ESTRATIGRAFÍA Y SEDIMENTOLOGÍA DEL TERCIARIO DE LA REGIÓN DE BARDENAS REALES (ARAGÓN Y NAVARRA)

Jesús Ignacio Navarro Jiménez
(Universidad de Zaragoza)

INTRODUCCIÓN

En el sector central de la Cuenca del Ebro, compartida geográficamente por las Comunidades Autónomas de Aragón y Navarra, se encuentra la región de Bardenas Reales.

Dicho área se encuentra comprendida entre las localidades de Tudela de Navarra, Sádaba y Ejea de los Caballeros, estando limitada por los ríos Ebro, Aragón y Arba.

Geomorfológicamente, esta región esta integrada por un conjunto de páramos y cerros aislados (producto del encajamiento de la red de drenaje plio-cuaternaria), constituidos por una sucesión de materiales terciarios (Mioceno inferior y medio) con unas litofacies terrígeno-carbonatadas (lutitas, areniscas, margas y calizas).

Estas facies corresponden a la zona distal de los aportes de abanicos aluviales de procedencia ibérica y pirenaica, junto con una zona central de Cuenca donde se producía una sedimentación de tipo palustre y lacustre de tipo carbonatada y/o evaporítica, según la concentración en sales.

Los materiales aluviales de procedencia ibérica aquí aflorantes, pertenecen a las Formaciones Alfaro y Arcillas de Tudela (Solé Sedó, 1977), mientras que los de origen pirenaico son los de la Formación Areniscas de Ujué (Castiella *et al.*, 1978).

Los materiales margo-calizos y evaporíticos (yesos) de centro de la Cuenca, se corresponden con las Formaciones Calizas de Sancho Abarca (Alastrué, 1954) y Zaragoza (Quirantes, 1978).

ANTECEDENTES

2.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO ESTRATIGRÁFICO DEL SECTOR NAVARRO DE LA CUENCA DEL EBRO

Cuando a finales del siglo XIX, se elabora la primera serie del Mapa Geológico de España, es Lucas Mallada (1882), quien realiza el primer reconocimiento geológico con rigor científico de la Comunidad Foral de Navarra. Su trabajo resulta ser, esencialmente, estratigráfico.

Es este autor, quien señala por primera vez los diferentes materiales del Oligoceno y del Mioceno en esta provincia foral.

Más tarde, en la primera mitad del siglo XX, van apareciendo algunos otros trabajos adicionales que de alguna manera, amplían los conocimientos geológicos existentes de la región navarra.

De esta manera, los trabajos de López de Zubiría *et al*. (1942), establecen una cartografía, a lo largo de la carretera nacional que une las localidades de Alsasua con Cortes de Navarra.

Los trabajos de Marín (1945), quien abarca en su estudio el sector navarro de la Cuenca del Ebro, se centran en la estratigrafía, tectónica y yacimientos minerales del mismo.

Hernández-Pacheco (1947), realiza una descripción de los terrenos que quedan al noreste de nuestra zona de estudio (Bardenas Reales).

En 1949, este mismo autor, analiza pormenorizadamente, los aspectos geomorfológicos de la región de Bardenas Reales y elabora una primera historia geológica y geomorfológica postorogénica de la misma. Posteriormente, realizaría una descripción somera de la estratigrafía de los materiales del Mioceno medio de las Bardenas Reales.

Solé Sabaris (1954), se centra en la estratigrafía de las Bardenas Reales, y trata el problemático límite Oligoceno-Mioceno existente, aplicando los principios generales existentes sobre el limite Oligoceno-Mioceno que se establecían para el sector occidental de la Cuenca del Ebro.

Alastrué (1953, 1954 y 1958), realiza el primer perfil estratigráfico del Mioceno de las Bardenas, definiendo las secuencias de somerización lacustres presentes en el Mioceno medio bardenero y estableciendo en esas calizas la Formación Calizas de Sancho Abarca.

En 1956, este mismo autor, abordaría en este caso, el estudio de la geología de toda la Comunidad Foral de Navarra, describiendo, por zonas, la estratigrafía y la tectónica que caracterizan a cada unidad (presencia de pliegues de dirección NO-SE, y de extensos mantos de depósitos cuaternarios, al norte de nuestra zona de estudio).

En la década de los sesenta, continúan los trabajos a escala regional sobre diversos aspectos de la geología de Navarra.

Así, Riba (1955, 1957, 1960, 1961, 1964), Crusafont, Truyols y Riba (1966), hacen una actualización de los datos publicados sobre la estratigrafía del Terciario, en lo referente al límite del Oligoceno-Mioceno.

Posteriormente, estos autores analizarían seriamente este problema estratigráfico para aplicarlo toda la zona riojana y navarra, con la ayuda del estudio de los yacimientos de vertebrados terciarios del sector occidental de la Cuenca del Ebro.

A partir de 1968, la entonces Diputación Foral de Navarra, promovió el "*Plan General de Investigación de los Recursos del Subsuelo de Navarra",* cuyos objetivos eran estudiar los recursos naturales, hidrogeológicos y minerales de Navarra, definir su localización e importancia, sus calidades y sus posibles aprovechamientos.

En esos mismos años, se realiza un profundo estudio geológico, que da como resultado la elaboración de una extensa cartografía geológica a escala 1:25.000.

Con la síntesis cartográfica de la misma, se publicó en 1978, un excelente mapa geológico de Navarra a escala 1:200.000 (Castiella *et al.,* 1978).

El personal técnico de la Diputación Foral que elaboró dichos trabajos, participó posteriormente en la realización de los mapas de la serie MAGNA nacional, publicados sobre la región.

Puigdefábregas (1973 y 1975), describe la sedimentación molásica de la Cuenca de Jaca y parte de los depósitos detríticos de Point-Bar existentes, en los materiales miocenos de la Cuenca del Ebro, llegando hasta los Conglomerados de Gallipienzo y de la Sierra de San Pedro.

Entre los años 1975-1977 y 1979-1982, se acometió la realización del "*Proyecto Hidrogeológico de Navarra*", que se plasmó en una publicación por parte de Castiella *et al*. (1982).

En 1983, se publica el segundo tomo del "*Libro Jubilar"* de J. M. Ríos, en el que autores como Riba, Reguant y Villena, se encargan de elaborar la síntesis geológica de la Cuenca Terciaria del Ebro, incluyendo su parte occidental navarra.

En esta obra, se hace una importante revisión de las principales Formaciones definidas en ella y de la cronoestratigrafía existente, estableciendo los equivalentes laterales entre ellas y la evolución de la Cuenca del Ebro durante todo el Terciario.

Los autores Ortí y Salvany (1986); Ortí *et al*. (1986, 1990); Salvany y Ortí (1987) y Salvany (1989b, 1989c), publican trabajos de carácter petrológico y

estratigráfico, referentes a las formaciones evaporíticas presentes en el sector navarro y riojano de la Cuenca del Ebro, cuya recopilación se puede encontrar en la Tesis Doctoral de Salvany (1989a).

Posteriormente, se llevan a cabo interesantes trabajos sobre la mineralogía asociada a las facies lacustres de este sector de la Cuenca del Ebro (Inglés *et al.,* 1998; Utrilla *et al.,* 1991).

