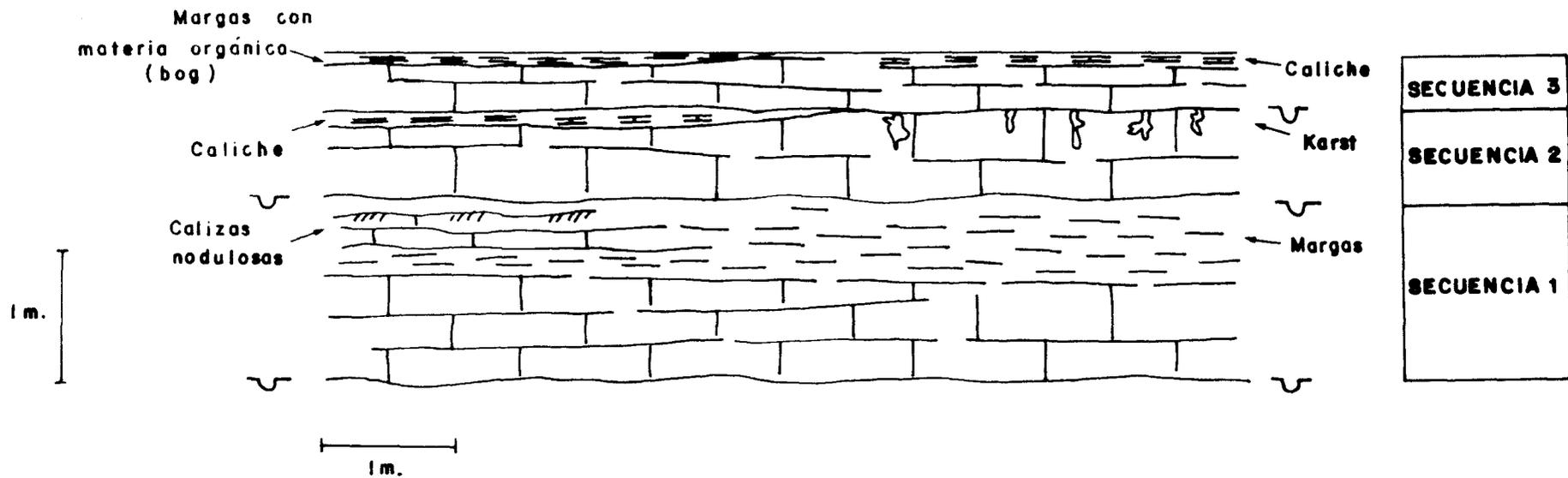
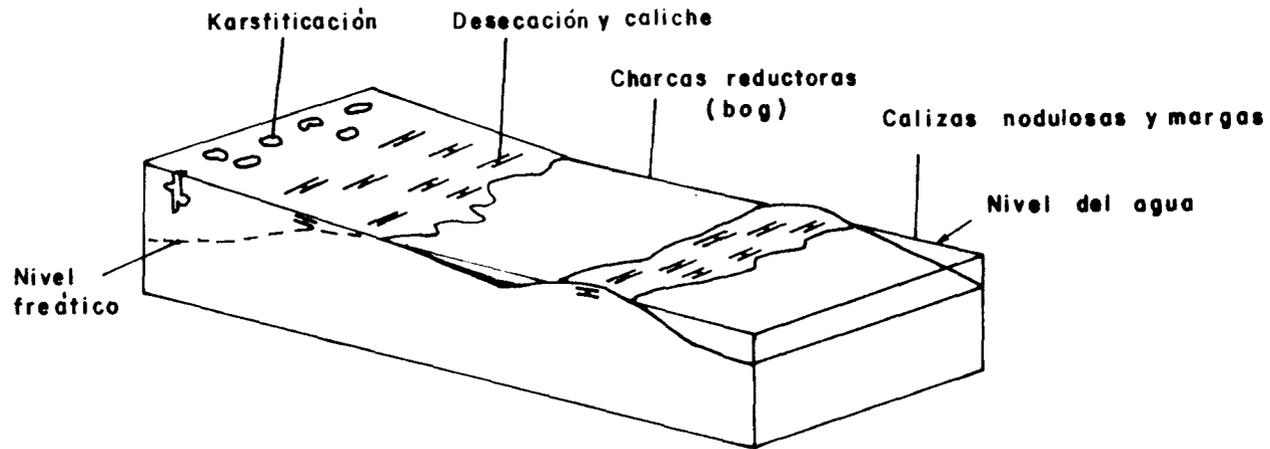


FIGURA 17.- Macrosecuencia de colmatación de ambientes lacustres abiertos someros. Reconstrucción hipotética de los distintos ambientes en función de la situación del nivel del lago y del nivel freático. Columna Castejón II, tramo b<sub>2</sub> del ciclo B.

fluviales relativamente frecuentes, emersiones con caliches y karstificaciones, desarrollo de arcillas carbonosas en "bogs" aislados, e incluso el único indicio de lignito de toda la zona (I-8). Se ha subdividido en tres tramos, con un espesor total de 44 a 50 m.

- b<sub>1</sub>. Secuencias de colmatación completas muy someras, terminando en zonas retocadas por olas, o emersiones con desarrollo de caliches y de secuencias fluviales de desbordamiento y llanura aluvial.
- b<sub>2</sub> (Fi. 17). Secuencias de colmatación incompletas, con desarrollo de los términos altos (interrupciones, sinéresis, perforaciones) con emersiones ocasionales (karstificación, caliches). Localmente (Lanaja, La Almolda, San Caprasio), aparecen facies de "playa-lake" con redistribución por olas y corrientes de las calizas y de arenas de origen fluvial. El tramo termina en general en una interrupción muy importante con karstificación.
- b<sub>3</sub>. Secuencias de baja intensidad de sedimentación (margas y calizas perforadas). Tramo muy variable lateralmente, aunque casi siempre con carácter somero (llanura de inundación fluvial distal con lagos efímeros en Tauste, lago somero con retoque de ola en Castejón, La Almolda y Sigena, sistemas de "playa-lake" en Lanaja). A techo, aumenta la concentración en materia orgánica, pudiendo aparecer incluso "bogs" efímeros y lignitos arrastrados (indicio I-8 en Lanaja).

### Ciclo C

Nuevamente se vuelve en este ciclo a condiciones lacustres abiertas, relativamente profundas. El espesor total del ciclo oscila entre 27 y 29 metros. Se ha dividido en tres tramos:

- c<sub>1</sub>. Está formado por secuencias de colmatación completas similares a las del tramo a<sub>1</sub>, con predominio de términos tractivos en la base y de términos de interrupción hacia el techo. Hay siempre retoque por ola y concentración de materia orgánica, tanto en la matriz microfítico-arcillosa, como en forma de fragmentos de lignitos arrastrados (sección de Lanaja).

- c2. Representa una reactivación del sistema, formándose nuevamente un ciclo de colmatación de características muy similares al anterior, aunque en este caso, los "ripples" de oscilación aparecen únicamente cerca de la base, en los términos con predominio de la tracción de fondo.
- c3. El tramo es un final de ciclo, margoso, con escasas capas calcáreas, que presentan interrupciones en la sedimentación y perforaciones. En Castejón se llega a condiciones palustres (desarrollo de suelos hidromorfos).

#### Ciclo D

Es un nuevo ciclo de colmatación completo en el que, a techo, termina la sedimentación lacustre por emersión. El ciclo tiene siempre carácter somero, con presencia de "ripples" de ola, suelos hidromorfos, etc. El espesor total, varía, en función del desarrollo del último tramo, entre 23 y 28 metros.

- d1. Es un característico ciclo de colmatación, en el que se pasa de facies tractivas en la base, a secuencias con predominio de las interrupciones a techo. Hay frecuentes "ripples" de oscilación, perforación de raíces, suelos hidromorfos, "firm grounds", nodulosidad por bioturbación, etc., lo que representa condiciones relativamente más someras que las de el ciclo anterior.
- d2. La sedimentación lacustre se abandona, desarrollándose caliches y karst (secuencias de Castejón, figura 17), o entrando en términos fluviales erosivos (secciones de Lanaja y Alcubierre), aunque se pueden desarrollar lagunas efímeras en relación con las facies de llanura de inundación.

#### Ciclo E

En este nuevo ciclo de colmatación, se pasa de zonas con predominio de la acción de las olas (fundamentalmente de tormenta) a secuencias de colmatación con desarrollo únicamente de los términos superiores. Su espesor máximo es de 32 metros, en Alcubierre.

- e1. Es un tramo con abundante removilización por olas, en buena parte de tormenta. Se encuentran en este tramo espectaculares capas de laminación "hummocky", que arrastran términos procedentes de zonas más someras. En la sección de Castejón por el contrario, se desarrollan caliches y "bogs" en posiciones marginales.
- e2. El final del ciclo está nuevamente formado por margas y calizas con interrupciones (secuencias de colmatación incompletas).

### Ciclo F

Únicamente aparece en su base en la sección de Lanaja, estando formado por dos secuencias completas de colmatación, con predominio de la fase tractiva.

### **Interpretación**

Las geometrías deposicionales y las asociaciones de facies constituidas por las secuencias elementales, definen un medio lacustre abierto con nivel de agua relativamente alto y persistente.

Del conjunto de características generales expuestas para cada ciclo, se deducen las siguientes interpretaciones ambientales:

- Ciclo A: Ambiente lacustre abierto
- Ciclo B: Ambiente lacustre abierto somero
- Ciclo C: Ambiente lacustre abierto
- Ciclo D: Ambiente lacustre abierto a lacustre somero
- Ciclo E: Ambiente lacustre somero con influencia de oleaje
- Ciclo F: Ambiente lacustre abierto

Esta sucesión, implica la existencia de condiciones lacustres típicas durante un intervalo sedimentario considerablemente amplio, que registra un mínimo de 150 m., de sección, con muy escasos episodios terrígenos fluviales,

quienes comienzan a adquirir cierta importancia a partir de ese intervalo, a pesar de lo cual el depósito más alto, preservado, sigue siendo de carácter lacustre.

### **Lignito y niveles carbonosos.**

En las secciones estudiadas, se encuentran lignitos en dos posiciones diferentes, siempre en pequeñas cantidades y en general de baja calidad:

- Lignitos arrastrados en las bases de fases de relleno activo (tramo "c<sub>1</sub>" de Lanaja)
- Arcillas carbonosas de "bogs" mezcladas con fragmentos de lignitos de origen próximo (indicio I-8, en el tramo "b<sub>3</sub>" de Lanaja)

Por otra parte, hay enriquecimiento en materia orgánica (margas grises, calizas fétidas) en los ciclos B y C en Lanaja, Sigena, La Almolda y Castejón.

Aunque los indicios encontrados no tienen ningún interés económico, hay teóricamente varias posibilidades de enriquecimiento tanto en el caso del lignito autóctono ("bogs") como del alóctono.

Para el caso de los lignitos alóctonos, es necesario un aumento del contenido en vegetales de las zonas marginales de producción, de tal forma que las fases de relleno activo estén constituidas casi en exclusiva por fragmentos vegetales más o menos transformados. Este caso, que podría ser el de los lignitos de Mequenza, se produce por la presencia de un delta lacustre en las proximidades.

En la sección de Lanaja, el ciclo B tiene un enriquecimiento alto en arenas y el C presenta muy frecuentes lignitos arrastrados. Aunque las arenas se encuentran en facies de playa en sentido amplio, puede suponerse la posible presencia de un sistema deltaico que aporte los sedimentos durante el ciclo B y

que a su vez sea parcialmente destruído durante la formación del ciclo C. En todo caso, debe señalarse que, este hipotético sistema no se encuentra dentro de la zona estudiada.

