

**Departament de Geoquímica,  
Petrologia i Prospecció Geològica .**

**Facultat de Geologia  
Universitat de Barcelona .**



**Las formaciones evaporíticas  
del terciario continental  
de la cuenca del Ebro  
en Navarra y la Rioja.**

**Litoestratigrafía, petrología  
y sedimentología.**

**Josep Maria Salvany i Duran  
Abril, 1989**

Dept. Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica  
Facultat de Geologia  
Universitat de Barcelona

LAS FORMACIONES EVAPORITICAS DEL TERCARIO  
CONTINENTAL DE LA CUENCA DEL EBRO EN  
NAVARRA Y LA RIOJA. LITOESTRATIGRAFIA,  
PETROLOGIA Y SEDIMENTOLOGIA

Josep Maria Salvany i Duran  
Abril, 1989.

La presente Tesis Doctoral  
ha sido realizada por  
Josep Maria SALVANY i DURAN  
en el Departament de Geoquímica  
Petrologia i Prospecció  
Geològica de la Universitat  
de Barcelona, para optar al  
Grado de Doctor en Geologia.

Barcelona, Abril de 1989.

Josep M<sup>a</sup> Salvany i Duran

Visto bueno.

Federico Ortí Cabo  
Director de la Tesis Doctoral

## AGRADECIMIENTOS

Los trabajos que han llevado a la realización de la presente Tesis Doctoral se iniciaron en Julio de 1984 con motivo del "Programa de Investigación de las Formaciones Evaporíticas en Navarra", que fue financiado por el Gobierno de Navarra y realizado en la Universidad de Barcelona.

En el transcurso del citado Programa (1984-1986) ha tenido una participación decisiva el Dr. FEDERICO ORTI CABO, catedrático del Departament de Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica de la Universitat de Barcelona, director del Proyecto y director también de la Presente Tesis Doctoral, así como los geólogos del Servicio de Recursos Hidrológicos y Geología del Gobierno de Navarra: JAIME SOLE SEDO, ESTEBAN FACI PARICIO y JAVIER CASTIELLA MURUZABAL.

A estos geólogos debo referirme en primer lugar en este apartado de agradecimientos pues sin ellos no habría sido posible la realización del presente estudio.

También mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que han colaborado en los diferentes temas tratados en el mismo:

A los compañeros del Departament: a la Dra. MONTSERRAT INGLES por su participación en el muestreo y análisis de las arcillas de las formaciones estudiadas, así como por las diversas sesiones de microscopía electrónica que hemos realizado conjuntamente. A la Dra. LAURA ROSELL y al Dr. JUAN JOSE PUEYO, por los diferentes cambios de impresiones sobre temas de petrología y geoquímica, así como por los trabajos, publicaciones y otros documentos facilitados que me han sido de gran utilidad, así como a MIQUEL QUADRAS y a la Dra. ROSA UTRILLA, que han colaborado en la realización de algunos perfiles estratigráficos, y a JORDI ILLA, que me ha ayudado en el tratamiento de muestras en el laboratorio de petrología del Departamento. También al Dr. ALBERT CASAS, Director del Departamento, que en todo momento me ha facilitado los recursos disponibles del mismo con el fin de que mis trabajos hayan podido seguir su curso de la forma más satisfactoria.

A ARSENIO MUÑOZ, ANTONIO PEREZ y al Dr. JOAQUIN VILLENA, así como a los otros compañeros del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Zaragoza, con quien he tenido interesantes charlas y salidas de campo en las que hemos discutido aspectos estratigráficos y sedimentológicos que han sido fundamentales en el desarrollo de mi estudio. También quiero agradecer en esta ocasión la agradable acogida que me ha ofrecido la familia de Arsenio Muñoz en su casa de Grávalos (La Rioja), con motivo de algunos días de campo que hemos pasado conjuntamente.

Al Dr. PERE ANADON, del Instituto Jaime Almera del CSIC de Barcelona, con quien he tenido diversos encuentros con el fin de comentar los aspectos cronoestratigráficos de la Ribera navarro-riojana y regiones vecinas. Así como al Dr. ORIOL RIBA, del Departament de Geologia Dinàmica, Geofísica i Paleontologia de la Universidad de Barcelona, buen conocedor de la geología de Navarra y La Rioja, con quien también he tenido interesantes cambios de impresión sobre temas estratigráficos y estructurales, y que me ha facilitado documentos bibliográficos de difícil consulta.

De gran valor en este trabajo ha sido el material de sondeo que me han facilitado varias empresas geológicas o mineras:

A UNION SALINERA DE ESPAÑA, S.A., por los testigos correspondientes a los sondeos de prospección de glauberita del sector de Alcanadre-Arrūbal (La Rioja).