2.2 ANTECEDENTES ESTRATIGRÁFICOS DE LA REGIÓN DE BARDENAS REALES

Los diferentes autores que han trabajado en la Cuenca del Ebro, han empleado diversas denominaciones para trabajar con las distintas unidades estratigráficas presentes en ella.

Debido a la escasez general de datos paleontológicos y paleomagnéticos rigurosos, existente hasta hace escasos años en la Cuenca del Ebro, estos autores trabajaron la estratigrafía de la región atribuyendo edades, basándose fundamentalmente, en la posición estratigráfica relativa de unos materiales con respecto a otros (Estratigrafía clásica).

Es de destacar, la dificultad que entraña el establecer equivalencias de este modo entre unas unidades y otras, debido fundamentalmente a una serie de factores como:

- La amplia extensión espacial abarcada.
- Los frecuentes cambios laterales de facies existentes.
- Las escasas dataciones fiables existentes para estos materiales.

Los materiales terciarios más antiguos que afloran en el sector navarro de la Cuenca del Ebro, pertenecen al Oligoceno y corresponden a la Formación Areniscas y margas de Mués (situados al norte de nuestra zona de estudio), a las que **Hernández (1987),** asigna una edad Headoniense-Sueviense.

Estas Areniscas y margas de Mués, pasan lateralmente a los materiales de la Formación Yesos de Desojo, según este mismo autor.

Esta Formación Yesos de Desojo, es la también llamada Formación Falces de Castiella *et al.* (1978).

En esta Formación Falces, Castiella incluye los Yesos de Falces, las Arcillas de Marcilla, los Yesos de Cárcar y las Facies de Lodosa.

Por otro lado, **Solé Sedó (1977),** denomina Formación Falces, al conjunto de los Yesos de Falces más las Arcillas de Marcilla de Castiella, y denomina

posteriormente Formación Cárcar, al conjunto de los Yesos de Cárcar y la Facies de Lodosa de Castiella.

Para Solé Sedó, estos materiales son de edad Stampiense, sin embargo, para Hernández son de edad Headoniense-Sueviense.

Salvany (1989), llama al conjunto de yesos, arcillas y facies anteriores Formación Yesos de Falces, y les asigna una edad Stampiense.

Este último autor, diferencia dentro de ella, un tramo principal y un miembro superior, que equivalen en parte, a los Yesos de Cárcar de Castiella *et al.* (1978) o Formación Cárcar de Solé Sedó (1977). Estos materiales afloran al noroeste de nuestra zona de estudio.

Al noreste de nuestra zona de estudio, aflora la Formación Sangüesa, de Castiella *et al.* (1978) y de edad Stampiense.

Esta Formación Sangüesa, comprende las facies lacustres de Sangüesa-Eslava y las facies fluviales de Sangüesa-Cáseda.

Solé Sedó (1977), denomina Arcillas y areniscas de Cáseda, a las Facies fluviales de Sangüesa-Cáseda de Castiella.

Hernández (1987), denomina Unidad de Sangüesa, a las Arcillas y areniscas de Cáseda de Solé Sedó, y le atribuye a esta unidad una edad Sueviense-Arverniense.

Castiella *et al.* (1978), encuentran un paso lateral de facies de los Yesos de Cárcar (Stampiense superior), a las Arcillas de Marcilla y a la Facies de Lodosa.

Salvany (1989), sitúa las Arcillas de Marcilla entre los Yesos de Falces y los Yesos de Lerín.

Durante el Chattiense-Aquitaniense, se depositaron los materiales que conforman la Formación Lerin de Castiella (1977) o de Solé Sedó (1976), y que afloran a lo largo de extensos pliegues NO-SE que atraviesan el sur de Navarra.

Salvany (1989), distingue varias subunidades litoestratigráficas dentro de lo que denomina Formación Yesos de Lerín, a la que asigna una edad Arverniense-Ageniense.

Estas unidades son: Arcillas y yesos de Mendavia, Arcillas y yesos de Peralta, Yesos, arcillas y areniscas de Alcanadre, Arcillas de Sartaguda, Yesos de Sesma, Arcillas de Villafranca, Arcillas y yesos de Lodosa y Yesos de Los Arcos.

Para Salvany, la unidad de los Yesos de Lerín, pasa lateralmente al noreste de Navarra, a las facies fluviales de Allo, Sos, San Martín y Ujué, pertenecientes estas últimas, a la Formación Ujué de Castiella *et al.* (1978). A su vez, esta facies fluviales, pasan lateralmente, más al norte todavía, a los Conglomerados del Perdón de los mismos autores en el pirineo navarro.

Para Castiella *et al.* (1978), la Formación Ujué comprende: las Facies de Sos, las Facies de Allo, las Facies de San Martín, las Facies de Ujué y los Conglomerados del Perdón, teniendo una edad Chattiense-Vindoboniense.

Solé Sedó (1977), distingue entre la Formación Ujué (para él de edad Aquitaniense-Burdigaliense), y la Formación Areniscas y conglomerados de Gallipienzo.

Esta última Formación, se correspondería con la parte inferior de la Formación Ujué de Castiella *et al*. (1978).

Hernández (1987), sitúa a la Formación Areniscas y conglomerados de Gallipienzo, en el Aragoniense inferior-medio, y postula que la correspondencia entre la Formación Areniscas y Conglomerados de Gallipienzo y la Formación Ujué de Castiella *et al.* (1978), sería con las unidades de esta última, denominadas Facies de Allo, Facies de Artajona-Gallipienzo y Facies de Ujué.

Hernandez (1987), denomina Margas de Larraga y Yesos de Los Arcos (definidos por Riba en 1964), a los materiales que se corresponden con la Formación Lerín de anteriores autores, pero sin embargo, Hernández les asigna una edad Arverniense-Ageniense.

Ya en el Mioceno inferior y en Bardenas Reales, aparece la Formación Calizas y arcillas de Tudela, a la que **Solé Sedó (1977)**, asigna inicialmente una edad Burdigaliense-Vindoboniense.

Este mismo autor, incluye dentro de la Formación Calizas y arcillas de Tudela, a las unidades Facies de Tudela, Yesos de Monteagudo y Calizas de Sancho Abarca, que pasan lateralmente, hacia el oeste-noroeste, a la Formación Fitero y hacia el norte-noreste a la Formación Ujué.

Decir que la Formación Fitero, estaría integrada por las siguientes unidades; Facies de Alfaro, Facies de Cascante y Formación Conglomerados de Fitero.

Finalmente, Hernández (1987), habla para el área al noroeste de Bardenas Reales, de las siguientes unidades; Calizas de Portillo, Margas de Miranda y Arcillas de Olite, a las que les asigna una edad Aragoniense.