En el caso de lignitos autóctonos, los "bogs" se producen en zonas no marginales y tienen poca extensión lateral, lo que hace que no se puedan dar las condiciones requeridas para la formación de lignitos con interés económico.

En resumen, debido a todas estas circunstancias, **no existen posibilidades mineras de lignitos, ni en superficie ni en cuencas ocultas, por lo que se recomienda el abandono de la investigación en todas las zonas indicadas (Sierra de Sigena y Alcubierre, Montes de Castejón y terminación oriental de Las Bardenas).**

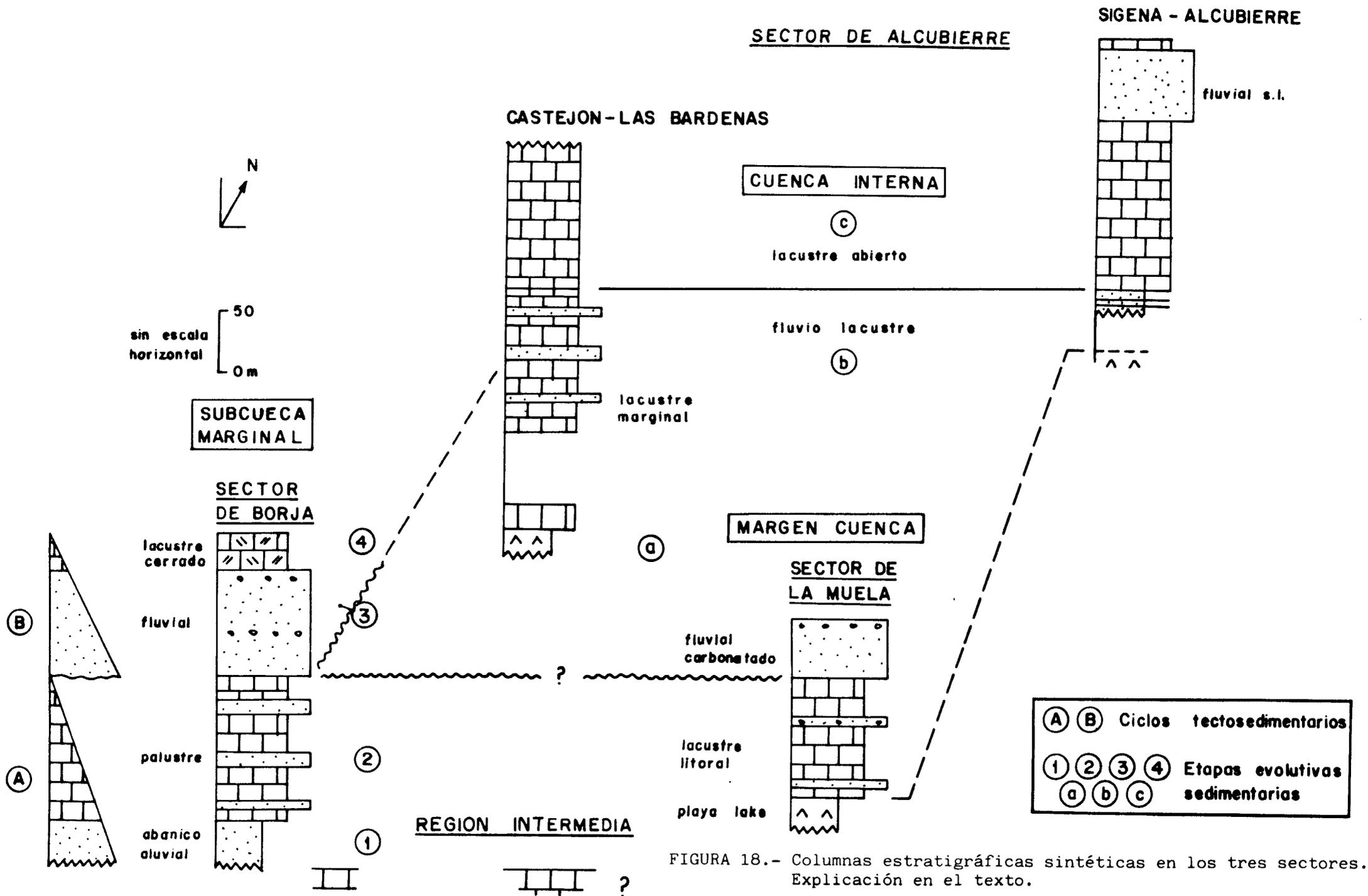
#### **4.- ANALISIS DE LA CUENCA**

#### 4.- ANALISIS DE CUENCA

##### 4.1.- Paleogeografía general

En el conjunto de la región estudiada cabe individualizar dos cuencas sedimentarias independientes (Fig. 18), aunque su evolución es, a grandes rasgos similar y pueden haber sufrido conexiones temporales. Son las siguientes:

- 1) Los sectores de Alcubierre y La Muela, pertenecen a la misma unidad, es decir, a la gran Cuenca Continental del Ebro Central, cuyos límites exceden ampliamente la región tratada. Tres elementos principales configuran el contexto paleogeográfico:
  - a) Una gran cuenca lacustre ocupando el área más o menos central de la cuenca, franjeada por:
  - b) Una llanura de inundación aluvial en el margen meridional, que constituye el fragmento distal de sistemas de abanicos aluviales adosados a la Cordillera Ibérica, y
  - c) Una llanura de inundación fluvial limitando los otros márgenes, expresión distal de sistemas fluviales procedentes en general del N. y NE.
  
- 2) El Sector de Borja, presenta unas características peculiares que delatan un comportamiento mucho más restringido, que le confieren un carácter de subcuenca, no del todo desligada de la cuenca mayor. El contexto paleogeográfico es dibujado por dos elementos esenciales:
  - a) Una cuenca palustre prácticamente centrada al pie de la Cordillera Ibérica terciaria, cuyo desarrollo está altamente influenciado por:
  - b) Sistemas de abanicos aluviales o sistemas fluviales fundamentalmente en régimen braided, procedentes del S. y



SW., en cuyos momentos de máxima actividad llegan a colmatar totalmente la cuenca palustre.

#### **4.2.- Evolución sedimentaria**

La subcuenca de Borja, situada en una posición sur-occidental con respecto a la cuenca central, puede haber quedado confinada por sistemas fluviales que discurrirían más o menos por la zona ocupada actualmente por el Ebro y el Jalón, no obstante puede haber habido conexiones temporales entre ambas cuencas y su evolución es, a grandes rasgos, similar aunque en un contexto paleogeográfico distinto.

Este hecho lleva a tratar su evolución por separado, con objeto de facilitar una mejor caracterización de los principales rasgos evolutivos, discutiéndose en su momento, aquellos puntos de probable conexión.

##### **4.2.1.- La Cuenca Central**

En el conjunto terciario analizado cabe citar tres etapas evolutivas fundamentales (Fig 18):

- a) En una etapa evolutiva anterior al desarrollo de la serie estudiada, la parte central de la Cuenca del Ebro habría constituido un gran área endorreica de "playa-lake" s.l. registrando sedimentación de carácter eminentemente evaporítico y relacionada con los sistemas de abanicos aluviales adosados al margen ibérico. Estos sistemas depositan facies conglomeráticas en los encajados valles del zócalo y después, al llegar a las áreas abiertas, se expanden rápidamente sedimentando facies terrígenas finas, lutíticas, que evolucionan hacia el centro a los ambientes de "playa-lake" citados.
- b) Este régimen sedimentario evoluciona a un régimen que puede ser considerado fluvio-lacustre endorreico y queda configurado de la

siguiente manera: un (o varias) área lacustre central que puede registrar tanto la sedimentación calcáreo-margosa, como evaporítica en zonas muy restringidas, franjeada por sistemas fluviales en el margen septentrional y los sistemas aluviales que siguen funcionando desde el borde S.

El área lacustre está ampliamente condicionada por la influencia de los sistemas fluviales que provocan desplazamientos continuos de la misma. Esta disposición se traduce en una alternancia de depósitos fluviales distales y lacustres efímeros en las zonas de interacción entre la llanura de inundación fluvial y el lago, mientras que en las zonas más internas predomina la sedimentación carbonatada y tan sólo se registran los eventos fluviales más importantes.

No obstante, la tendencia generalizada es de colmatación de las áreas lacustres por los sistemas fluviales. Suponiendo tal sedimentación terrígena causada por eventos de amplitud regional (por ejemplo, cambios climáticos) cabría pensar en relacionarla con los episodios fluviales de la subcuenca de Borja. Si son respuestas a la actividad tectónica, probablemente esta no sea sincrónica entre el N. y el S.

- c) La etapa evolutiva final se caracteriza por la instalación de un gran lago ocupando todo el Ebro Central, que representa el inicio de condiciones lacustres abiertas y con casi total seguridad exorreicas.

Los depósitos de esta última fase son expansivos, de forma que hacen "on lap" sobre las facies aluviales del margen S. e incluso sobre el substrato. Este hecho puede deberse a:

- Cese de la actividad tectónica y/o retrogradación brusca de los abanicos aluviales, con implicación de subsidencia, o
- "Tilting" del borde N. con el consiguiente desplazamiento del depocentro hacia el S.

La sedimentación en el lago es monótona y uniforme y se verifica mediante ciclos de colmatación que ocupan toda su extensión. El nivel de agua es persistente y relativamente alto, pero puede sufrir descensos generalizados que se traducen en el desarrollo de microkarstificaciones o en la instalación de una extraordinaria vida vegetal sobre el sedimento. El desarrollo de "hard-grounds" refleja las variaciones del nivel de agua. Esporádicamente se intercalan en la serie capas de tormenta de extraordinaria continuidad.

Sólo muy de cuando en cuando, llegan aportes de origen fluvial y en general están retrabajados pueden llegar a colmatar parcialmente el lago.

Así pues, el episodio final en la sedimentación miocena de la Cuenca del Ebro Central se realiza por acumulación de sedimentación carbonatada lacustre.

#### 4.2.2.- **La subcuenca de Borja**

La serie sedimentaria terciaria oscila entorno a los 300 m. de espesor, pero localmente esa cifra puede ser sensiblemente superior en aquellos puntos en que los depósitos conglomeráticos basales fosilizan profundos paleorelieves del zócalo.

Se han establecido dos ciclos tectosedimentarios principales en el relleno de la cuenca (Fig. 8 y 18). La viabilidad de esta caracterización se debe fundamentalmente a que, al tratarse de una zona marginal con respecto a la gran Cuenca del Ebro, los límites rupturales son fácilmente detectables. En zonas más internas tales límites, que normalmente vienen representados por un cambio vertical de facies en perfecta concordancia sedimentaria, son difícilmente reconocibles si no es a partir de su extracción desde los bordes mediante una delicada cartografía.

Cada ciclo tectosedimentario, identificado con una megasecuencia positiva, está formado por dos estadios evolutivos (Fig. 9, 18 y 19):

### Ciclo tectosedimentario A

- 1) La sedimentación terciaria se inicia con la aparición de sistemas de abanicos aluviales proximales, que desarrollan facies de núcleo constituidas por conglomerados masivos (Fig. 8). De igual forma que en el margen S. del Sector La Muela, se disponen en discordancia angular sobre un zócalo jurásico muy irregular.

Hacia la parte superior los abanicos aluviales sufren retrogradación brusca, con toda probabilidad causada por un cese o disminución de la actividad tectónica. Esta retrogradación se manifiesta por el rápido paso en vertical a facies de franja de abanico constituidas por lutitas arenosas rojas con canales conglomeráticos o arenosos aislados, que distalmente incluyen yesos.

El siguiente paso es la instalación generalizada de una llanura fangosa ("mud flat"), caracterizada por la sedimentación de lutitas y margas grises que incluyen varios niveles (de hasta 25 cm. de espesor) de lutitas negruzcas con abundante materia orgánica y restos de Gasterópodos.