A REPSOL EXPLORACION, por el muestreo del sondeo Marcilla-1, realizado con fines de prospección petrolífera, que ha permitido el estudio petrográfico de los materiales cortados por el citado sondeo así como el hallazgo de niveles de glauberita de gran interés para el desarrollo de mi estudio.

También quiero dar mi agradecimiento a los propietarios y trabajadores de la empresa YESOS PAMPLONA S.A., por haberme facilitado en todo momento el acceso y muestreo de sus canteras en Mañeru (Navarra).

En los trabajos de laboratorio y gabinete debo también agradecer la ayuda ofrecida por los directores y compañeros de diversos servicios de la Universidad de Barcelona e Instituto Jaime Almera del CSIC de Barcelona:

Al Dr. RAMON FONTARNAU y los otros compañeros del Servei de Microscòpia Electrònica de la Universidad de Barcelona, que me han permitido un buen número de sesiones en los microscopios electrónicos, que han sido de gran interés en el desarrollo de mi estudio.

Al Dr. FELICIA PLANA y los compañeros JOSEP CHINCHON y JOSEP ELVIRA, del Instituto Jaime Almera del CSIC de Barcelona, que me han facilitado el análisis por difracción de Rayos-X de las muestras de arcillas, carbonatos y sulfatos correspondientes al área de estudio.

A ROSA MARIA MARIMON, EULALIA BALART y JAUME SANCHEZ, del Servei d'Anàlisi Geoquímica de la Universidad de Barcelona, que me han realizado el análisis geoquímicos de algunas de las muestras de yesos que se señalan en el texto.

A JOAN ROS y BERTA ANDRES, del Servei de Cartografia i Dibuix de la Facultat de Geologia, que han colaborado en la delineación de diversas figuras del presente trabajo.

Por sus consejos, ánimos y apoyo moral, también quiero referirme a mis amigos y compañeros de la Facultad de Geologia, ANA DE PAZ, JORDI GIMENEZ, JOSEP MITJAVILA, EDUARDO DOMINGUEZ, JOSE LUIS CUEVAS, LLUIS MERCADER, JOAN MARTI, XAVIER CASTELLTORT y LLUIS RIVERO.

Finalmente, no quisiera cerrar este apartado de agradecimientos sin hacer mención a la amabilidad y agradable trato que han tenido conmigo, en todo momento, las gentes de Navarra y La Rioja en el transcurso de los numerosos días de campo que en estas comunidades autónomas he llevado a cabo.

\* \* \* \*

# LAS FORMACIONES EVAPORITICAS DEL TERCIARIO CONTINENTAL

---

## DE LA CUENCA DEL EBRO EN NAVARRA Y LA RIOJA:

---

### LITOSTRATIGRAFIA, PETROLOGIA Y SEDIMENTOLOGIA.

---

#### 1.- INTRODUCCION.

1.1.- Area de estudio y objetivos. . . . .	1
1.2.- Metodología de trabajo. . . . .	3
1.3.- Antecedentes. . . . .	7

#### 2.- MARCO GEOLOGICO.

2.1.- Las formaciones evaporíticas continentales del Paleógeno y Neógeno de la Cuenca del Ebro. . .	13
2.2.- Estructura y estratigrafía del Terciario continental en el sector navarro-riojano de la cuenca del Ebro. . . . .	25
2.2.1.- Rasgos estructurales. . . . .	25
2.2.2.- Litoestratigrafía. . . . .	38
2.2.3.- Cronoestratigrafía. . . . .	54

#### 3.- LOS MEDIOS EVAPORITICOS CONTINENTALES Y SU EVOLUCION.

3.1.- Procesos sedimentarios y diagenéticos tempranos. .	68
3.1.1.- Lagos salinos continentales. Introducción.	68
3.1.2.- Evolución de las salmueras . . . . .	72
3.1.3.- Subambientes en un sistema evaporítico continental. . . . .	78
3.1.4.- Minerales primarios y secundarios. . . . .	81
3.2.- Procesos diagenéticos tardíos: enterramiento . . .	85
3.3.- Tectónica y diapirismo. . . . .	86
3.4.- Procesos diagenéticos tardíos: exhumación. . . . .	88

#### 4.- LAS FORMACIONES EVAPORITICAS.

4.1.- Los Yesos de PUENTE LA REINA. . . . .	95
4.1.1.- Características estratigráficas. . . . .	95
4.1.2.- Petrología. . . . .	100