ESTRATIGRAFÍA

3.1 Perfil de San Nicolás (Murillo el Cuende)

- **Coordenadas UTM:** Base: 30TXM613879 ; Techo: 30TXM614888
- **Descripción:** De base a techo se diferencian los siguientes tramos:

TRAMO 1: 30,3 m. de limos ocre-amarillentos con intercalaciones ocasionales de niveles centimétricos de margas blancas y grises masivas o laminadas a techo, junto con bancos nodulosos de calizas grises arcillosas con bioturbación.
TRAMO 2: 17,2 m. de lutitas rojas masivas con intercalaciones de niveles margo-calizos blancos de aspecto noduloso (en ocasiones brechoide), con potencia centimétrica y de niveles decimétricos tabulares de calizas arcillosas grises y masivas.
TRAMO 3: 33,2 m. de limos rojos y ocre-amarillentos masivos, con presencia ocasional de niveles margosos blancos centimétricos y de calizas margosas grises brechoides.
TRAMO 4: 4,6 m. de alternancia de niveles de margas blancas masivas y de niveles tabulares de calizas margosas blancas de potencia centimétrica. Poseen un aspecto noduloso y abundantes grietas de retracción.
TRAMO 5: 15,2 m. de limos rojos y ocres con intercalaciones de niveles decimétricos de margas blancas masivas y de niveles de calizas arcillosas tabulares blancas masivas nodulosas.
TRAMO 6: 3,4 m. de alternancia de niveles centimétricos de margas blancas masivas con calizas margosas blancas tabulares con bioturbación y aspecto brechoide. Ocasionalmente aparece algún nivel lutítico rojo masivo de potencia decimétrica intercalado.
TRAMO 7: 5,3 m. de lutitas rojas masivas de potencia métrica con intercalaciones de niveles tabulares centimétricos de areniscas de color rojo-ocre, grano fino, base erosiva y una laminación cruzada ocasional.
TRAMO 8: 17,1 m. de alternancia de niveles decimétricos masivos de margas blancas y ocres con bancos de calizas arcillosas tabulares blancas, nodulosas y masivas que poseen restos de bioturbación y que a techo del tramo alcanzan potencias de orden métrico.

- **Resumen del perfil**: Se caracterizan los siguientes unidades litoestratigráficas:
  Todo el perfil se encuentra dentro de las unidades Margas de Miranda y Calizas de Portillo (Hernández, 1987).

3.2 Perfil del Balcón de Pilatos (Tudela)

- **Coordenadas UTM:** Base: 30TXM251682 ; Techo: 30TXM258662
- **Descripción:** De base a techo se diferencian los siguientes tramos:
  TRAMO 1: 2 m. de yesos grises masivos y nodulosos, ocasionalmente estratificados.

TRAMO 2: 3,8 m. de lutitas rojas y ocres con intercalaciones de areniscas tabulares o ligeramente lenticulares gris-azuladas, niveles de margas grises u ocre-amarillentas y yesos de color rojizo-translucido.
TRAMO 3: 6,7 m. de lutitas rojas con intercalaciones de niveles decimétricos de areniscas grises y de limos margosos amarillentos.
TRAMO 4: 4,4 m. de alternancia de lutitas masivas rojas con niveles tabulares y lenticulares de areniscas grises.
TRAMO 5: 1,9 m. de alternancia de lutitas rojas con margas limosas amarillentas y versicolores, ocasionalmente laminadas.
TRAMO 6: 3,4 m. de lutitas rojas con intercalaciones centimétricas de areniscas ocre-grisáceas en la base del tramo y de niveles blanco-grisáceos de margas y yesos hacia el techo del tramo.
TRAMO 7: 9,2 m. de lutitas rojas con intercalaciones de niveles ocasionales yesíferos de color rojizo-translucido hacia la base del tramo.
TRAMO 8: 5,23 m. de alternancia de lutitas rojas, ocres y grises y de calizas blancas y grises masivas o con laminación ocasional.
TRAMO 9: 2,8 m. de lutitas rojas y ocre-amarillentas con intercalaciones de areniscas tabulares a techo del tramo.

- **Resumen del perfil**: Se caracterizan los siguientes unidades litoestratigráficas:
  El tramo 1 pertenece a la Formación Yesos de los Arcos (Riba, 1964).
  Los tramos 2 al 9 pertenecen a la Formación Alfaro (Solé *et al*., 1977).

3.3 Perfil del barranco de Valdecepo-Cantar del Gallo (Tudela)

- **Coordenadas UTM:** Base: 30TXM248609 ; Techo: 30TXM261602.
- **Descripción:** De base a techo se diferencian los siguientes tramos:
  TRAMO 1: 2,1 m. de lutitas grises masivas con intercalaciones centimétricas de niveles margosos grises-blanquecinos.
  TRAMO 2: 9,1 m. de alternancia de lutitas grises y rojas masivas y de niveles de calizas blancas tabulares de potencia decimétrica con intercalaciones hacia la base del tramo de margas gris-blanquecinas.
  TRAMO 3: 27,2 m. de lutitas rojas con presencia de nódulos de yeso. Aparecen intercalaciones ocasionales hacia el techo del tramo de niveles decimétricos de calizas y margo-calizas gris-blanquecinas.
  TRAMO 4: 40,6 m. de lutitas rojas y grises con intercalaciones ocasionales de niveles decimétricos margosos blancos hacia la base del tramo, que se convierten en más abundantes y de naturaleza más calcárea a techo del tramo.

- **Resumen del perfil:** Se caracterizan los siguientes unidades litoestratigráficas:
  Todo el perfil se encuentra dentro de la Formación Arcillas de Tudela (Solé Sedó, 1977).

3.4 Perfil del Portillo de Santa Margarita (Ejea de los Caballeros)

- **Coordenadas UTM:** Base: 30TXM368644 ; Techo: 30TXM348642.
- **Descripción:** De base a techo se diferencian los siguientes tramos:
  TRAMO 1: 28 m. de lutitas ocre-amarillentas masivas con abundantes intercalaciones de niveles de centimétricos de margas grises blanquecinas.
  TRAMO 2: 14 m. de lutitas rojas, grises y ocres con intercalaciones ocasionales de niveles tabulares centimétricos de areniscas de grano fino, marrón-rojizas de aspecto externo y gris-azuladas en corte fresco.
  TRAMO 3: 39 m. de alternancia de bancos métricos de lutitas grises y rojas y de calizas arenosas masivas de color ocre y grisáceo de potencia decimétrica.
  TRAMO 4: 16,4 m. de lutitas rojas con intercalaciones ocasionales hacia la base del tramo de niveles tabulares centimétricos de areniscas masivas de grano fino marrones externamente y grises en corte fresco.
  TRAMO 5: 8,1 m. de alternancia de lutitas grises y niveles decimétricos tabulares de calizas gris-blanquecinas masivas u ocasionalmente laminadas.
- **Resumen del perfil:** Se caracterizan los siguientes unidades litoestratigráficas:
  Los tr3mos 1,2 3 y 5 se encuentran dentro de la Formación Arcillas de Tudela (Solé Sedó, 1977).
  El tramo 4 pertenece a la Formación Areniscas de Ujué (Castiella *et al.*, 1978).

3.5 Perfil de la Plana de la Bandera (Fustiñana)

- **Coordenadas UTM:** Base: 30TXM247543 ; Techo: 30TXM260597
- **Descripción:** De base a techo, se diferencian los siguientes tramos:
  TRAMO 1: 5,3 m. de sucesión de lutitas rojas, grises y ocres msivas, y de niveles tabulares centimétricos de calizas arcillosas blanco-grisáceas masivas.