- 2) En este punto puede situarse el inicio del segundo estadio evolutivo. Un nivel de paleosuelos, que refleja una cierta interrupción sedimentaria, marca la transición del régimen aluvial al régimen palustre: sedimentación carbonatada.

La zona pantanosa propiamente dicha, queda restringida al área más meridional, donde registra un apilamiento de más de 50 m. de depósitos carbonatados con frecuentes niveles carbonosos, que denota una subsidencia importante. Bordeando la zona pantanosa por el margen nor-occidental, discurre un sistema aluvio-fluvial que en épocas de grandes avenidas llega a introducirse y colmar los márgenes del pantano. Esta interacción se traduce en la sucesiva alternancia de tramos carbonatados ricos en niveles carbonosos y tramos terrígenos finos.

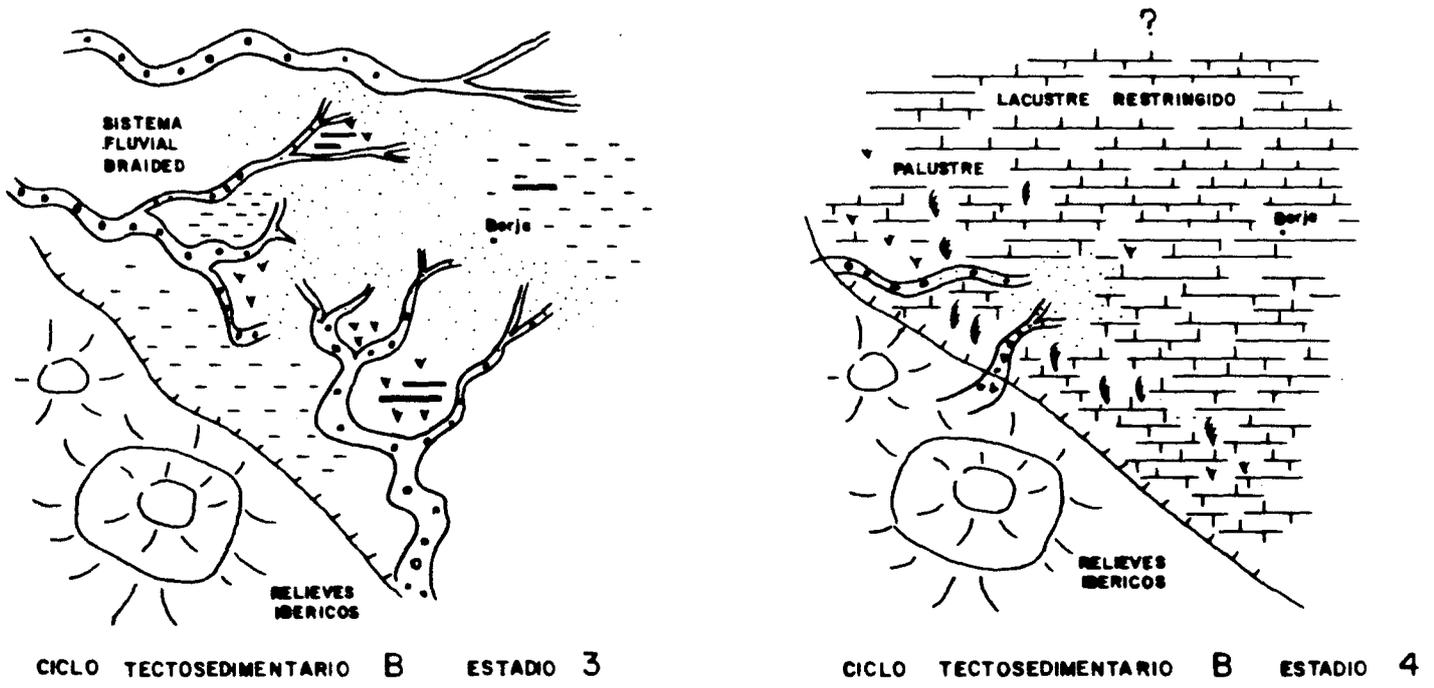
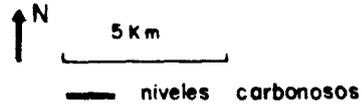
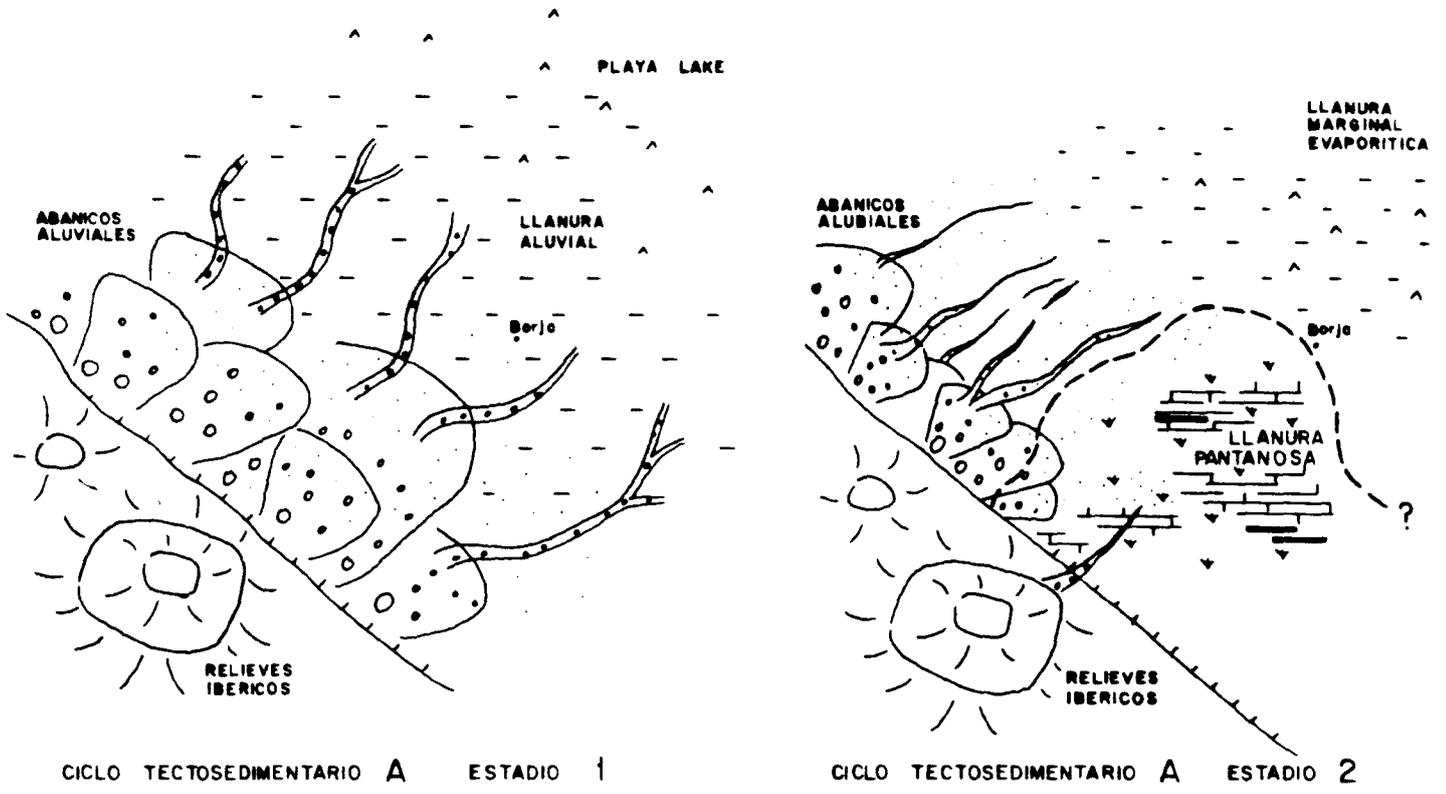


FIGURA 19.- Evolución paleogeográfica seriada de la subcuenca de Borja. Esquemas con escala aproximada. Explicación en el texto.

La sedimentación al N. y E. del pantano, es de carácter terrígeno-evaporítico, es decir, queda confinado por una llanura marginal aluvial; que al mismo tiempo separaría la subcuenca de Borja de la cuenca central.

### **Ciclo tectosedimentario B**

- 3) Las monótonas condiciones de sedimentación del estadio (2), son interrumpidas por una nueva fase de sedimentación terrígena expansiva, con desarrollo de grandes complejos arenosos canalizados y canales brechoides locales. Probablemente sea una respuesta a una reactivación de la actividad tectónica.

Esta entrada de terrígenos puede ser el equivalente del episodio calcarenítico del Sector de La Muela (Fig. 18).

Tales eventos deben de tener su reflejo en zonas más internas de la Cuenca del Ebro, a dónde serán desplazados los medios lacustres, y se registrarán con la intercalación de facies fluviales distales entre las facies lacustres.

Zonas menos afectadas por la sedimentación canalizada, llanuras de inundación o lagunas restringidas, siguen acumulando materia carbonosa, pero en mucho menor grado que la zona pantanosa.

- 4) Esta segunda megasecuencia finaliza con el restablecimiento de las condiciones palustres o lacustres restringidas. Localmente la transición viene marcada por depósitos brechoides y canales calcareníticos que denotan alta energía.

Las características en este caso son diferentes: facies travertínicas y oncolíticas, probablemente sin ninguna acumulación de materia carbonosa.

Este episodio puede haber sido expansivo sobre toda la cuenca.

Refleja un cese de la tectónica y/o un "tilting" en el N. con desplazamiento del depocentro al S.

#### 4.3.- Relación entre la Fm. Alcubierre y la Fm. Mequinenza

Clásicamente se ha venido relacionando la parte alta de Mequinenza con la parte baja de Alcubierre (QUIRANTES, 1.969) (veáse el cap. 1.3.) mediante las calizas de Bujaraloz, Sástago, Cardiel y Peñalba, pero RIBA et al (1.985) precisan que estas formaciones requieren una revisión de campo.

Diversos sondeos de investigación petrolífera, realizados en la región de Los Monegros, entre Mequinenza y la zona estudiada, cortan niveles de lignito a profundidades variables pero con cierta relación entre ellas y la profundidad teórica de Mequinenza. Son los sondeos de Gelsa (Fig. 1), Bujaraloz, Monegrillo, Candasnos, etc.,

Estas facies, con contenido en lignito, pueden representar el equivalente lateral de los miembros productivos de la formación. **Si el dispositivo sedimentario sufre una progradación de E. a W, se puede considerar, como hipótesis de trabajo, a las cuencas de Mequinenza y Alcubierre, pertenecientes al mismo sistema sedimentario, pero desplazado en el tiempo y en el espacio a un área más occidental.**

Es decir, en este modelo, la Fm Mequinenza podría representar el mismo sistema lacustre s.l., pero en uno o más estadios evolutivos anteriores en el relleno sedimentario de la Cuenca del Ebro. Así podría ser si las facies con lignito, cortadas por el sondeo de Gelsa a una profundidad de 450 m., corresponden efectivamente al equivalente de tal formación.