4.1.2.1.-	El yeso y anhidrita . . . . .	102
4.1.2.2.-	Las arcillas . . . . .	104
4.1.3.-	Sedimentología . . . . .	106
4.2.-	Los Yesos de FALCES y LERIN. . . . .	111
4.2.1.-	Características estratigráficas de los Yesos de Falces. . . . .	111
4.2.2.-	Las Arcillas de Marcilla. . . . .	118
4.2.3.-	Características estratigráficas de los Yesos de Lerín. . . . .	127
4.2.3.1.-	Yesos de Los Arcos . . . . .	128
4.2.3.2.-	Arcillas de Villafranca. . . . .	132
4.2.3.3.-	Arcillas y Yesos de Lodosa . . . . .	133
4.2.3.4.-	Yesos de Sesma . . . . .	134
4.2.3.5.-	Arcillas y Yesos de Peralta. . . . .	136
4.2.3.6.-	Arcillas de Sartaguda. . . . .	137
4.2.3.7.-	Yesos, Arcillas y Areniscas de Alcanadre . . . . .	138
4.2.3.8.-	Arcillas y Yesos de Mendavia . . . . .	139
4.2.4.-	Petrología. . . . .	140
4.2.4.1.-	El yeso y la anhidrita . . . . .	141
4.2.4.2.-	Los carbonatos . . . . .	148
4.2.4.3.-	Las arcillas . . . . .	151
4.2.4.4.-	Las areniscas . . . . .	155
4.2.5.-	Sedimentología . . . . .	158
4.2.5.1.-	El modelo de playa-lake para las formaciones Falces y Lerín . . . . .	158
4.2.5.2.-	Características secuenciales . . . . .	161
4.3.-	Los Yesos de MONTEAGUDO. . . . .	189
4.3.1.-	Características estratigráficas. . . . .	189
4.3.2.-	Petrología . . . . .	192
4.3.2.1.-	El yeso primario . . . . .	192
4.3.2.2.-	El yeso secundario . . . . .	195
4.3.2.3.-	El carbonato . . . . .	298
4.3.2.4.-	El sílex . . . . .	298
4.3.2.5.-	Las arcillas . . . . .	199
4.3.3.-	Sedimentología. . . . .	203
4.3.4.-	Procesos diagenéticos . . . . .	206
4.4.-	Los Yesos de RIBAFLECHA. . . . .	209
4.4.1.-	Características estratigráficas. . . . .	209
4.4.2.-	Petrología . . . . .	210
4.4.3.-	Sedimentología . . . . .	213

4.5.- Evolución paleogeográfica de las formaciones evaporíticas en el sector occidental de la cuenca del Ebro. . . . .	.229
5.- <u>YACIMIENTOS DE SULFATO SODICO-CALCICO (GLAUBERITAS) EN LAS FORMACIONES FALCES Y LERIN.</u>	
5.1.- Antecedentes . . . . .	.239
5.2.- Yacimiento de Alcanadre-Arrúbal (Fm. Lerín). . . . .	.244
5.2.1.- Características del yacimiento.. . . .	.244
5.2.2.- Petrología de los materiales. . . . .	.253
5.2.2.1.- La glauberita. . . . .	.254
5.2.2.2.- La polihalita. . . . .	.258
5.2.2.3.- La halita. . . . .	.261
5.2.2.4.- La magnesita . . . . .	.262
5.3.- Glauberitas del sondeo de Marcilla (Yesos de Falces). . . . .	.262
5.4.- Génesis y evolución de los yacimientos de las formaciones Falces y Lerín. . . . .	.265
5.4.1.- El modelo de playa-lake con desarrollo de Glauberita-Polihalita-Magnesita . . . . .	.265
5.4.2.- Precipitados primarios y diagénesis temprana . . . . .	.267
5.4.3.- Procesos retrodiagenéticos. . . . .	.271
5.4.4.- Diagénesis tardía. . . . .	.271
5.4.5.- Significado sedimentológico de los yacimientos de glauberita. . . . .	.273
5.5.- Comparación con otros yacimientos peninsulares . . . . .	.274
5.5.1.- Villarrubia de Santiago. . . . .	.274
5.5.2.- Cerezo de Río Tirón. . . . .	.276
6.- <u>GEOQUIMICA.</u>	
6.1.- El Br en la sal. . . . .	.299
6.2.- El Sr en el yeso y la anhidrita. . . . .	.300
6.2.1.- Motivo del estudio. . . . .	.300
6.2.2.- Metodo analítico utilizado. . . . .	.303
6.2.3.- Discusión de los resultados. . . . .	.306
6.2.3.1.- Muestras correspondientes a los Yesos de Falces y Lerín. . . . .	.306