TRAMO 2: 16 m. de lutitas rojas, ocres, grises y blancas, junto con calizas arcillosas grises, blancas y amarillas, esporádicamente laminadas.
TRAMO 3: 40 m. de lutitas rojas con bandeados de color gris y verde. Se presentan en niveles tabulares de potencia métrica aunque irregular. Son por lo general masivas aunque pueden presentar ocasionalmente cierta bioturbación.
TRAMO 4: 31 m. de lutitas versicolores en bandas métricas, de aspecto masivo y en ocasiones bioturbadas. Es significativa la gran variación de color del tramo.
TRAMO 5: 22,5 m. de lutitas rojas, amarillas y ocres con intercalaciones esporádicas de niveles centimétricos de calizas arcillosas gris-blanquecinas.
TRAMO 6: 8,5 m. de lutitas rojas con intercalaciones a techo del tramo de niveles tabulares y lenticulares decimétricos de areniscas marrones y pardo-rojizas, de grano fino, base erosiva y una cierta laminación cruzada.
TRAMO 7: 50,5 m. de lutitas rojas, verdes, azules y grises masivas en bancos métricos con intercalaciones decimétricas a techo del tramo de margas ocres y calizas ocres-blanco grisáceas masivas.
TRAMO 8: 33,5 m. de alternancia de lutitas grises y rojas, junto con niveles tabulares de calizas arcillosas blancas, ocasionalmente laminadas.

- **Resumen del perfil:** Se caracterizan los siguientes unidades litoestratigráficas:
  Los tramos 1, 2, 3, 4 y 5 pertenecen a la unidad (Arcillas de Tudela (Solé Sedó, 1977).
  El tramo 6 pertenece a la Formación Areniscas de Ujué (Castiella *et al.*, 1978).
  Los tramos 7 y 8 pertenecen a la unidad Calizas de Sancho Abarca (Alastrué, 1954).

3.6 Perfil de la Plana de China (Ejea de los Caballeros)

- **Coordenadas UTM:** Base: 30TXM425622 ; Techo: 30TXM403597.
- **Descripción**: De base a techo se diferencian los siguientes tramos:
  TRAMO 1: 40,8 m. de niveles de lutitas rojas, ocre-amarillentas y grises masivas de potencia métrica con intercalaciones de niveles centimétricos de margo-calizas blancos u ocres ocasionalmente laminadas.

TRAMO 2: 61,8 m. de alternancia de bancos métricos de lutitas rojas masivas y de niveles centimétricos de areniscas tabulares de grano fino marrón-rojizas.
TRAMO 3: 4,8 m. de alternancia de lutitas rojas o grises y de niveles tabulares de calizas arenosas pardo-rojizas u ocres masivas de potencia decimétrica con intercalaciones ocasionales de niveles centimétricos de margas grises masivas
TRAMO 4: 7,1 m. de alternancia de lutitas rojas y areniscas pardo-rojizas de grano fino, estructura lenticular y ocasional laminación cruzada.
TRAMO 5: 9,4 m. de alternancia de lutitas grises y de niveles tabulares de calizas arcillosas masivas ocres de potencia decimétrica.
TRAMO 6: 9,3 m. de lutitas rojas con intercalaciones ocasionales de niveles tabulares centimétricos de areniscas de grano fino pardo-rojizas. Estas areniscas suelen presentar abundante laminación cruzada y base erosiva
TRAMO 7: 13,4 m. de alternancia de bancos métricos de lutitas grises y niveles decimétricos de calizas arcillosas blancas, tabulares y laminadas que en ocasiones, se presentan como masivas y ocre-amarillentas.
TRAMO 8: 85,4 m. de lutitas rojas, ocres y grises con intercalaciones de niveles tabulares o lenticulares de areniscas de grano fino pardo-rojizas exteriormente y grises-amarillentas en corte fresco. Suelen presentar base erosiva, laminación y estratificación cruzada cuando la potencia es de orden métrico.
TRAMO 9: 31,4 m. de alternancia de lutitas grises con cierta laminación y calizas tableadas blancas masivas, ocasionalmente laminadas de potencia decimétrica..
TRAMO 10: 13,8 m. de alternancia de lutitas grises, calizas laminadas y calizas masivas en niveles tableados, decimétricos y sucesivos.

- **Resumen del perfil:** Se caracterizan los siguientes unidades litoestratigráficas:
  Los tramos 1, 2, 3, 4, 5 y 7 pertenecen a la Formación Arcillas y calizas de Tudela (Solé Sedó, 1977).
  Los tramos 6 y 8 pertenecen a la Formación Areniscas de Ujué (Castiella *et al.*, 1978).
  Los tramos 9 y 10 a la Formación Calizas de Sancho Abarca (Alastrué, 1954).

3.7 Perfil de los Estrechos-Puig Argel (Ejea de los caballeros)

- **Coordenadas UTM:** Base: 30TXM431553; Techo: 30TXM412554.
- **Descripción:** De base a techo se diferencian los siguientes tramos:
  TRAMO 1: 6,1 m. de lutitas grises masivas con intercalaciones de niveles tabulares, algo nodulosos de calizas arcillosas blanco-grisáceas masivas.
  TRAMO 2: 3,8 m. de alternancia de yesos nodulosos tabulares gris-verdosos y niveles centimétricos de lutitas grises masivas.
  TRAMO 3:13 m. de lutitas grises y ocre-amarillentas masivas con intercalaciones hacia techo del tramo de niveles tabulares de arenisca de grano fino.
  TRAMO 4: 8,5 m. de lutitas grises y ocres a techo masivas, con intercalaciones de niveles tabulares de calizas arcillosas blancas y ocres masivas..
  TRAMO 5: 22,8 m. de lutitas rojas con intercalaciones de areniscas grises-ocres de grano fino, estructura lenticular, laminación y estratificación cruzada..
  TRAMO 6: 3,8 m. de lutitas rojas y ocres masivas con intercalaciones de niveles tabulares decimétricos de calizas arcillosas blancas tabulares, a techo del tramo.
  TRAMO 7: 12,2 m. de alternancia de bancos métricos de lutitas rojas y ocres masivas con niveles tabulares decimétricos de calizas arcillosas ocres masivas.
  TRAMO 8: 10 m. de lutitas rojas con intercalaciones de niveles tabulares de arenisca gris de potencia centimétrica y de niveles decimétricos de calizas arcillosas masivas.
- **Resumen del perfil:** Se caracterizan los siguientes unidades litoestratigráficas:
  Los tramos 1, 3, 4, 6, 7 y 8 pertenecen a la Formación Arcillas y calizas de Tudela (Solé Sedó, 1977).
  El tramo 2 pertenece a la Formación Zaragoza (Quirantes, 1978).
  El tramo 5 pertenece a la Formación Areniscas de Ujué (Castiella *et al.*, 1978).