**5.- MODELOS DEPOSICIONALES DE  
SISTEMA FLUVIO-LACUSTRES  
CON CONTENIDO EN LIGNITO**

## 5.- MODELOS DEPOSICIONALES FLUVIO-LACUSTRES CON CONTENIDO EN LIGNITO

Aunque los lignitos de ambientes lacustres s.l. constituyen el motivo de varios estudios, pocos investigadores han descrito la geometría de los sedimentos clásticos asociados y han proporcionado un modelo deposicional. Aquellos trabajos que sí lo hacen, suelen relacionar el lignito con ambientes delta o interdeltáicos. Así por ejemplo, AYERS & KAISER (1.984) describen un modelo lacustre interdeltáico, en el que sitúan las potentes capas de lignito del Paleoceno de Wyoming-Montana (USA). Estos autores hacen hincapié en la interdependencia facies-aparición de lignito y en la necesidad de plantear modelos deposicionales alternativos enfocados a la explotación y predicción de carbón. El modelo de AYERS & KAISER consiste en un sistema deltaico progradante sobre un lago que ocupa el centro de la cuenca. El carbón se forma en las grandes llanuras costeras interdeltáicas, en las áreas interdistributarios y sobre los lóbulos deltaicos después del abandono del delta. Estos niveles de carbón, muy potentes, quedan limitados por un complejo fluvio-deltáico. La rápida subsidencia de la cuenca favorece la preservación y acumulación. Finalmente estos niveles acaban interdigitándose con lutitas lacustres.

No existen analogías de interés con la cuenca tratada en este estudio, puesto que no cabe hablar de sistemas deltaicos. Si merece una gran importancia la comparación con el modelo propuesto por CABRERA (1.983) y CABRERA et al. (1.985) para la Cuenca de Mequinenza (Sistema lacustre de Los Monegros), situada al SE. de la Depresión del Ebro y de edad tránsito Oligoceno-Mioceno, es decir, algo más joven que la Fm. Alcubierre. Una sección stratigráfica regional de SE. a NW. muestra la interrelación entre los sistemas aluviales adosados al margen ibérico y el sistema lacustre en posición más interna. La similitud en el contexto paleogeográfico es evidente. También existen entre facies y ambientes sedimentarios como se verá seguidamente.

La Fm. Mequinenza es explotada regularmente desde hace largo tiempo. Los investigadores citados reconocen varios ambientes lacustres y palustres en cuyo contexto se sitúan capas de lignito:

- Llanuras fluvio-deltaicas: cuerpos arenosos lenticulares asociados a lutitas rojizas y algunas calizas. Estas calizas pueden incluir delgados lentejones de lignito con una gran continuidad lateral.
- Llanuras interdelticas y llanuras fangosas terminales, a las que también van asociados niveles finos de lignitos.
- Contrariamente, las capas de lignito están muy pobremente desarrolladas en las llanuras pantanosas carbonatadas o están totalmente ausentes.
- En los ambientes marginales litorales carbonatados se encuentran capas lenticulares de lignito con una alta extensión lateral pero no muy potentes. Las capas que se explotan (hasta 1 m. de espesor) se han desarrollado a partir de la acumulación selectiva de restos vegetales finos en las áreas lacustres abiertas. Estos depósitos están relacionados normalmente con facies carbonatadas calcáreas tractivas, que se disponen en una fina laminación hecha de la acumulación de partículas de materia vegetal también muy fina.

En cualquier caso deben destacarse algunas diferencias importantes además de que su potencia es mayor, por cuanto conciernen a la formación de lignito :

- Amplio desarrollo de aparatos deltaicos y áreas interdistributarias, medios favorables al lignito, no observados en el área tratada (los ambientes fluvio-lacustres y lacustres marginales no representan nunca sistemas deltaicos), y
- Una extrema movilidad de la cuenca lacustre, con una constante fluctuación de la línea de costa originada esencialmente por la actividad aluvial, que se desprende de las continuas variaciones laterales de facies.

Concluyendo en la Cuenca de Mequinenza, ambientes sedimentarios de interpretación idéntica son, sin embargo, productivos en lignito.

Tal vez, además de que la configuración paleogeográfica es diferente, este hecho pueda ser debido a que las condiciones de formación/preservación de lignito, óptimas durante la época de Mequinenza, hayan disminuído en la de Alcuñierre.

## 6.- CONCLUSIONES

## 6.- CONCLUSIONES

### 6.1.- Resumen

- La serie terciaria estudiada registra una historia de sedimentación aluvial, fluvio-lacustre, palustre y lacustre.
- Abanicos aluviales distales de procedencia ibérica y fragmentos distales de ríos de procedencia septentrional s.l., interaccionan con un sistema sedimentario lacustre que ocupa el área central de la cuenca.
- En la región estudiada cabe individualizar dos cuencas sedimentarias independientes:
  - a) los sectores de La Muela y Alcubierre son un fragmento de la Cuenca del Ebro Central, con formación de ambientes lacustres someros y lacustres abiertos
  - b) **el Sector de Borja constituye una subcuenca, con un comportamiento mucho más restringido, caracterizado por el desarrollo de ambientes esencialmente palustres muy sometidos a la influencia aluvio-fluvial; contexto favorable para la formación de lignito.**
- La Cuenca central registra una evolución desde un régimen endorreico de "playa-lake" a un régimen lacustre expansivo exorreico.
- La subcuenca de Borja alterna la sedimentación aluvio-fluvial, con la palustre-lacustre, finalizando también con un régimen lacustre expansivo.
- **Las facies lignitíferas quedan restringidas al margen meridional de la Cuenca del Ebro Central y a la subcuenca de Borja (al S. del Ebro).** Representan condiciones de sedimentación en charcas cerradas reductoras

("bogs") desarrolladas en ambientes palustres o palustre-lacustres. Tales indicios, aún suponiéndoles una potencia importante, son de escaso interés por su alto contenido en arcilla.

## **6.2.- Conclusiones respecto a las posibilidades lignitíferas**

### **6.2.1.- Sector de Alcubierre**

**Las sierras de Sigena y Alcubierre (Areas 9 y 7), los Montes de Castejón (Area 5) y la rama aragonesa de Las Bardenas (Area 1) pueden ser descartados de toda futura investigación lignitífera, puesto que con un alto grado de fiabilidad puede asegurarse que no existe lignito, con interés económico, ni en superficie, ni en cuencas ocultas profundas.**

Esta aseveración parte del hecho de que se ha reconocido un único indicio (I-8) sin interés y otros dos niveles también despreciables, pero fundamentalmente del análisis de facies y ambientes sedimentarios, lacustres en un sentido amplio, que presuponen la esterilidad del sector tratado.

Por otra parte, sin embargo, se desconoce la relación que debe de existir entre este sector y la Fm. Mequinenza, es decir, las características geológicas de la zona al E. de la Sierra de Sigena (por quedar fuera del ámbito de estudio previsto en el presente proyecto). Dicha región es esencialmente calcárea y en ella se citan algunos indicios de lignitos, tanto en superficie como en profundidad.

### **6.2.2.- Sector de La Muela**

En las Areas 3 y 4, han sido considerados un total de 6 indicios y los niveles carbonosos, aunque finos, son relativamente abundantes.

El espesor máximo no supera nunca los 10 cm., pero su continuidad lateral es muy elevada superando incluso los 5 kms., sin variar prácticamente en potencia y calidad.

Están incluidos en una unidad lacustre-palustre litoral, que constituye un ambiente favorable al desarrollo de facies lignitíferas.

Esta unidad que contiene los indicios está perfectamente acotada en dirección S. y SE., pasando gradualmente a facies terrígenas aluviales estériles. Desaparece por erosión hacia el N., pero podría seguir en dirección occidental y sur-occidental por debajo de la cota topográfica, comprobación que requiere de estudios más detallados.

### 6.2.3.- Sector de Borja

Esta subcuenca (Area 2), requiere una especial atención:

Se han reconocido 6 indicios, todos ellos sin interés económico, así como los innumerables niveles carbonosos y lutitas oscuras con materia orgánica.

Se hallan en su mayor parte incluidos en una unidad palustre ("carbonate swamp") cuyo desarrollo espacial está en general controlado en todas las direcciones excepto en dirección S. y SE. (veáanse los gráficos paleogeográficos, fig. 19) donde podría seguirse, en parte, bajo el nivel topográfico.

**Debe de abandonarse la prospección en dirección N. puesto que las facies palustres pasan a facies marginales terrígenas con yesos.** En dirección NW. se intercalan, progresivamente, tramos terrígenos aluviales más potentes entre las facies palustres, lo que permite suponer que se trata del margen de la llanura pantanosa. Este punto requiere un mayor detalle de estudio que permita reconocer este hecho, así como, por otra parte, la circunstancia de que también aparecen indicios en relación con las facies fluvio-aluviales marginales.

El mayor desarrollo de la unidad palustre se adquiere hacia el SW. y S. (columnas de Sta Cruz del Moncayo y Malejan respectivamente).

No se descarta la probable existencia de niveles ocultos, así como una hipotética evolución de algunos de los niveles carbonosos a lignito, o bien la presencia de tramos no aflorantes con facies favorables.

Como ya se adelantó al realizar el análisis de cuenca, en un modelo sedimentario semejante, se favorecen en gran medida las condiciones de formación/preservación de lignito: **desarrollo de ambientes pantanosos llenos de vegetación junto a un relieve importante, en condiciones fundamentalmente reductoras; probable tectónica con implicación de rápida subsidencia y soterramiento de esos ambientes por la sedimentación aluvial.**

Por otra parte, se habló ya de la existencia de materiales carbonatados y de indicios carbonosos bajo el nivel topográfico, en la región comprendida entre ambos sectores y de la problemática creada en torno a ese dato.

**En resumen, la información disponible no es suficiente para descartar futuras exploraciones en el Sector de Borja y en la región situada al oriente y S. de éste. Varios argumentos señalan que podría tratarse de un área con un cierto interés minero.**

Finalmente, cabe apuntar la hipótesis de que las condiciones de la formación y preservación de lignito en la Cuenca del Ebro, durante el Oligoceno y el Mioceno, se hallen restringidas al margen S., es decir, en relación con los sistemas palustre-lacustre y aluviales extendidos al pie de los relieves ibéricos terciarios.

**7.- PROPUESTAS Y  
RECOMENDACIONES**

## 7.- PROPUESTAS Y RECOMENDACIONES

Se propone, tras los resultados del presente proyecto, una serie de trabajos encaminados a la consecución de dos objetivos principales:

- 1º) Por una parte, un estudio geológico-minero completo orientado a la Zona Sur-occidental del Ebro Central, concretamente referido a la Subcuenca de Borja en sentido amplio: la subcuenca propiamente dicha en toda su extensión y la región comprendida entre el Sector de Borja y el Sector de La Muela (Fig. 1 y Fig. 20).
- 2º) El establecimiento de un modelo sedimentario integral y la caracterización adecuada del sistema deposicional Alcubierre constituye el segundo objetivo.

Este objetivo requiere un estudio geológico-minero de las unidades que enlazan las Fms. Mequinenza y Alcubierre; el Mb. Bujaraloz (Calizas de Bujaraloz, Peñalba, Cardiel y Sástago) (Fig. 2), así como un estudio de las formaciones existentes en profundidad, puesto como se apuntó en su momento, son de interés por cuanto hace referencia a su contenido en lignito y a su aportación al conocimiento de la cuenca.

El primero de los objetivos se lograría mediante:

- El levantamiento de una cartografía geológica a escala 1: 25.000, con el fin de resolver las relaciones estratigráficas y probables complicaciones tectónicas.
- El levantamiento de una cartografía de facies en zonas preferentes a escala 1:10.000 para acotar el desarrollo espacial de la unidad palustre, así como de otras posibles facies de importancia menor.