6.2.3.2.- Muestras correspondientes a los Yesos de Monteagudo. . . . .	.312
6.3.- Composición isotópica de los sulfatos. . . . .	.317
7.- <u>ASPECTOS GEOECONOMICOS DE LAS FORMACIONES EVAPORITICAS.</u>	
7.1.- El Yeso . . . . .	.321
7.1.1.- Antecedentes . . . . .	.321
7.1.2.- El Yeso como producto tecnológico . . . . .	.322
7.1.3.- Valoración analítica de la roca de yeso . . . . .	.328
7.1.4.- Prospección de zonas yesíferas con interés económico. . . . .	.336
7.2.- La Sal gema (halita) . . . . .	.346
7.3.- El Sulfato sódico (glauberita) . . . . .	.349
8.- <u>RESUMEN Y CONCLUSIONES</u> . . . . .	.371
9.- <u>BIBLIOGRAFIA.</u> . . . . .	.365

## 1.- INTRODUCCION.

## 1.- INTRODUCCION.

### 1.1.- AREA DE ESTUDIO Y OBJETIVOS.

El presente estudio se ha centrado en las formaciones evaporíticas que se sitúan en el Terciario continental del sector navarro-riojano de la cuenca del Ebro (figs. 1 y 3). Estas formaciones, cuya edad abarca desde el Oligoceno basal hasta el Mioceno medio, son conocidas desde los trabajos de CASTIELLA et.al. (1978) con los nombres de "Yesos de Puente La Reina", "Yesos de Falces", "Yesos de Lerín" y "Yesos de Monteagudo". También hemos considerado en este estudio a los "Yesos de Ribaflecha" descritos por CASTIELLA et.al. (1976).

Los Yesos de PUENTE LA REINA se sitúan justo en la base de la serie terciaria continental y son equivalentes a las unidades "Y<sub>1</sub>" de RIBA y PEREZ MATEOS (1962) y a los "Yesos de Undiano" de PUIGDEFABREGAS (1975). Sus materiales afloran en unos pocos puntos, situados en la franja septentrional de la Ribera de Navarra, muy deformados por la tectónica y diapirismo. Su composición mineral es básicamente de yeso secundario y anhidrita, aunque también se han citado niveles de halita en profundidad (DEL VALLE y PUIGDEFABREGAS, 1978).

Los Yesos de FALCES es la unidad evaporítica que tiene mayor desarrollo en extensión y potencia de las estudiadas. Equivalen a las unidades "Y<sub>2</sub>" o "Yesos de Desojo" de RIBA y PEREZ MATEOS (1962) y a los "Yesos de Tafalla" de PUIDEFABREGAS (1975). Aunque en su mayor parte esta unidad se halla en subsuelo, aflora ampliamente en los núcleos de los principales anticlinales de la Ribera de Navarra, donde sus materiales se observan normalmente muy afectados por diapirismo y tectónica. Está compuesta básicamente por yeso secundario y anhidrita, aunque los niveles de halita están bien desarrollados en subsuelo tal como se ha podido constatar en el sondeo MARCILLA-1. En este mismo sondeo hemos identificado también diversos niveles de glauberita.

Los Yesos de LERIN presentan unas características litológicas muy similares a los de Falces aunque constituyen

una unidad de dimensiones mucho menores. Afloran extensamente en Navarra y también en La Rioja Baja, formando los flancos de los anticlinales de la estructura de plegamiento que caracteriza la región. La unidad "Y<sub>3</sub>", "nivel R" o "Yesos de Los Arcos" de RIBA y PEREZ MATEOS (1962), equivale sólo al nivel superior de los Yesos de Lerín, que con carácter más amplio definieron CASTIELLA et.al. (1978). Está constituida por yeso secundario, anhidrita, halita, arcillas, carbonatos y areniscas (estas dos últimas litologías de forma subordinada). También incluye diversos yacimientos de glauberita-polihalita. Dentro de esta unidad también hemos incluido a los Yesos de AUTOL, de CASTIELLA et.al. (1977c).

Los Yesos de MONTEAGUDO (CASTIELLA et.al. 1977a) afloran en el extremo meridional de Navarra. A pesar de su escasa extensión y potencia, presenta un notable interés petrológico y sedimentológico por sus características bien diferentes de las de las otras unidades citadas. Está compuesta por yeso primario y secundario, carbonatos y sílex (se desconoce si hay anhidrita o halita en subsuelo por falta de datos).

Los Yesos de RIBAFLECHA, afloran en el borde mismo de la cuenca con la Sierra de Cameros, entre las localidades riojanas de Ribaflecha y Ventas Blancas. Equivale a la unidad "T<sub>C11-12</sub><sup>Ba</sup>" de la Fm. Alfaro de CASTIELLA et.al. (1976). Está constituida por yeso secundario y probablemente anhidrita (no tenemos datos de subsuelo de esta unidad).