3.8 Perfil del Rincón del Cabo-Plana de los Carasoles (Fustiñana)

- **Coordenadas UTM:** Base: 30TXM288524 ; Techo: 30TXM326578
- **Descripción:** De base a techo se diferencian los siguientes tramos:

TRAMO 1: 8,3 m. de alternancia de lutitas grises, ocres y rojas con niveles decimétricos de calizas tabulares y ocasionalmente nodulosas, masivas y de coloración pardo-rojiza, grisácea y ocre-amarillenta.
TRAMO 2: 116,4 m. de bancos métricos de lutitas grises, rojas y verdes versicolores con intercalaciones ocasionales de niveles tabulares de margas blancas o margo-calizas blanco-grisáceas, ocasionalmente laminadas.
TRAMO 3: 3,86 m. de alternancia de lutitas rojas y niveles centimétricos tabulares de areniscas pardo-rojizas sin apenas laminación.
TRAMO 4: 23,1 m. de alternancia de bancos de lutitas grises y verdes de potencia métrica con niveles decimétricos de calizas margosas masivas blancas y calizas laminadas grises.
TRAMO 5: 97.6 m. de bancos métricos de lutitas rojas y grises con intercalaciones ocasionales de niveles decimétricos de areniscas tabulares y lenticulares, pardo-rojizas con cierta laminación o estratificación cruzada.
TRAMO 6: 43,7 m. de alternancia de lutitas grises y niveles decimétricos de calizas margosas masivas blanco-grisáceas.
TRAMO 7: 22,9 m. de alternancia de bancos de lutitas grises y ocres con niveles tableados de calizas masivas y calizas laminadas blanco-grisáceas u ocre-amarillentas de potencia decimétrica.

- **Resumen del perfil:** Se caracterizan los siguientes unidades litoestratigráficas:
  Los tramos 1al 4 pertenecen a la Formación Arcillas y calizas de Tudela (Solé Sedó, 1977).
  El tramo 5 pertenece a la Formación Areniscas de Ujué (Castiella *et al.*, 1978).
  Los tramos 6 y 7 pertenecen a la Formación Calizas de Sancho Abarca (Alastrué, 1954).

3.9 Perfil del Barranco del Fraile (Tudela)

- **Coordenadas UTM:** Base: 30TXM633502 ; Techo: 30TXM634522
- **Descripción:** De base a techo se diferencian los siguientes tramos:
  TRAMO 1: 5,3 m. de lutitas grises masivas ocasionalmente laminadas con niveles centimétricos de calizas arenosas de color gris oscuro y masivas a techo del tramo.

TRAMO 2: 8,1 m. de lutitas rojas masivas y bioturbadas con presencia de niveles decimétricos de calizas margosas blancas tableadas con una ocasional laminación a techo.
TRAMO 3: 30,5 m. de alternancia de bancos de margas grises masivas de potencia métrica con niveles de calizas margosas tableadas y laminadas.
TRAMO 4: 9,7 m. de lutitas rojas masivas con intercalaciones hacia la base del tramo de niveles tabulares centimétricos de areniscas rojo-amarillentas masivas tabulares, con una esporádica laminación y sin apenas base erosiva.
TRAMO 5: 18 m. de lutitas rojas masivas con presencia de abundantes nódulos de yeso. Hacia el techo del tramo, las lutitas pasan a ser de coloración gris conteniendo interestratificados de yeso noduloso.
TRAMO 6: 7,8 m. de yeso lenticular de aspecto noduloso y color gris que se encuentra interestratificado con niveles centimétricos de lutitas grises masivas. Hacia el techo del tramo, los niveles lenticulares de yeso van desapareciendo convirtiéndose en abundantes nódulos de yeso inmersos en una matriz lutítica gris masiva.
- TRAMO 7: 5,2 m. de alternancia de bancos de potencia métrica de margas blancas y grises masivas con niveles decimétricos de caliza arenosa masiva blanca y ocre de potencia decimétrica, más abundantes a techo del tramo.
- TRAMO 8: 11,7 m. de lutitas rojas masivas de potencia métrica con intercalaciones de niveles decimétricos de areniscas ocre-amarillentas de grano fino-medio con base erosiva y abundantes estructuras de flujo (laminación y estratificación cruzada,...).
- Estos niveles corresponden a paleocanales de procedencia N-NE.
- TRAMO 9: 2,1 m. de alternancia de niveles decimétricos de margas blancas y calizas ocres y blancas arenosas tabulares de aspecto masivo.
- TRAMO 10: 8 m. de lutitas rojas masivas con intercalaciones de bancos métricos de areniscas de grano fino-medio con morfología de paleocanales, bases erosivas y estratificación cruzada.

- **Resumen del perfil:** Se caracterizan los siguientes unidades litoestratigráficas:
  Los tramos 1, 2, 3, 4, 7 y 9 se corresponden con la Formación Arcillas y calizas de Tudela Tudela (Solé Sedó, 1977)..
  Los tramos 5 y 6 pertenecen a la Formación Zaragoza (Quirantes, 1978).
  Los tramos 8 y 10 pertenecen a la Formación Areniscas de Ujué (Castiella *et al.*, 1978).

3.10 Perfil de Sancho Abarca (Tauste)

- **Coordenadas UTM:** Base: 30TXM402533 ; Techo: 30TXM389536
- **Descripción**: De base a techo se diferencian los siguientes tramos:
  TRAMO 1: 1,5 m. de lutitas grises y ocres, siendo a techo rojas. Son masivas y presentan yeso nodular interestratficado y disperso.
  TRAMO 2: 12,75 m. de alternancia de lutitas rojas y grises masivas y niveles tabulares decimétricos de calizas arenosas pardo-rojizas con intercalaciones hacia la base, de bancos decimétricos de areniscas ocres de grano medio-fino, con geometrías de micro POINT-BAR y de margas grises masivas.
  TRAMO 3: 19,85 m. de lutitas rojas y ocres y en menor proporción grises, con intercalaciones ocasionales de areniscas tabulares grises masivas, niveles tabulares decimétricos de calizas arenosas rojas-ocres y limos grises masivos.
  TRAMO 4: 15,45 m. de alternancia de lutitas grises ocasionalmente laminadas a techo y de niveles de calizas arcillosas tableadas, laminadas, blancas, siendo ocasionalmente ocres, masivas y parcialmente nodulosas.
  TRAMO 5: 83,2 m. de lutitas rojas, grises y ocres masivas con intercalaciones de niveles tabulares de areniscas gris-azuladas con cierta laminación.
  TRAMO 6: 43,5 m. de alternancia de bancos de lutitas grises y ocres junto con niveles tableados y decimétricos de calizas arcillosas ocres y grises. Ocasionalmente aparece algún nivel tabular de arenisca gris sin apenas laminación.
  TRAMO 7: 28,3 m. de alternancia de lutitas grises y niveles tableados de calizas laminadas y masivas blancas. (Secuencias de somerización de Alastrué (1954)).
  TRAMO 8: 25,8 m. de alternancia de lutitas grises y versicolores con niveles de calizas arenosas ocres y calizas arcillosas blancas masivas y algún nivel esporádico tabular de arenisca masiva.
  TRAMO 9: 5,3 m. de alternancia de calizas arenosas masivas y lutitas rojas y grises, siendo estas ultimas laminadas y ocre-amarillas a techo.
  TRAMO 10: 18 m. de alternancia de lutitas ocres con calizas arenosas blanco-amarillentas.
- **Resumen del perfil:** Se caracterizan los siguientes unidades litoestratigráficas:
  El tramo 1 pertenece a la Formación Zaragoza (Quirantes, 1978).