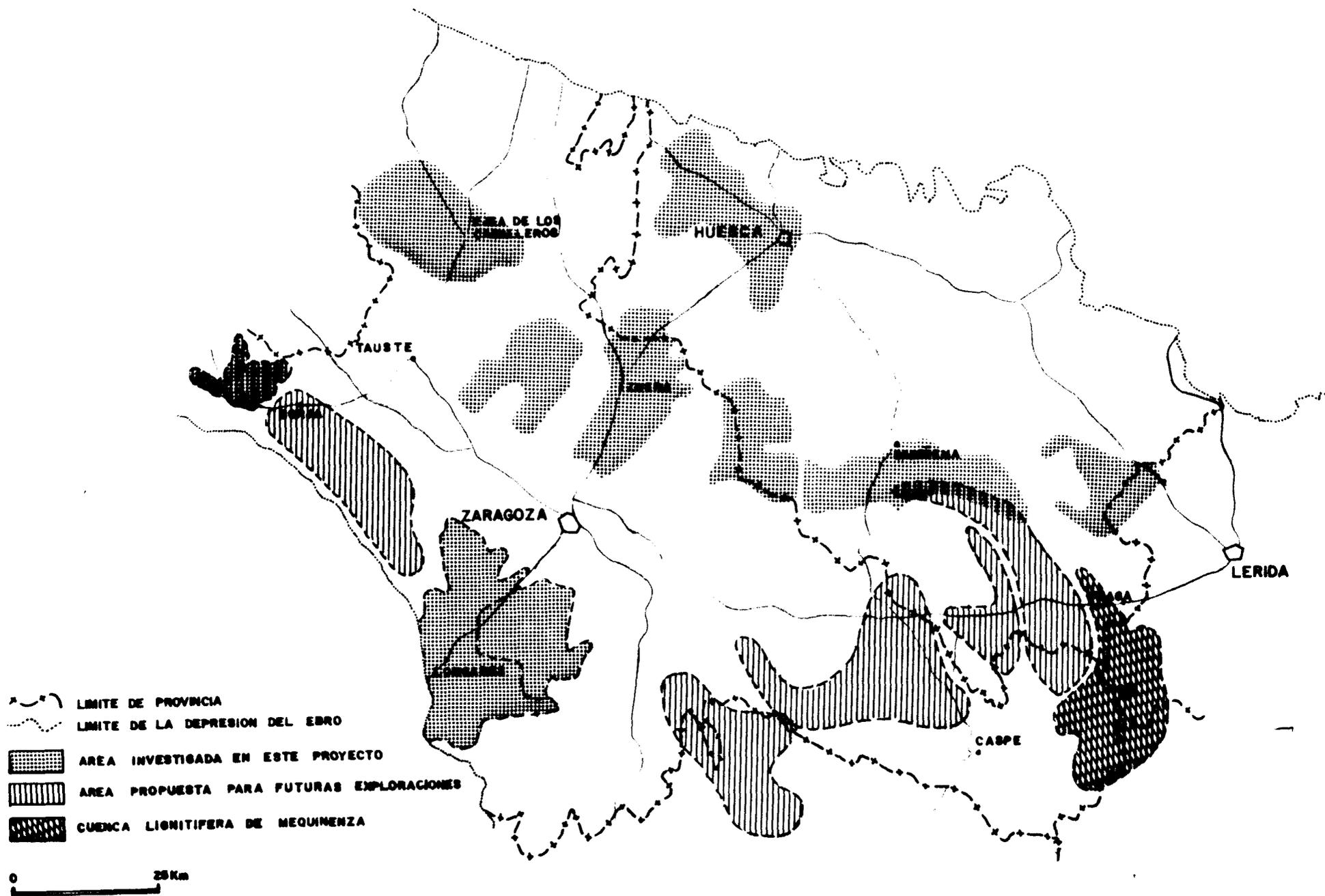


FIGURA 20.- Situación geográfica de las áreas propuestas para futuras investigaciones

- El levantamiento de columnas estratigráficas de detalle, que completarán las realizadas en este proyecto y otras en las zonas hasta ahora no estudiadas.
- La realización de calicatas y pocillos, en todos aquellos puntos que así lo requieran.
- Campaña de prospección eléctrica (S.E.V.) en dicha área.
- La realización de sondeos de investigación en aquellos puntos seleccionados de la región intermedia.

Se pretende lograr con este estudio el descubrimiento de niveles de lignito de interés económico y la perfecta delimitación de la Subcuenca de Borja y sus relaciones estratigráficas con la Cuenca Central.

La consecución del segundo objetivo requeriría la realización de las siguientes actividades:

- El levantamiento de columnas estratigráficas de detalle en el área situada al E. de la región estudiada (Mb. Bujaraloz).
- El estudio de las formaciones en profundidad mediante el análisis de los sondeos y las extrapolaciones pertinentes.

Se pretende conseguir el establecimiento de secciones estratigráficas, longitudinales y transversales a la cuenca, en las que quedaran bien acotados los diversos cuerpos sedimentarios con contenido en niveles lignitíferos.

- Un reconocimiento de la Rama Navarra de las Bardenas (en sentido amplio), en el que se debería considerar también el levantamiento de columnas estratigráficas en esa región.

El conjunto del trabajo debería ir integrado junto con el trabajo ya realizado, con el fin de desarrollar un modelo sedimentario de la cuenca, lo que conllevaría, en gran medida, la resolución de la estructura tectosedimentaria de la Cuenca del Ebro Central.

## 8.- BIBLIOGRAFIA

8.- BIBLIOGRAFIA

- **AYERS (Jr), W.B. & KAISER, W.R. (1.984).** Lacustrine-interdeltaic coal in the Fort Union (Palaeocene), Powder River Basin, Wyoming and Montana, U.S.A. Spec. Publs int. Ass. Sediment., 7. In : RAHMANI & FLORES eds, Sedimentology of coal and coal-bearing sequences, IAS Spec. Pub. nº 7.
  
- **AZANZA, B.; CALVO, J.M. y GIL, E. (1.983).** Mamíferos y reptiles fósiles del Mioceno de la Ciesma (Tarazona). Nota preliminar. Turiaso, IV. Centro de Estudios Turiasonenses. Institución Fernando el Católico, C.S.I.C.
  
- **BIRNBAUM, S.J. (1.976).** Non marine evaporite and carbonate deposition. Ebro Basin, Spain. Ph D. thesis Univerity of Cambridge. Sin publicar.
  
- **CABRERA, LI. (1.983).** Estratigrafía y Sedimentología de las formaciones lacustres del tránsito Oligoceno-Mioceno del SE. de la Cuenca del Ebro. Tesis Doctoral Universidad de Barcelona. Sin publicar.
  
- **CABRERA, LI; COLOMBO, F. y ROBLES, S. (1.985).** Sedimentation and tectonics interrelationships in the Paleogene marginal alluvial systems of the SE. Ebro Basin. Transition from alluvial to shallow lacustrine environments. Excursion guidebook Nº 10, 6 th European Regional Meeting. Lleida (Spain).
  
- **FREYTET, P. & PLAZIAT, J.C. (1.982).** Continental carbonate sedimentation and pedogenesis - Late Cretaceous and Early Tertiary of Southern France. Contributions to Sedimentology, 12.
  
- **FREYTET, P. (1.984).** Les sédiments lacustres carbonatés et leurs transformations par émerision et pédogenése. Importance de leur identification pour les reconstructions paléogéographiques. Bull. Centres Rech. Explor. Prod. Elf-Aquitaine, 8 (1).

- **LINK, M.H. & OSBORNE; R.H. (1.978).** Lacustrine facies in the Pliocene Ridge Basin Group, Ridge Basin, California. In : **MATTER & TUCKER** eds, Modern and ancient lake sediments, IAS Spec. Pub. N<sup>o</sup> 2.
  
- **PEREZ, A. y MUÑOZ, A. (1.985).** Depósitos palustres y aluviales en el Terciario de la Muela de Borja (Prov. de Zaragoza). Cuadernos de Estudios Borjanos. Institución Fernando el Católico. C.S.I.C. Borja, (en prensa).
  
- **QUIRANTES, J. (1.969).** Estudio sedimentológico y estratigráfico del Terciario continental de Los Monegros. Tesis Doctoral Universidad de Granada. Ed.: Dep. Sed. Sed. y Suelos, C.S.I.C. Zaragoza (1.978).
  
- **RIBA, O.; REGUANT, S. y VILLENA, J. (1.985).**- Ensayo de síntesis estratigráfica y evolutiva de la Cuenca terciaria del Ebro. En.: Libro Jubilar José M<sup>o</sup> Ríos. Estudios sobre Geología de España.

**PARTE II**  
**PIRINEOS**

## INDICE

	<b>Página</b>
1.- Introducción	1
2.- Fm Escanilla	2
2.1.- Situación geográfica	2
2.2.- Situación geológica	2
2.3.- Columnas realizadas	3
2.4.- Descripción de las facies	3
2.5.- Interpretación de las facies	6
2.6.- Estudio de la correlación	6
2.7.- Conclusiones	7
3.- Fm Collegats	10
3.1.- Situación geográfica	10
3.2.- Situación geológica	10
3.3.- Columnas realizadas	11
3.4.- Descripción e interpretación de las facies	11
3.5.- Ensayo de correlación	13
3.6.- Conclusiones	13
4.- Propuestas y recomendaciones	15
5.- Bibliografía	17

## 1.- INTRODUCCION

## 1.- INTRODUCCION

Los puntos estudiados en el Pirineo y que son valorados como de un interés alto en lignito se agrupan, en función a su pertenencia a formaciones litoestratigráficas, en dos : unos pertenecientes a la Fm Escanilla y otros a la Fm Collegats.

En ninguna de las dos formaciones, ha sido realizado un estudio de envergadura suficiente, como para poder establecer las relaciones verticales y horizontales de los distintos indicios estudiados, ni su posición en un esquema evolutivo dentro de sus respectivas cuencas.

Ante estas premisas, los datos que se dan de cada uno de ellos, deben considerarse de valor puntual y las extrapolaciones que se realizan se hacen en función del análisis de sus facies y no de su evolución lateral como sería de desear para una valoración eficiente de sus posibilidades lignitíferas.

2.- Fm. ESCANILLA

## **2.- FM. ESCANILLA**

### **2.1.- Situación geográfica**

La parte de la Fm. Escanilla (Garrido-Megias, 1.968) que ha sido estudiada se situa al E. y NW. de Graus, en el Prepirineo de la provincia de Huesca. Al E., en las inmediaciones y al S., de los pueblos de Capella y Laguarres. Al NW., en las inmediaciones del pueblo de Solanilla.

### **2.2.- Situación geológica**

Geológicamente, esta formación se encuentra dentro de la Cuenca paleocena-eocena de Tremp-Graus, forma parte del "foreland basin" surpirenaico y transcurre paralela a la zona axial de la cordillera.

La subdivisión de este "foreland basin", en pequeñas cuencas intramontañosas, esta relacionado con la fragmentación estructural que se realiza durante el Paleoceno y el Eoceno.

La Cuenca de Tremp-Graus, aflora a lo largo de una distancia de casi 100 km, estando geológicamente limitada al E., por la falla del Segre, y al W. por el anticlinal de Boltaña.

El relleno de la cuenca está fuertemente relacionado con los movimientos tectónicos, diferenciados en cuatro estadios que cronoestratigráficamente comprenden : 1) Paleoceno-base del Eoceno , 2) Eoceno Inferior, 3) Eoceno Medio- Superior y 4) Oligoceno.

El área a que se hace referencia se encuentra dentro del tercer estadio y está caracterizado por la existencia de esfuerzos compresivos de los que resultan amplios movimientos de cabalgamiento (reactivación del cabalgamiento del Montsec, e inicio del cabalgamiento del Gavarnie).

A lo largo del margen N. de la cuenca, se producen importantes levantamientos que son los responsables de la formación de complejos de "fan-deltas" y de extensos abanicos aluviales (CUEVAS et al. 1.985).

### **2.3.- Columnas realizadas**

En la zona al E. de Graus, se han levantado dos columnas estratigráficas, cuya situación puede apreciarse en la Fig. 1, Laguarres y Capella y que han sido numeradas como 30 y 31, respectivamente.