A pesar de que estas formaciones evaporíticas han sido más o menos citadas y descritas estratigráficamente por varios autores (ver antecedentes) propiamente no se ha abordado su estudio petrológico y genético hasta el presente trabajo. En este sentido, los objetivos por nosotros planteados pueden resumirse en los siguientes puntos:

- 1) Recopilación y síntesis de los datos geológicos existentes hasta la fecha sobre la región navarro-riojana de la cuenca del Ebro.
- 2) Caracterización estratigráfica y petrológica de las formaciones evaporíticas que hemos enumerado, dentro del contexto de la cuenca terciaria continental.

3) Interpretación sedimentológica y paleogeográfica de las formaciones evaporíticas

4) Interpretación petrogenética de los yacimientos de sulfatos sódico-cálcicos de las formaciones Falces y Lerín, y comparación con los otros yacimientos peninsulares de características similares.

5) Valoración de las evaporitas continentales navarro-riojanas como recurso geoeconómico.

## 1.2.- METODOLOGIA DE TRABAJO.

### A) Trabajo de campo:

Ha consistido en un intenso reconocimiento del área de estudio y sus afloramientos, con levantamiento de 25 perfiles estratigráficos (tabla 1) en los que se ha efectuado el muestreo de las diferentes litologías aflorantes (tabla 2). A este material debe sumarse el de los testigos de sondeo de varias perforaciones (tabla 1), cuyo muestreo ha sido facilitado por las empresas propietarias: sondeos RIOJA-1, 2, 3 y ALCANADRE-1 de "Unión Salinera de España, S.A."; sondeo MARCILLA-1 de "REPSOL-Exploración"; y sondeo ARIZALETA del Gobierno de Navarra.

En las zonas de mayor interés también se han realizado trabajos de cartografía (Fig. A-1), con el fin de estudiar los cambios laterales y verticales de las unidades evaporíticas y correlacionar los perfiles estratigráficos. En esta labor ha sido de gran ayuda el análisis fotogeológico del área de trabajo.

También se ha realizado un inventario de canteras (y otras explotaciones), abandonadas o en activo, en las formaciones evaporíticas con estudio petrológico y análisis geoquímico de sus facies. Este último punto será desarrollado en el capítulo de "Aspectos geoeconómicos".

TABLA núm 1				
UNIDAD	LOCALIDAD	SERIE	SONDEO	FIGURA
Puente La Reina .	Mañeru Arizaleta	MA	AZ	
Falces. . . . .	Peralta Larraga Marcilla	PE-b LA	MA	A-10 A-13 27
Marcilla . . . . .	Caparroso	CP-b		A-12
Lerín . . . . .	Los Arcos Lerín Sesma Cárcar Lodosa E. Aradón Sartaguda Peralta Caparroso Allo Autol Alcanadre Alcanadre Alcanadre Alcanadre	AR LE SE CA LO EA SA PE-a CP-a AL AU		A-2 A-3 A-4 A-5 A-6 A-7 A-8 A-9 A-11 A-15 A-16 R-1 R-2 R-3 A-1 52
Tudela . . . . .	Buñuel	BU		A-14
Monteagudo . . . .	Ablitas Ablitas Ablitas Ablitas Ablitas Ablitas Ablitas Ablitas Monteagudo	ABA ABB ABC ABD ABE ABF ABH CMO		A-21 A-21 A-21 A-21 A-21 A-21 A-21 A-21 A-21
Ribaflecha . . . .	V. Blancas	VB		A-17

La Tabla número 1 muestra la relación de las serie y sondeos estudiados, indicando las siglas que hemos utilizado para hacer referencia a los mismos y las figuras donde se hallan detallados.

B) Trabajo de gabinete:

El material muestreado ha sido estudiado desde diferentes puntos de vista, tal como se indica en las tablas 2 y 3.

Las láminas delgadas han sido realizadas en su mayor parte en el laboratorio del Depto. de Mineralogía de la Universidad de Granada. También han sido realizadas en los servicios de preparaciones de la Facultad de Geología de Oviedo y de la Facultad de Geología de Barcelona.

Los análisis de microscopía electrónica y microanálisis EDAX, enfocados básicamente al estudio de carbonatos (micritas) y algunos sulfatos, se realizaron en el Servicio de Microscopía Electrónica de la Universidad de Barcelona.