Los tramos 2,3 y 5 pertenecen a la Formación Areniscas de Ujué (Castiella *et al.*, 1978).
Los tramo 4 pertenece a la Formación Arcillas y calizas de Tudela (Solé Sedó, 1977).
Los tramos 6, 7, 8, 9 y 10 constituyen y son el estrato-tipo de la Formación Calizas de Sancho Abarca (Alastrué, 1954).

ANÁLISIS DE LITOFACIES

4.1 LITOFACIES TERRÍGENAS

4.1.1 FACIES DE LUTITAS

Es un conjunto de materiales lutíticos que intercalan ocasionalmente, depósitos carbonatados (Barranco de Valdecepo, Cantar del Gallo, San Micolás) y donde esporádicamente, se reconoce algún nivel carbonoso (Fustiñana).

Estas lutitas poseen nódulos de yeso ocasionales (Barranco de Valdecepo) o son a veces margosas, presentando normalmente una textura masiva.

Suele tener coloraciones rojizas, grisáceas y versicolores, constituyendo niveles tabulares de potencia métrica a decamétrica, con bioturbación evidente en algunos tramos.

Los ocasionales calizas intercaladas entre estas lutitas, suelen ser blancas y se disponen en niveles tabulares centimétricos a decimétricos, presentando a veces bioturbación (Barranco de Valdecepo, Plana de China, San Nicolás) y/o laminación horizontal (Rincón del Cabo, El Portillo de Santa Margarita, Barranco del Fraile).

Esta facies se presenta en secuencias de potencia métrica a decamétrica (Rincón del Cabo, Plana de La Bandera, Plana de China, Barranco del Fraile, San Nicolás), con un término inferior lutítico puro y un término superior de lutitas en cuerpos tabulares con frecuentes intercalaciones calizas. Ambos términos suelen poseer una potencia métrica.

Interpretación: Esta facies se depositó en extensas llanuras lutÍticas aluviales, desarrolladas en las zonas distales de abanicos aluviales.

En general, dominaron en ellas los procesos de tipo SHEET-FLOOD, si bien fueron ocasionalmente surcadas por flujos acuosos canalizados de escasa persistencia y entidad.

Momentos de nivel freático alto, favorecieron el desarrollo de charcas y/o lagunas someras efímeras, en las que se produjo una sedimentación de carácter carbonatado.

En momentos de bajo nivel freático en cambio, y favorecido por un clima árido, se dio la génesis de evaporitas (yesos) por procesos de bombeo capilar entre otros.

La oscilación reiterada del nivel freático, dio lugar al desarrollo de niveles de lutitas versicolores, mientras que la acumulación de restos vegetales en zonas encharcadas de tipo pantanosos, dio lugar a la formación de algún nivel carbonoso mezclado con carbonato (Fustiñana, Barranco de Fraile) o con lutitas (Plana de China).

4.2 LITOFACIES TERRÍGENO-CARBONATADAS

4.2.1 FACIES DE LUTITAS, ARENISCAS Y CALIZAS

Las lutitas son generalmente masivas y contienen ocasionalmente, pequeños nódulos de yeso microcristalino.

Se presentan con tonalidades rojizas y más esporádicamente, grises, ocres y verdes.

Poseen potencias decimétricas a métricas, pudiendo presentar laminación paralela y bioturbación.

Las areniscas son de grano fino a grueso, de colores grises u ocres (en corte fresco), y marrones o pardo-rojizas en aspecto externo (Balcón de Pilatos, Sancho Abarca, El Portillo de Santa Margarita, Fustiñana, Puig Argel, Plana de China y San Nicolás).

En función de su geometría se pueden diferenciar:

Cuerpos de arenisca lenticulares sigmoidales con base erosiva (POINT BAR)

Estas areniscas son de grano fino a medio (Sancho Abarca, Barranco del Fraile).

Su potencia oscila entre decimétrica y métrica (Fustiñana, Barranco del Fraile), presentando unas estructuras internas sigmoidales canaliformes que individualizan cuerpos con una evolución vertical granodecreciente.

Presentan abundante estratificación cruzada en surco, estratificación cruzada planar junto con sets de potencia decimétrica.

También se aprecian abundantes laminaciones horizontales y cruzadas, así como bases erosivas.

Cuerpos de arenisca ligeramente lenticulares

Son cuerpos de arenisca de grano fino a medio y de potencia decimétrica a centimétrica. Presentan algunas estructuras internas de flujo como laminación horizontal y cruzada. Ocasionalmente aparecen bases erosivas.

Cuerpos de arenisca tabulares

Los cuerpos de este tipo, son en su mayoría areniscas de grano fino (Sancho Abarca, Puig Argel, Plana de China, San Nicolás) y su potencia oscila entre centimétrica y decimétrica.

Presentan en ocasiones estructuras de pequeñas canalizaciones (paleocanales) locales, junto con una laminación horizontal y/o cruzada.

Cuerpos de caliza arenosa (calcarenitas) tabulares

Los cuerpos de este tipo de naturaleza detrítico-carbonatada, suelen ser masivos, de color rojizo a pardo-rojizo, con presencia a veces de reducidos nódulos de sílex (Sancho Abarca, El Portillo).

Estas calizas detríticas poseen un marcado carácter arenoso y arcilloso (calizas arenosas, calizas arcillosas), estando asociadas a depósitos de canales secundarios.

Suelen ser cuerpos perfectamente tabulares de potencia decimétrica, con pequeñas estructuras internas que individualizan pequeños subestratos o subniveles laminados y/o lenticulares de potencia centimétrica (Sancho Abarca, Plana de China, Puig Argel, Rincón del Cabo, Barranco del Fraile).

Se observa en estos niveles una abundante bioturbación (vertical por raíces), y alguna ocasional laminación horizontal y/o cruzada.

Estos depósitos (Sancho Abarca, Plana de China, Buñuel-Rincón del Cabo), se suelen organizar en secuencias granodecrecientes de potencia métrica a decamétrica, constando de:

Un término inferior areniscoso de grano medio-grueso, con una geometría marcadamente lenticular y/o sigmoidal de potencia decimétrica a métrica.

Un término intermedio lutítico, con intercalaciones eventuales de areniscas en niveles tabulares o lenticulares centimétricas.

Un término superior detrítico-carbonatado, integrado por niveles calizos masivos, areno-arcillosos, de color rojizo o pardo-rojizo, decimétricos con unos interestratos lutïticos grises o pardo-amarillento, masivos o laminados y de espesor milimétrico a centimétrico.

En algunos sectores de Bardenas Reales, sólo se reconocen los dos últimos términos (Cabezo Royo, Fustiñana, El Portillo) e incluso puede aparecer yeso intersticial en el tramo lutítico (Fustiñana, Balcón de Pilatos, Barranco de Valdecepo-Cantar del Gallo).