Buena parte de la columna 31 (Capella), esta levantada en la Fm. Capella. La parte superior, sin embargo, medida en la Fm. Escanilla, está correlacionada directamente sobre el campo con la columna 30 (Laguarres).

### **2.4.- Descripción de las facies**

La infrayacente formación Capella (Garrido-Mejías, 1.968), esta constituida por sedimentos terrígenos, principalmente lutíticos con cuerpos de conglomerados y areniscas interestratificados. Tiene un máximo de espesor de casi 1.000 m., en el valle del Isábena y decrece rápidamente de espesor hacia el E. y W.

El límite superior de esta formación esta marcado por la aparición del primer nivel calcáreo de la suprayacente formación Escanilla. Esta última está constituida por paquetes métricos y decamétricos de conglomerados y areniscas, en secuencias positivas de relleno de canal, separadas entre ellos por lutitas rojizas o marrones. Ocasionalmente se interestratifican niveles calcáreos, lacustres, que en el caso de la columna 30 (Laguarres), tienen un considerable contenido en lignito (indicio nº 14) en el que se han realizado 5 "logs" directamente correlacionables entre ellos (Fig. 2).

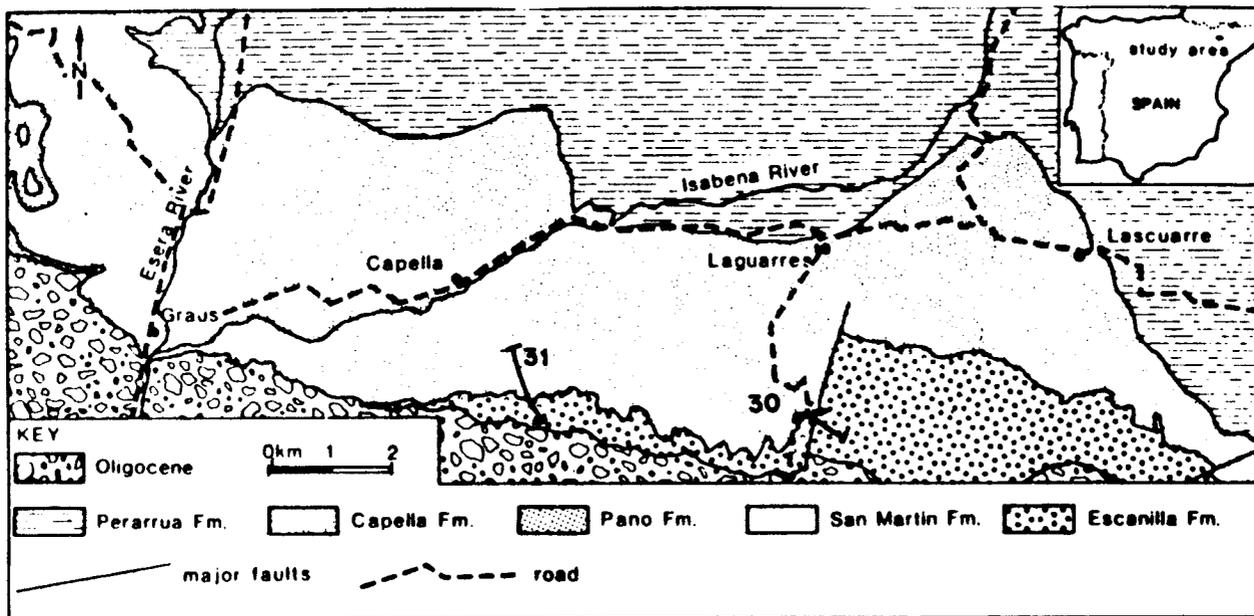


FIGURA 1.- Mapa geológico del sector de Capella (de CUEVAS et al 1.985) en el que se indican la localización de las columnas 30 Lagarres y 31 Capella.

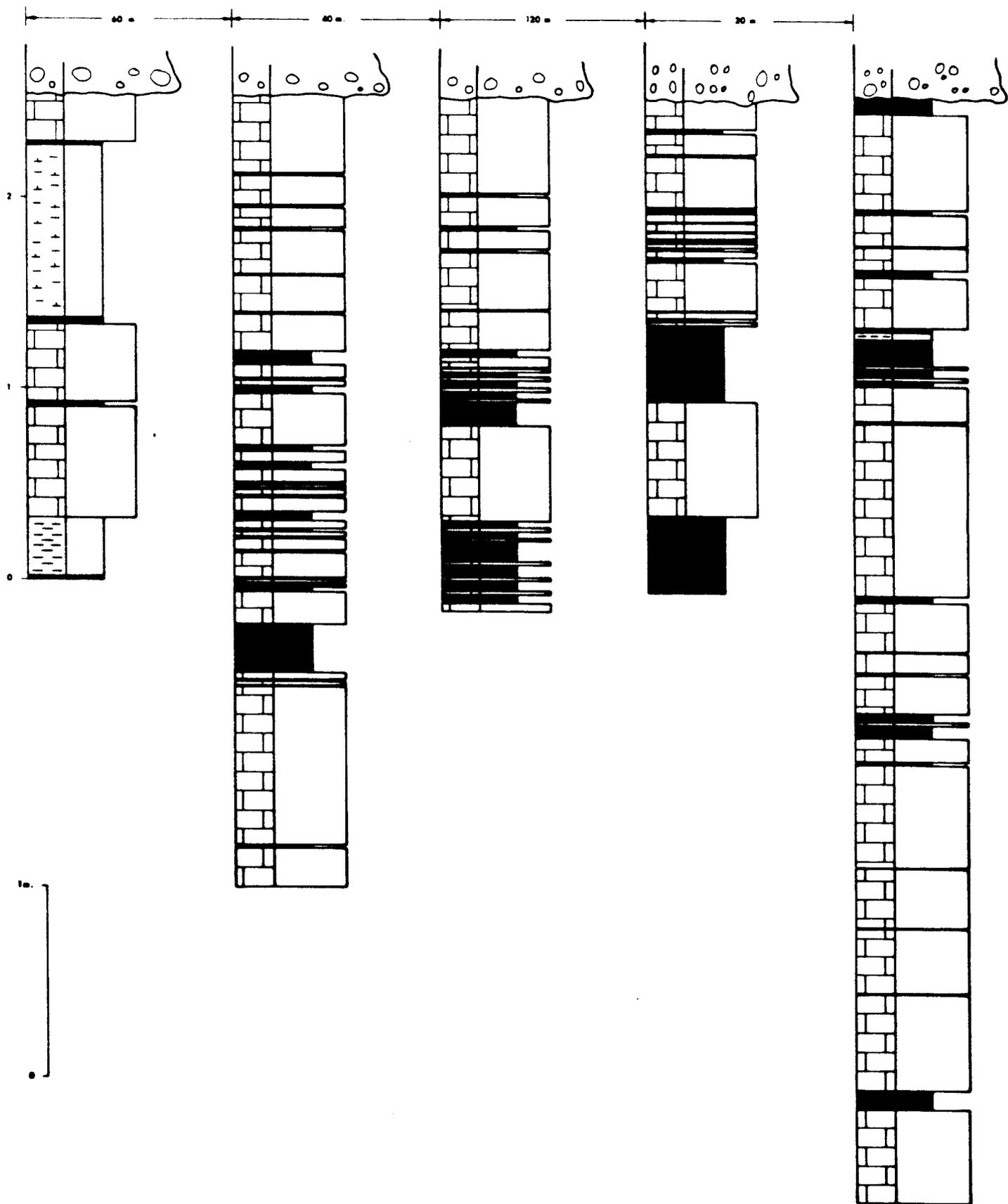


FIGURA 2.- Correlación entre cinco afloramientos con contenido en lignito.  
Indicio nº 14, Laguarres. (Formación Escanilla).

## **2.5.- Interpretación de las facies**

La Formación Capella es, esencialmente, el resultado de la sedimentación de dos sistemas aluviales, que de E. a W. evolucionan desde depósitos groseros de abanicos aluviales, a facies de granulometría menor. La sedimentación se desarrolla, en la zona de Capella-Lagarres, en una llanura lutítica afectada por mareas (CUEVAS et al. 1985). Las corrientes de marea influyen la sedimentación aluvial retrabajando los depósitos y creando su propio sistema de canales en la llanura lutítica.

La Fm. Escanilla, se deposita ya en un ambiente plenamente continental, representado por la sucesión en vertical de facies de abanico aluvial, formadas por canales conglomeráticos y lutitas y en las que se encuentran interestratificados niveles calcáreos de sedimentación lacustre de espesor y extensión lateral variable y que pueden contener facies lignitíferas.

Es frecuente observar en los canales conglomeráticos de la formación Escanilla, como algunos de sus cantos están constituidos por lignito fuertemente alterado o lutitas lignitosas y que son el resultado de la erosión de facies de este tipo por los propios canales. La cantidad de materia orgánica, presente en los depósitos de esta formación, es siempre muy abundante.

## **2.6.- Estudios de la correlación**

Las dos columnas realizadas y mencionadas anteriormente, distan entre ellas 4,5 km. La correlación efectuada ha sido realizada directamente en el campo y de ella se extraen las siguientes conclusiones.

- La no existencia de niveles de correlación suficientemente continuos y con valor isócrono que relacionen ambas columnas, lo que evidencia la poca continuidad lateral de los cuerpos litológicos, característica ésta, frecuentemente observada en el campo.

- Las variaciones importantes de magnitud de las facies lacustres entre una columna y otra y la existencia de facies lignitíferas asociadas a ellas.

En la columna 30 (Laguarres), las facies calcáreas lacustres están poco desarrolladas (de 3 a 4 m. de espesor) y contienen abundantes niveles de lignito.

En la columna 31 (Capella), las calizas lacustres alcanzan más de 20 m. de espesor y son, no obstante, completamente estériles.

- La tipología de las facies aluviales presentes en ambas columnas, y la relación de magnitud entre los cuerpos canaliformes conglomerático-areniscosos y las pelitas de inundación que se alternan con ellos.

En la columna 31 (Capella), las pelitas rojas y marrones de inundación, son mucho más importantes en magnitud que los cuerpos conglomerático-areniscosos de la columna 30 (Laguarres).

Este hecho concuerda con las paleocorrientes medidas, que dan un sentido predominante hacia el NW. y con la disposición paleogeográfica propuesta por CUEVAS et al (1.985) (véase el Cap. 2.5).