TABLA n.º 2	1 Pte. La Reina		4 Monteagudo				total
	2 Falces		5 Ribaflecha				
	3 Lerín		6 otras				
	1	2	3	4	5	6	
yeso pr.	-	-	-	12	-	-	12
yeso sec.	11	13	115	18	12	7	176
anhidrita	5	1	11	-	-	-	17
glauberita	-	2	28	-	-	-	30
polihalita	-	-	4	-	-	-	4
halita	-	4	6	-	-	-	10
carbonatos	-	-	12	7	4	1	24
arcillas	11	12	86	10	10	20	149
areniscas	-	2	10	1	-	7	20
eflorescencias	-	1	3	-	-	-	4
sílex	-	-	2	4	-	-	6

La Tabla número 2 muestra el número y tipo de litologías muestreadas en las formaciones motivo del presente estudio.

Los análisis por difracción de Rayos-X se han realizado en el Instituto de Geología Jaime Almera, del CSIC, de Barcelona, y en el Depto. de Cristalografía y Mineralogía de la Facultad de Geología de Barcelona. Han consistido en el análisis de sulfatos y carbonatos (análisis de roca total), así como de arcillas. En este último caso se han preparado agregados orientados de la fracción arcillosa separada de las lutitas y se ha estudiado el espectro de cada muestra en sus estados normal, glicolado y calcinado a 450°C.

Los análisis químicos de Br, Sr y roca total (elementos mayoritarios) se realizaron en el Servicio de Análisis Químico de la Facultad de Geología de Barcelona.

Los métodos analíticos e interpretativos utilizados en cada caso se expondrán en los sucesivos capítulos.

TABLA n.º 3	n.º. muestras
laja pulida	58
lámina delgada	251
microscopia electrónica	44
microanálisis EDAX	15
difracción r-X roca total	150
difracción r-X arcillas	82
análisis (sulfatos) roca total	25
análisis Br en la halita	7
análisis Sr en sulfatos Ca	118

La Tabla número 3 muestra el tipo de tratamiento dado a las muestras y la cantidad de muestras analizado en cada caso.

### 1.3.- ANTECEDENTES.

---

En este apartado haremos referencia sólo a los trabajos de geología, en sus diferentes especialidades, referidos a nuestra área de trabajo (Terciario continental de Navarra y La Rioja). Referencias a otros trabajos relacionados con los temas tratados en esta memoria se irán ofreciendo en sus apartados correspondientes. No obstante, sí quisiéramos hacer constar en esta ocasión, por su mayor relevancia, las Tesis doctorales realizadas sobre Terciario continental en la cuenca del Ebro, que pasamos a citar en primer lugar:

En 1969 finaliza su Tesis doctoral en la Universidad de Zaragoza José QUIRANTES PUERTAS, sobre estratigrafía y sedimentología del Terciario continental de los Monegros, que fue publicada en 1978 por la institución zaragozana "Fernando el Católico", del C.S.I.C. En esta tesis se trata detalladamente las facies lacustres (carbonatos y evaporitas) y detríticas del Mioceno aragonés, con especial referencia a las formaciones yesíferas de Zaragoza y Barbastro.

En 1974 lo hace Cayo PUIGDEFABREGAS TOMAS, sobre la sedimentación molásica en la cuenca de Jaca, que aunque hace principalmente referencia a las facies marinas del Paleógeno surpirenaico, también realiza un detallado estudio de las facies continentales del Mioceno en la propia cuenca de Jaca y en su enlace con la Ribera de Navarra. Esta Tesis, leída en la Universidad de Barcelona, fue publicada en 1975 por la revista "Pirineos" como volumen monográfico.

Otras Tesis doctorales presentadas en la Universidad de Barcelona sobre estratigrafía y sedimentología son las de: Pedro ANADON MONZON (1978), sobre el Paleógeno continental anterior a la transgresión Biarritziense, en el margen oriental de la cuenca entre los ríos Gaiá y Ripoll (prov. Barcelona); Ferran COLOMBO PIÑOL (1979) sobre el Terciario inferior del margen Sureste de la cuenca (prov. de Tarragona); Lluís CABRERA PEREZ (1983), sobre las formaciones lacustres del tránsito Oligoceno-Mioceno en el S.E. de la cuenca del Ebro (provs. de Zaragoza, Huesca, Lérida y Tarragona); y más recientemente la de Alberto SAEZ RUIZ (1987) sobre las formaciones lacustres del tránsito Eoceno-Oligoceno en las provincias de Barcelona, Lérida y Huesca.

En 1976 presenta su Tesis Doctoral en la Universidad de Cambridge (Inglaterra) S.J. BIRNBAUM, sobre evaporitas y carbonatos continentales de la cuenca del Ebro, que aporta importantes datos geoquímicos y sedimentológicos sobre estos materiales sedimentarios.

También es de destacar como estudio petrológico y geoquímico referido a las arcillas terciarias de la cuenca del Ebro en su sector catalán, la Tesis doctoral de Montserrat INGLES URPINELL, que fue presentada en la Universidad de Barcelona en 1983. Así como la Tesis de Juan MANDADO COLLADO (1987) sobre petrología y geoquímica de las litofacies yesíferas del Terciario aragonés de la cuenca del Ebro, por la Universidad de Zaragoza.