Interpretación: Esta facies son el resultado del depósito de material detrítico fino y medio, en áreas de llanuras aluviales distales, estrechamente relacionadas con áreas lacustre-palustres.

Los cuerpos de arenisca lenticulares sigmoidales con base erosiva, representan la sedimentación en canales fluviales meandriformes con una corriente tractiva capaz de generar un cierto depósito de Point Bar.

Los cuerpos de arenisca ligeramente lenticulares y los cuerpos de arenisca tabulares, representan momentos de desconfinamiento de flujos meandriformes y desbordamiento de canales de entidad variable.

Los cuerpos de caliza arenosa (calcarenitas) tabulares, muestran la existencia de períodos de nivel freático alto, en los que se vio favorecido el desarrollo de charcas y/o lagunas efímeras que coexistieron con la actividad de diferentes canales distributarios principales y secundarios..

Es en estas charcas o lagunas efímeras, sería donde tendría lugar la sedimentación de carácter carbonatado, por decantación de sedimento fino en condiciones tranquilas.

También esta sedimentación pudo darse en ambientes de extensos lagos someros, cuyos márgenes invadían, en momentos de expansión, las llanuras aluviales periféricas.

En épocas de descenso del nivel freático en la zona (baja recarga fluvial) y bajo un clima árido, pudieron generarse por bombeo evaporítico, niveles de yesos intersticiales entre las lutitas.

La oscilación reiterada de dicho nivel freático, dio lugar a la decoloración del sedimento.

Las secuencias positivas (granodecrecientes) que aquí se observan, muestran la progresiva implantación de áreas lacustre-palustres sobre una llanura lutitica aluvial distal (San Nicolás, Barranco del Fraile), mientras que las evoluciones negativas (granocrecientes) que también aparecen, indican el resultado de la progradación (avance) de la llanura aluvial distal sobre las áreas lacustre-palustres (Sancho Abarca, Plana de China, Barranco del Fraile) limítrofes.

4.2.2 FACIES DE LUTITAS Y CALIZAS

Según el color de las lutitas se han diferenciado en:

Facies de Lutitas rojas y calizas blancas

Están formadas básicamente por lutitas y calizas, pero ocasionalmente aparecen yesos.

Las lutitas pueden contener ocasionalmente, nódulos de yeso intersticial, siendo entonces masivas. Éstas presentan tonos rojizos o grises cuando se avecina el contacto con un nivel calizo en la columna estratigráfica.

Las lutitas en esta facies, forman cuerpos claramente tabulares de potencia decimétrica a métrica, presentando en ocasiones bioturbación.

Las calizas, suelen ser en este caso arcillosas, blancas o pardo-amarillentas y se disponen en estratos tabulares a ligeramente lenticulares o nodulosos, con una potencia de orden centimétrico a decimétrico.

Frecuentemente, presentan una bioturbación vertical y a veces, una tenue laminación horizontal.

Se aprecian secuencias de potencia métrica, con un término inferior lutïtico rojo y otro superior calcáreo de color blanco a pardo-amarillento.

Interpretación: Estos depósitos son el resultado de la sedimentación, bien en llanuras lutíticas con desarrollo de láminas de agua relativamente estables, o bien en zonas de interferencia entre las llanuras lutïticas aluviales distales y las zonas lacustre-palustres adyacentes.

El término inferior lutïtico de la secuencia, representaría el depósito de material detrítico fino en llanuras aluviales distales lutïticas, a partir de procesos mayoritarios de tipo SHEET-FLOOD.

El término superior carbonatado, representa el depósito de material fino carbonatado en charcas efímeras o zonas marginales de lagos que, en momentos de expansión lacustre, avanzaban sobre zonas de la llanura lutítica distal contigua.

Facies de Lutitas grises y Calizas blancas

Estas lutitas son por lo general masivas y de color gris, aunque a veces, aparecen algunos niveles esporádicos de color rojizo y verde de menor entidad.

Forman niveles tabulares de potencia métrica, presentando a veces, bioturbación y laminación.

Las calizas son por lo general, grises (en corte fresco) y blancas de aspecto externo, con abundante porosidad (visible a lupa). Estas calizas son arcillosas y se presentan en niveles tabulares de potencia decimëtrica.

Es frecuente en estos niveles la presencia de bioturbación vertical, nodulización y grietas de desecación a techo (mud-cracks de Sancho Abarca, San Nicolás) por exposición subaérea.

A veces, muestran un aspecto brechoide o una laminación más o menos regular (San Nicolás).

Interpretación: Estos materiales son el resultado del depósito de sedimento carbonatado en un ambiente palustre sometido a un encharcamiento periódico y condiciones de pedogénesis.

Las lutitas grises se depositaron por decantación en condiciones tranquilas, a partir de flujos acuosos de tipo SHEET-FLOOD, en un ambiente reductor anóxico (carente de oxigeno) acuoso. En momentos de exposición subaérea, sufrieron procesos de formación de paleosuelos y oxidación del sedimento, pudiendo adquirir de este modo una posterior tonalidad rojiza.

El carbonato se depositó en momentos en que la lámina de agua de profundidad variable, adquirió una cierta estabilidad.

El alto contenido en terrígenos finos que contienen estas calizas arcillosas, evidencia la fuerte influencia ejercida por los sistemas aluviales distales circundantes sobre estas áreas lacustre-palustres centrales anejas.

4.2.3 FACIES CARBONATADAS

Las calizas en este caso, suelen ser ocres, blancas, grises y ocasionalmente oscuras (Rincón del Cabo, San Nicolás, Barranco del Fraile) de aspecto externo y grises con abundante porosidad fenestral en corte fresco.

Son en su mayoría wackstone, micritas con fósiles o biomicritas.

Esta facies se presenta en paquetes tabulares calizos de potencia decimétrica a métrica y poseen a menudo estructuras internas que individualizan estratos o pequeños niveles internos calizos tabulares o lenticulares, de espesor centimétrico a decimétrico, con superficies de estratificación planas o ligeramente irregulares.

Es frecuente la bioturbación y la laminación horizontal o ligeramente cruzada.

En algunos niveles, se encuentra un cierto varvado horizontal irregular compuesto por la sucesión de bandas mas oscuras de espesor milimétrico (cianobacterias).

Ocasionalmente, aparecen niveles irregulares de caliza nodulosa y/o brechoide (Sancho Abarca, Fustiñana) y de forma esporádica, grietas de retracción y estratificación cruzada (Sancho Abarca).

Las lutitas, a veces laminadas y margosas, incluyen esporádicamente, microcristales de yeso.

Estas lutitas asociadas son en ocasiones grises y verdosas, formando cuerpos tabulares de potencia centimétrica a decimétrica y pueden contener pequeños restos carbonosos (Sancho Abarca, Barranco del Fraile y Plana de China).

Niveles de caliza arenosa de color pardo-marronáceo (con terrígenos finos) pueden aparecer constituyendo niveles tabulares a ligeramente lenticulares, de potencia centimétrica.

Presentan en su mayoría estos últimos, un aspecto masivo con alguna laminación local y suelen estar dentro de la columna estratigráfica, en una evolución de tipo granodecreciente y estrato-decreciente (Sancho Abarca, Fustiñana, Portillo de Santa Margarita).