## 2.7.- Conclusiones

El estudio de la geología y sedimentología de los indicios y sus alrededores, localizados en la Fm. Escanilla, ha permitido para el caso de Laguarres (indicio nº 14) el establecimiento de un perfil sedimentológico, representado en la Fig. 3, que muestra las relaciones espaciales entre facies aluviales y facies lacustres y la situación de los niveles lignitíferos en estas últimas. Este modelo ha sido establecido únicamente en el sector de Laguarres-

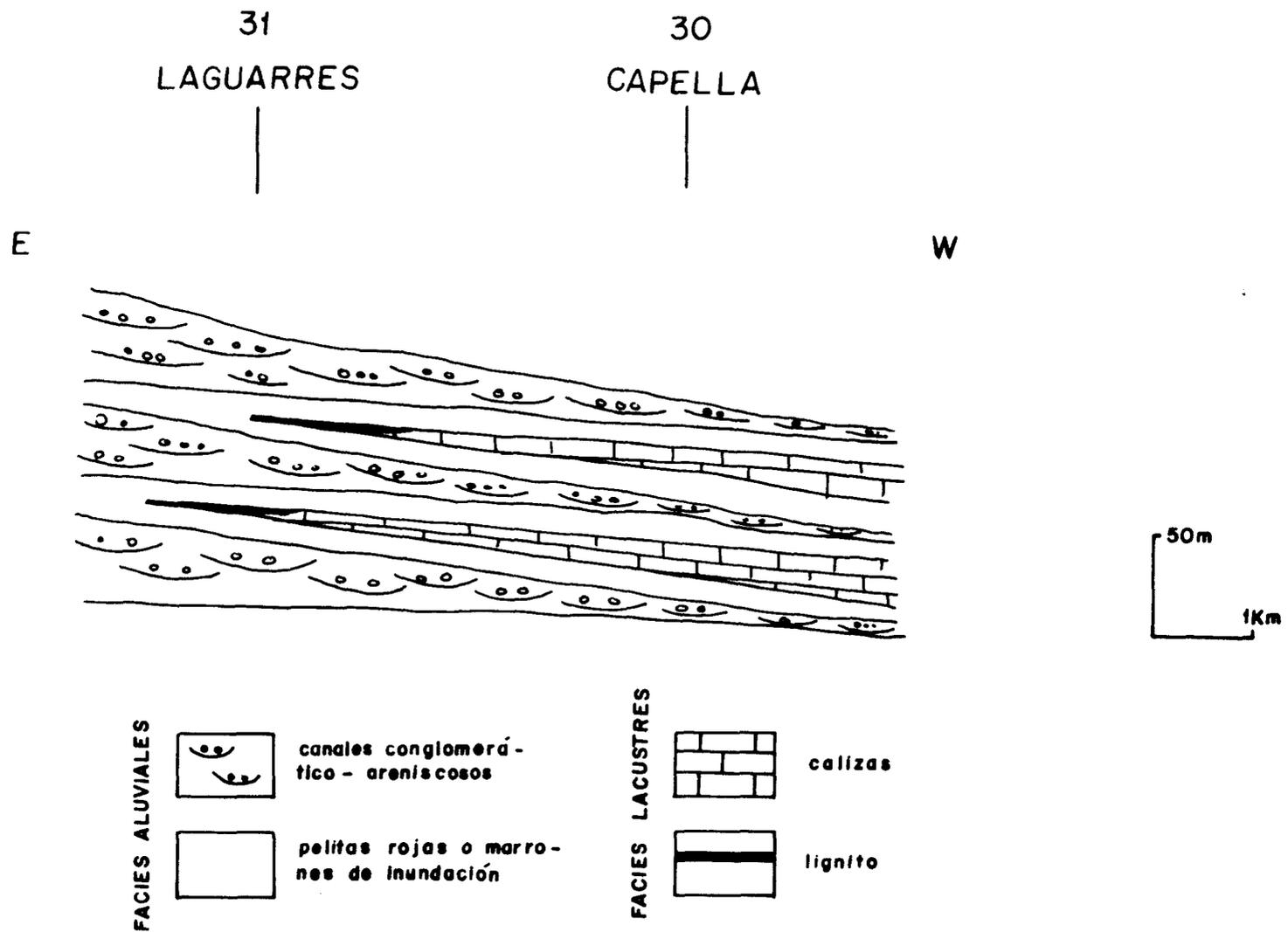


FIG. 3.- Situación de los niveles lignitíferos dentro de un esquema que muestra las relaciones geométricas entre las facies aluviales y lacustres de la Fm. Escanilla.

Capella, y su aplicación a otras partes de la formación no ha podido ser comprobada.

En el caso de los indicios 15 y 16, en el área de Solanilla, la interpretación de las facies en las que se encuentran, la comparación con las facies de la zona de Laguarres-Capella y los datos procedentes de la revisión bibliográfica de la cartografía, permiten pensar que posiblemente puedan ser integrados en un esquema deposicional análogo al referido para la zona de Laguarres-Capella.

Debe considerarse por otra parte, un dato muy importante que se refiere a la probable equivalencia entre la Fm. Escanilla y la Fm. Campodarbe (PUIGDEFABREGAS, 1.975). La Fm. Campodarbe aflora en una extensa región al W. del anticlinal de Boltaña, y en edad características geológicas, ambas formaciones son del todo comparables.

En la Fm. Campodarbe se incluyen al menos dos indicios de lignito, uno el de valle del río Guarga y otra en Sos del Rey Católico. Cabe pensar en la posibilidad de relacionar sedimentaria y estratigráficamente todos los indicios conocidos en ambas formaciones.

**3.- Fm. COLLEGATS**

### **3.- Fm. COLLEGATS**

#### **3.1.- Situación geográfica**

Han sido estudiadas dos localidades, una al NE. del pueblo de Cajigar, junto al límite de las provincias de Huesca y Lérida y otro al NE. de Poble de Segur, en las inmediaciones de Sossís. Ambas corresponden respectivamente a los indicios nº 17 y 18.

#### **3.2.- Situación geológica**

Geológicamente los dos pertenecen a la Fm. Collegats (MEY et al 1.968), que se deposita en relación al cuarto estadio tectónico (Oligoceno) mencionado anteriormente (véase el Cap. 2.2.) y que está caracterizado por un fuerte movimiento compresivo que provoca la formación del manto de Gavarnie, al tiempo que un amplio levantamiento de la Zona Axial e inicia un período erosivo en la Cuenca de Tremp-Graus.

En los dos casos, Cajigar y Poble de Segur, los indicios se encuentran en una de las múltiples intercalaciones lacustres que existen en el relleno del último episodio del "foreland basin" surpirenaico, caracterizado por el depósito de grandes masas conglomeráticas en facies de abanicos aluviales, que alcanzan un espesor estratigráfico que llega a superar los 2000 m. y que están delimitadas, en su base, por una discordancia erosiva de carácter regional.

Esta discordancia tiene lugar en el sector de Cajigar, sobre el propio Eoceno de la cuenca terciaria surpirenaica, mientras que en Poble de Segur, lo hace sobre el sustrato mesozoico.

### **3.3.- Columnas realizadas**

Se han estudiado un total de 4 columnas, tres de ellas en la zona de Cajigar y otra más en la de Poble de Segur.

En ninguna de ellas se ha medido la totalidad de la formación, sino que se han levantado columnas en aquellos tramos que contienen niveles lacustres y que son en los que están localizados los indicios.

### **3.4.- Descripción e interpretación de las facies**

El estudio sedimentológico y de la geología del entorno de estos indicios, se ha realizado a través del levantamiento de columnas de detalle, con el objetivo de obtener una interpretación ambiental de estos materiales.

En la zona de Cajigar, se han levantado tres columnas correlacionadas entre sí, en las que se encuentra localizado el indicio nº 17 (Fig. 4). La columna general en Cajigar, está representada, en la base, por facies de abanico aluvial que van siendo más distales a medida que se asciende en la serie, encima se instala una alternancia de facies lacustres y de llanura de inundación aluvial, en la que se pueden contar como mínimo seis intercalaciones lacustres. En la parte alta, vuelven a aparecer facies de abanico aluvial, esta vez sin intercalaciones lacustres, siendo las facies de abanico mucho más proximales que las anteriores.

La columna estratigráfica general en la zona de Poble de Segur, conserva ciertas similitudes con la de Cajigar: presencia de un primer tramo de facies de abanico aluvial, un segundo de alternancia de facies lacustres y de llanura de inundación aluvial, si bien en este caso con algunas intercalaciones de facies de abanico y un tercer tramo de facies de abanico interno, prácticamente amalgamadas entre ellas.

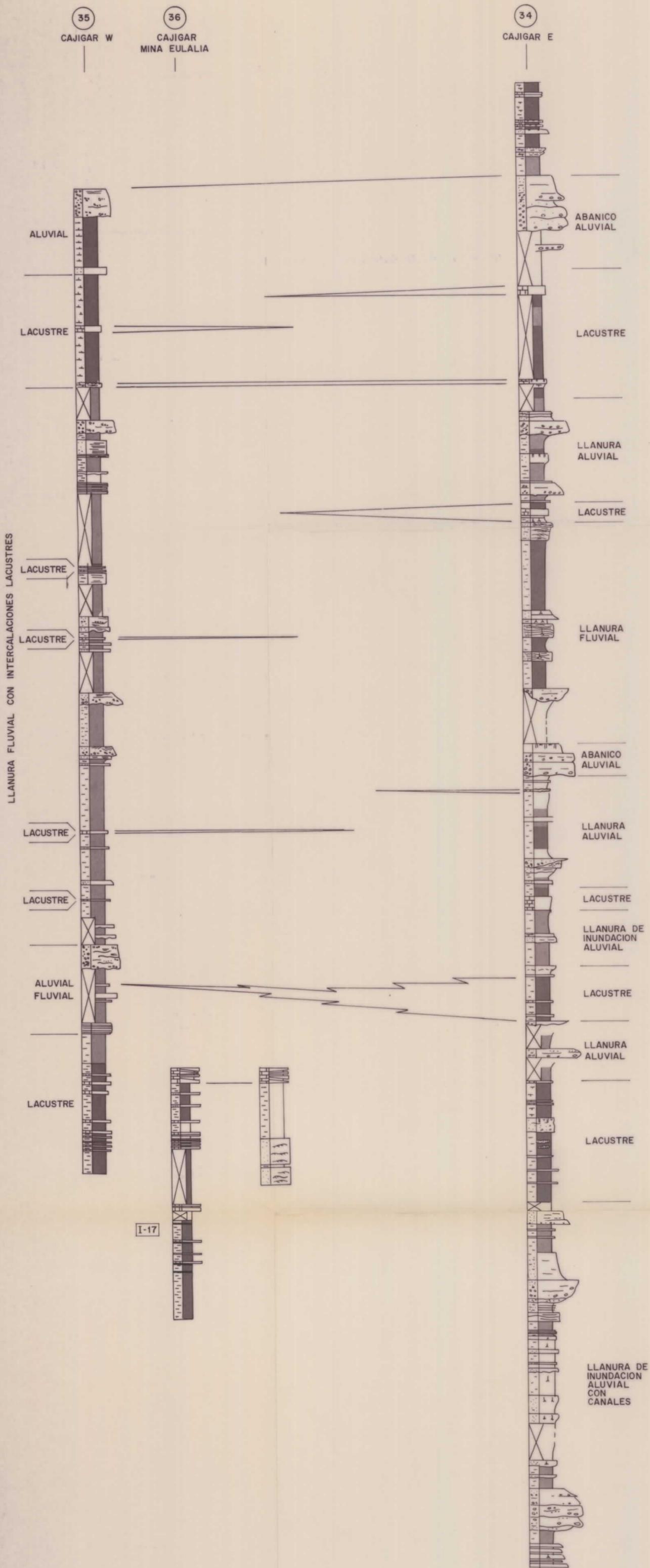


FIGURA 4.- PANEL DE CORRELACION DE LAS COLUMNAS ESTRATIGRAFICAS LEVANTADAS EN TORNO AL INDICIO Nº 17, CAJIGAR

La columna levantada en la zona de Poble de Segur, está medida en la unidad lacustre más inferior y más potente denominada Sossís, por ROBLES y ARDEVOL (1.984) y cercana a la antigua explotación de lignito del mismo nombre.

### 3.5.- Ensayo de correlación

La correlación entre la zona de Cajigar y la de Poble de Segur, parece evidente por la similitud entre ambas ya mencionada. Según esto, aun tratándose de dos zonas muy separadas (alrededor de 50 km.) y no haber continuidad física entre los cuerpos sedimentarios (abanicos), existiera en la serie un registro de la influencia tectónica, reflejando el tramo de alternancia lacustre-aluvial, una relativa calma de esta actividad y el tercer tramo una reactivación de la sedimentación aluvial, provocada por un levantamiento generalizado de la parte interna de la cordillera y que abortaría o desplazaría hacia el sur, la zona de sedimentación lacustre.

De todas formas, aun siendo claro que entre dos puntos distantes entre ellos 50 km., se reflejaría por igual una reactivación tectónica, no existen datos cartográficos ni sedimentológicos, suficientes, como para establecer con seguridad esta correlación.