Finalmente queremos hacer constar también en este apartado las Tesis doctorales de Juan José PUEYO MUR (1975) y Laura ROSELL ORTIZ (1983) que se refieren respectivamente a las formaciones potásicas del Eoceno superior en Cataluña y Navarra. Se trata de estudios petrológicos, sedimentológicos y geoquímicos de las citadas formaciones evaporíticas y del tránsito a las facies continentales.

\* \* \* \*

Por lo que se refiere propiamente al sector navarro-riojano de la cuenca del Ebro, podemos considerar que el grado de conocimiento sobre su geología ha ido avanzando en líneas generales por décadas:

Antes de los años 50 los trabajos geológicos son escasos. De entre éstos merecen ser destacados los de LLOPIS LLADO (1945), sobre la estructura de Navarra y los enlaces occidentales del Pirineo; HERNANDEZ PACHECO (1949) sobre la región de Las Bardenas, y RUIZ DE GAONA, VILLALTA y CRUSAFONT (1946) quienes describen el primero y uno de los más conocidos yacimientos de vertebrados de esta región.

Los años 50 y 60 suponen realmente el comienzo de la investigación geológica de la Ribera de Navarra y La Rioja. En este periodo destacan principalmente los trabajos de Oriol RIBA ARDERIU, quien resuelve en líneas generales la estratigrafía de sus materiales: RIBA (1955a, 1955b, 1964, 1966, 1976); RIBA y BOMER (1957); RIBA y PEREZ MATEOS

(1962); RIBA y MENSUA (1964); CRUSAFONT, TRUYOLS y RIBA (1966) y RIBA, REGUANT y VILLENA (1983). De estos trabajos son de especial relevancia los publicados en los años 1955a, 1964 y 1966, que ofrecen una interesante visión estratigráfica y cartográfica de síntesis del Terciario continental en Navarra y La Rioja.

En 1962, con motivo del "Ier Coloquio Internacional sobre las Obras Públicas en los Terrenos Yesíferos" se presentan también otros trabajos de RIBA: BOMER y RIBA (1962) y RIBA y LLAMAS (1962), a los que se suman otros estudios como el de ALMELA (1962), sobre tectónica yesífera en la cuenca del Ebro. Este mismo año se presenta también la Tesis doctoral de LLAMAS, que trata de los aspectos geotécnicos de los terrenos yesíferos en la construcción de canales en la cuenca del Ebro.

Otros trabajos publicados en este periodo fueron los de SOLE SABARIS (1953, 1954), que hacen referencia respectivamente a las deformaciones recientes en las terrazas del río Ebro y algunos afluentes por causas diapíricas, y a la estratigrafía de las Bârdenas; BOMER (1954), AITKEN (1954) y BRINKMANN (1956, 1957), sobre el Terciario meridional de la cuenca del Ebro en La Rioja; ALASTRUE (1953, 1954, 1958) sobre el Terciario y Cuaternario en el sector de Ejea de Los Caballeros y Tauste, y los de ALMELA y RIOS (1952, 1960-62) sobre la estructura del Pirineo y sus sedimentos terciarios en su sector central y occidental.

También, durante estas dos décadas, y especialmente en los años 60, tienen lugar en este sector de la cuenca del Ebro diversas campañas de prospección petrolera que aportan importantes datos de subsuelo. A este periodo corresponden los sondeos de: MARCILLA-1, realizado en 1953 por VALDEBRO, que llegó a una profundidad de 3415 m. en pleno centro de la Ribera de Navarra; ARNEDO-1, de 1962, por AMOSPAIN, con una profundidad de 1576 m.; así como los de TAUSTE-1 (COPAREX, 1963, 3329 m.); SANGÜESA-1 (ENPENSA, 1962, 4776 m.); EJEA-1 (ESSO, 1963, 3129 m.), ALLOZ-1 (CIEPSA, 1959, 3231 m.) y PAMPLONA SUR-1 (VALDREBRO, 1961, 2457 m.). Un resumen publicado de estos sondeos y otros del resto de la cuenca del Ebro figuran en IGME (1987). Sobre el potencial petrolero del Terciario en Navarra y La Rioja también son de destacar los trabajos de ALMELA (1958); RIOS (1959) y MARTINEZ ABAD (1972).