**En este aspecto sería interesante, cara a futuras investigaciones orientadas a la prospección de lignito en la Formación Collegats, el seguimiento lateral de este tramo lacustre/aluvial ya mencionado, entre los dos puntos citados y al W. y E. respectivamente de cada uno de ellos.**

### 3.6.- Conclusiones

El estudio de la geología y sedimentación efectuado en los indicios y alrededores de la Formación Collegats, ha permitido acotar, dentro de la serie estratigráfica general de la formación, cuales son los tramos favorables para el

lignito y establecer una comparación entre la tipología de las facies de ambas zonas.

En los dos casos, los tramos favorables están constituidos por la alternancia de depósitos lacustres (calizas, lutitas y margas con capas de lignito), con depósitos de abanicos aluviales (conglomerados y areniscas asociados a pelitas rojas y ocre de inundación, de llanuras aluviales).

En otro orden de detalle cabría hacer las siguientes observaciones:

- . El tramo de alternancias lacustres y aluviales es, en Cajigar, menos potente que en Pobla de Segur.
- . Las calizas son menos abundantes, frente a las margas y lutitas lacustres, en la sección de Cajigar con respecto a la sección de Pobla de Segur, estando representadas en casi todas las ocasiones por un estrato individual que nunca supera el metro de espesor.
- . Las facies aluviales en Cajigar, son de características más distales que en Pobla de Segur y tienen, en muchos casos, características de facies fluviales.

El valor que estas observaciones puedan tener cara a la elaboración de un modelo deposicional y a un análisis de cuenca, no se puede precisar por el momento y sería necesario un estudio de mayor envergadura para esclarecer las relaciones laterales y verticales de los tramos con contenido ó posible contenido en lignito.

**4.- PROPUESTAS Y  
RECOMENDACIONES**

#### 4.- PROPUESTAS Y RECOMENDACIONES

Las Formaciones Escanilla y Collegats; en las que han sido localizados y estudiados cinco indicios, se valoran como de interés alto para la prospección de lignito, debido, por una parte, a la buena calidad del mismo (veáse el Anexo II) y por otra, al rápido cambio lateral de facies que se observa en los sedimentos de estas dos formaciones y que es propio de los depósitos de alta energía (abanicos aluviales) y de las cuencas sometidas a una continua actividad tectónica y de relleno rápido, condiciones estas favorables a la preservación de lignito.

Estos continuos cambios laterales de facies, abren la posibilidad de encontrar yacimientos dentro de la amplia zona en que afloran estas formaciones y que permanecen desconocidas desde la perspectiva de la investigación de lignito.

Las recomendaciones que se hacen son idénticas en ambos casos (Fm. Escanilla y Fm. Collegats) dadas las similitudes geológicas (litológicas y sedimentológicas) e incluso orográficas, que existen entre ellas.

Se consideran interesantes las facies lacustres en el ámbito total de las dos formaciones, siendo esto de especial importancia en el caso de la Fm. Collegats, en la que debería intentarse el seguimiento lateral de los tramos valorados como favorables y que tienen una potencia de 200 y 500 m. (en Cajigar y Poblá de Segur respectivamente) y sobre los que se ha realizado, en una primera hipótesis, una posible correlación (veáse el Cap. 3.5).

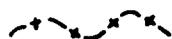
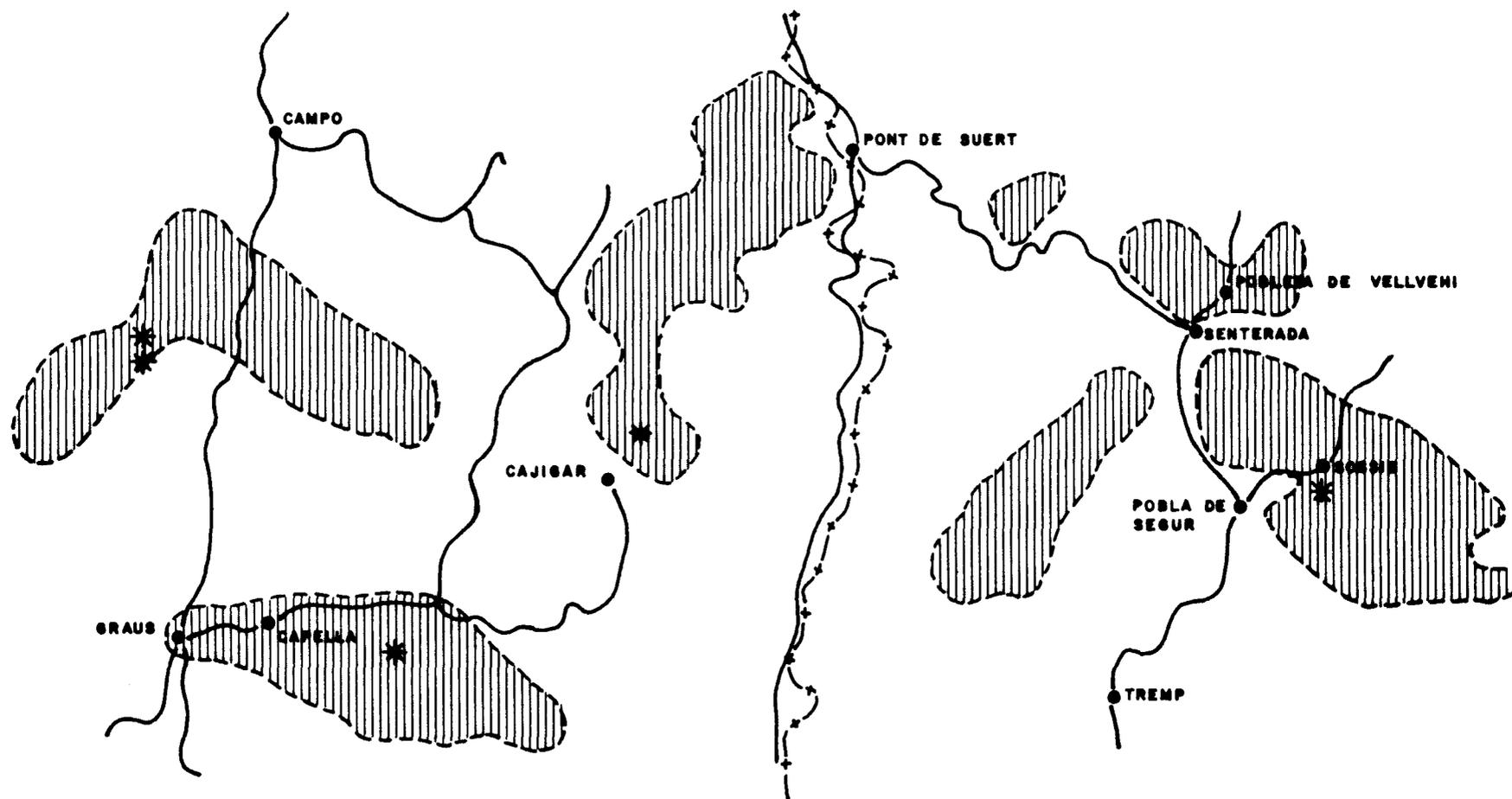
Estos objetivos se lograrían mediante:

- 1) El levantamiento de una cartografía geológica a escala 1:25.000, con el fin de resolver las relaciones estratigráficas y posibles complicaciones tectónicas.

- 2) La realización de una cartografía de facies en zonas preferentes a escala 1:10.000 para acotar el desarrollo espacial de las facies lacustres.
- 3) Levantamiento de columnas estratigráficas y su correspondiente correlación dado que es uno de los trabajos indispensables a realizar para la obtención de modelos deposicionales que son indispensables para la explotación racional de una formación geológica.
- 4) Realización de labores mineras (calicatas y pocillos) así como sondeos (S.E.V. y mecánicos de investigación) en los puntos que se consideren convenientes y de acuerdo con los resultados de las fases de investigación precedentes.

Como hipótesis de trabajo cabría pensar en la posibilidad de establecer un modelo deposicional situando el lignito en su contexto ambiental, que sería similar en ambas formaciones. Incluso no se descarta "a priori" una equivalencia entre la Fm. Escanilla y la parte más baja de la Fm. Collegats, dadas sus similitudes en cuanto a las características sedimentológicas y tectosedimentarias.

Las zonas sobre las que debería realizarse dicho estudio geológico y minero son las que se indican en la fig. 5.



LIMITE DE PROVINCIA



AREAS PROPUESTAS PARA FUTURAS INVESTIGACIONES



INDICIOS ESTUDIADOS EN EL PRESENTE TRABAJO



Figura 5.- Areas propuestas para futuras investigaciones

## **5.- BIBLIOGRAFIA**

5.- **BIBLIOGRAFIA**

- **CUEVAS GONZALO, M. (1.985 a).** Sedimentary Lobes in a tidally influenced alluvial area, Capella Formation, Tremp-Graus basin, Southern Pyrenees, Spain. Geol. Minjbonw 64 (in press).
- **CUEVAS GONZALO, M. (1.985 b).** Geometry and lithofacies of sediment bodies in a tidally influenced alluvial area, Capella Formation, Tremp-Graus, Southern Pyrenees, Spain.
- **CUEVAS GONZALO, M., DONSELAAR, M.E., NIO, S.D. (1.985).** Eocene clastic tidal deposits in the Tremp-Graus basin (Provs. of Lérida and Huesca). 6<sup>th</sup> European regional meeting. Excursion guidebook.
- **GARRIDO-MEGIAS, A. (1.968).** Sobre la estratigrafía de los conglomerados de Campanué (Santa Liestra) y formaciones superiores del Eoceno (extremo occidental de la cuenca de Tremp-Graus, Pirineo Central, provincia de Huesca). Acta Geol. Hisp. 3, 39-43.
- **GARRIDO-MEGIAS, A., RIOS ARAGUES, L.M. (1.972).** Síntesis geológica del Secundario y Terciario entre los ríos Cinca y Segre (Pirineo central de la vertiente sur pirenaica, provincias de Huesca y Lérida). Bol. Geol. Min. 83,1-47.
- **MEY, P.H., NAGTEGAAL, P.J., ROBERTI, K.J., HARTEVELT, J.J. (1.968).** Lithostratigraphic subdivision of post-hercynian deposits in the south-central Pyrenees, Spain, Leidse Geol. Mededelingen, vol. 41, p. 221-228.
- **NIJMAN, W, NIO, S.D, (1.985).** The Eocene Montañana delta (Tremp-Graus, provinces of Lérida and Huesca, southern Pyrenees, N. Spain). I.A.S. 9<sup>th</sup> intern. congr., Nice, part B, 20 + XXXVI pp.
- **PUIGDEFABREGAS, C. (1.975).** La Sedimentación molásica en la Cuenca de Jaca. Pirineos, nº 104.

- **ROBLES, S. (1.983).** Facies y secuencias de los sedimentos de abanico aluvial de Pobla de Segur (Lérida). Comunicaciones científicas presentadas al IX Congr. Nacional de Sedimentología. Ed. Univ. Salamanca.
  
- **ROBLES, S., ARDEVOL, L.F. (1.985).** Evolución paleogeográfica y sedimentológica de la cuenca lacustre de Sosis (Eoceno Superior, Prepirineo de Lérida): ejemplo de influencia de la actividad de abanicos aluviales en el desarrollo de la cuenca lacustre asociada. Publicaciones de geología nº 20 de la Univesidad Autónoma de Barcelona.
  
- **SEGURET, T. (1.972).** Etude tectonique des Nappes et serie décollées de la partie centrale du versant sud des Pyrénées. Publ. Ustela, Montpellier. Ser. Géol. Struct., 21, 1-155.