Un nuevo avance importante se produce durante los años 70 a través de los geólogos de la Diputación Foral de Navarra, Jaime SOLE SEDO, Javier CASTIELLA MURUZABAL, Cayo PUIGDEFABREGAS TOMAS y otros, así como por Joaquín DEL VALLE LERSUNDI, Ingeniero de Minas. Todos ellos realizaron la cartografía detallada del territorio de Navarra a escala 1:25.000 y 1:50.000. Como síntesis de estas cartografías, CASTIELLA, SOLE y DEL VALLE (1978) publican el "Mapa Geológico de Navarra" a escala 1:200.000, que supone una importante aportación al conocimiento de la geología de Navarra.

Otros trabajos destacables de este grupo de geólogos son los presentados por SOLE SEDO (1972), como Tesis de Licenciatura sobre la Fm. Mués en el sector navarro de Los Arcos-Desojo; y los de SOLER y PUIGDEFABREGAS (1970, 1972); PUIGDEFABREGAS (1973, 1974, 1975) y PUIGDEFABREGAS, RUPKE y SOLE (1975) sobre el Terciario Surpirenaico de la cuenca de Jaca y su terminación occidental en la Ribera de Navarra.

También en estos años 70 el Instituto Geológico y Minero de España publica varias hojas 1:50.000 que comprenden parte del Terciario continental de La Rioja y Navarra: en 1976 las hojas de LOGROÑO y SADABA; en 1977 las de LODOSA, ALFARO, TARAZONA, TAUSTE y CALAHORRA; y en 1978 las de PAMPLONA y AOIZ. Estas hojas, firmadas por CASTIELLA, DEL VALLE, SOLE, PUIGDEFABREGAS, BEROIZ y RAMIREZ DEL POZO, entre otros, corresponden a las que originalmente se realizaron bajo la dirección de la Diputación de Navarra y que no fueron publicadas.

Nuevos sondeos petroleros de gran profundidad se realizaron en el extremo occidental de la cuenca en la segunda mitad de los años 70: se trata de los RIOJAS-1, 2, 3, 4, y 5, en las proximidades de Logroño, que fueron realizados respectivamente en 1976, con 4433 m.; en 1977, con 3601 m.; en 1979, con 5395 m.; en 1979, con 3983 m. y en 1983, con 4437 m. Todos ellos realizados por CAMPSA.

A partir de 1980 se inicia una nueva etapa de investigación, a través de diversas Facultades de geología, que aportan numerosos trabajos y publicaciones sobre el tema del Terciario continental:

Sobre estratigrafía y tectónica en la depresión de Arnedo (La Rioja) son de destacar los de ORTEGA y PEREZ LORENTE (1984), MUÑOZ (1985), MUÑOZ, PARDO y VILLENA (1986); CASAS SAINZ (1988a y 1988b) y PEREZ LORENTE (1988).

En la región de Tarazona-Tudela lo son los de PEREZ y MUÑOZ (1985, 1986, 1988), PEREZ, MUÑOZ, PARDO y ARENAS (1988); PEREZ et.al. (1988a, 1988b), que tratan también de estratigrafía ; y los de GONZALEZ (1982); GONZALEZ y GALAN (1984) y MANDADO y TENA (1988), sobre petrología de evaporitas y arcillas. En la región de Las Bârdenas GRACIA PRIETO (1983) y GRACIA PRIETO y SIMON GOMEZ (1986) estudian respectivamente su geomorfología y tectónica.

Otros trabajos que hacen referencia a la neotectónica y diapirismo cuaternario de los materiales terciarios en el margen Sur de la cuenca son los de PEREZ LORENTE (1983, 1985, 1987); MENSUA y BIELZA (1974); ATARES, ORTEGA y PEREZ LORENTE (1983) y CASAS y BENITO (1988).

En estos años, los trabajos de paleontología también son diversos, aunque sólo se refieren al Mioceno del borde meridional de la cuenca: ASTIBIA MORALES y SES (1981); AZANZA (1983, 1986); CUENCA (1983, 1985); AZANZA, CALVO y GIL (1983); ASTIBIA, MAZO y MORALES (1984); VALDES, SESE y ASTIBIA (1986); y AZANZA, CANUDO y CUENCA (1988).

Algunos de los resultados sobre estratigrafía, petrología y sedimentología obtenidos en la presente Tesis doctoral fueron presentados de forma preliminar en la memoria del "Programa de Investigación de las Formaciones Evaporíticas en Navarra" (ORTI y SALVANY, 1986a), así como en varios congresos como comunicaciones, posters o guías de excursiones: ORTI y SALVANY (1986b), ORTI, SALVANY, QUADRAS y PUEYO (1986), ORTI, SALVANY, ROSELL, PUEYO e INGLES (1986), ORTI y SALVANY (1987), SALVANY (1988), ORTI, SALVANY, ROSELL e INGLES (1989), y ORTI, SALVANY, ROSELL, INGLES y PUEYO (1989).