Interpretación: Los materiales lutítico-margosos representan la sedimentación que tiene lugar por DECANTACION en las zonas internas de un lago o amplia zona encharcada, tras la llegada de flujos acuosos meandriformes procedentes de sistemas aluviales del Pirineo o de la Ibérica.

Los niveles calizos son el resultado de la precipitación de carbonato que tiene lugar en las áreas

lacustres más marginales.

En aquellos casos (Sancho Abarca, Fustiñana y Plana de China) en que las facies lutitico-margosas presentan evidencias de procesos pedogenéticos (trazas de raíces, nódulos carbonatados, grietas de desecación, marmorización), se interpreta como áreas palustres marginales con cierta desecación, indicando una evolución expansiva de las zonas lacustres.

En base a su aspecto externo se han diferenciado en:

Subfacies de Calizas Laminadas

Son calizas blancas y grises oscuras de aspecto externo, y grises blanquecinas en corte fresco. Se presentan en estratos tabulares paralelos y rítmicos de espesor centimetrico, mostrando superficies de estratificación planas o ligeramente irregulares.

Se caracterizan por presentar una laminación paralela, con bandas de espesor milimétrico oscuras alternando con otras más claras.

Ocasionalmente aparece alguna laminación cruzada y/o bioturbación cortando a dichas láminas.

Interpretación: Estas calizas son el resultado de la precipitación diferencial de carbonato, en donde la actuación de las cianobacterias a bioinducido la precipitación periódica de material carbonatado en condiciones de baja energía del medio.

La presencia de alguna ocasional laminación cruzada, nos indicaría que en estas áreas lacustres intervinieron esporádicamente algunas corrientes tractivas (oleaje, tormentas) acuosas que retrabajaron el sedimento carbonatado del aportado al medio lacustre.

Estas calizas laminadas se depositarían en un ambiente lacustre interno de mayor profundidad.

Subfacies de Calizas Masivas

Son calizas arenosas o arcillosas grises en corte fresco y blancas, grises o amarillentas en aspecto externo.

Son masivas y se clasifican principalmente por wackstone y biomicrita.

Se presentan como estratos tabulares (esporádicamente lenticulares), de potencia decimétrica a métrica con superficies de estratificación planas o ligeramente irregulares.

Se caracterizan porque no se reconoce aparentemente en ellas ninguna estructura interna, salvo alguna ocasional bioturbación vertical por raíces o diminutos cantos negros.

Presentan un aspecto masivo, compacto y homogéneo, llegando a presentar en algunos casos, una silicificación acusada y algún nódulo de sílex esporádico.

Interpretación: Es una facies propia de zonas lacustres internas a marginales.

La textura masiva del material carbonatado, muestra que el depósito tuvo lugar en un ambiente acuoso tranquilo, si bien la elevada cantidad de terrígenos presente en el mismo, hace indicar la presencia cercana de flujos acuosos que llegaban cargados de detríticos.

Habría una práctica ausencia de corrientes tractivas acuosas en este ambiente y a la acción bioturbadora de organismos y plantas sobre un fondo palustre-lacustre a veces emergido.

Subfacies de Calizas Bioturbadas

Son calizas con abundantes cantidades de terrígenos finos (calizas arcillosas, calizas margosas).

Exteriormente poseen una coloración grisácea, blanca o amarillento-ocre pero en corte fresco son gris-amarillentas.

Se presentan en estratos tabulares irregulares, nodulosos o lenticulares de espesor decimétrico.

Se caracterizan por presentar trazas y marcas internas de bioturbación vertical perpendicular a los planos de estratificación en la mayoría de los casos.

Interpretación: Son calizas propias de ambientes lacustres marginales o palustres con influencia terrígena fina, donde hubo una destacable vegetación enraizada que bioturbó abundantemente el sedimento carbonatado allí depositado en periodos de exposición subaérea.

En ocasiones estas calizas bioturbadas, contienen nódulos de sílex (Sancho Abarca, Plana de China), que nos indican la existencia de momentos de desecación del área lacustre marginal o palustre, en donde existió una mayor concentración de sílice en el sedimento carbonatado, viéndose favorecida su precipitación en el mismo en forma de nódulos irregulares de tamaño variable.

Subfacies de calizas brechificadas o nodulosas

Son calizas generalmente blancas de aspecto externo y grises en corte fresco.

Se disponen en niveles tabulares de potencia centimétrica a decimétrica.

Se caracterizan por tener un aspecto noduloso a brechoide, que da lugar a la distorsión total o parcial de los planos de estratificación y laminación interna existentes.

Interpretación: Son calizas típicas de ambientes palustres en las que ha habido unos procesos pedogenéticos y diagenéticos tempranos importantes sobre un sedimento carbonatado previo.

4.3 LITOFACIES TERRÍGENO-YESÍFERAS

Están formadas por lutitas, yesos y algún nivel ocasional de caliza centimétrico intercalado.

Las lutitas son grises u ocres por lo general, siendo ocasionalmente de color rojizo.

Presentan una textura masiva y constituyen niveles tabulares de potencia decimétrica a métrica. Los yesos son nodulosos, grisáceo-verdosos con abundantes impurezas internas de lutitas.

Constituyen niveles tabulares y lenticulares (Buñuel, Barranco del Fraile), con superficies de estratificación irregulares.

Intercalados entre estos anteriores niveles de yeso noduloso lenticular, aparecen niveles decimétricos de lutitas grises-verdosas y masivas, con abundante contenido en cristales y nódulos de yeso esferoidal de tamaño milimétrico a centimétrico.

También aparecen potentes paquetes arcillosos métricos, grises y masivos, con abundante contenido en nódulos de yeso blanco, con impurezas internas de lutita (Sancho Abarca).

Las ocasionales calizas presentes son margosas, blancas o grises y conforman estratos tabulares de potencia decimétrica. Éstas poseen un aspecto masivo pero con frecuencia, presentan una regular laminación interna milimétrica y en ocasiones bioturbación (Sta. Engracia).

Interpretación: Estos depósitos son el resultado de una sedimentación en llanuras lutíticas distales periféricas (circundantes) a un lago salino bajo un clima árido.

Estas llanuras eran surcadas ocasionalmente por canales acuosos de escasa entidad tractiva.

En momentos de bajo nivel de la lámina de agua, las salmueras avanzaban por debajo del subsuelo, desde el lago salino hacia la llanura lutítica distal, empapando este sedimento lutítico.

La alta concentración salina en estas salmueras por efecto del bombeo evaporítico, provocó la génesis y crecimiento de cristales y nódulos de yeso en el interior del sedimento lutítico (Sancho Abarca, Buñuel, Balcón de Pilatos, Barranco de Valdecepo, Barranco del Fraile).

El ambiente por ello, resulta ser el de una llanura lutítica-carbonatada evaporítica bajo momentos de exposición subaérea de parte o de la totalidad del fondo palustre con el desarrollo de salmueras en el subsuelo bajo un fuerte clima árido.

También han intervenido en la génesis de estos materiales evaporíticos, procesos diagenéticos tempranos varios bajo un sedimento lutítico muy salino inicial.

La asociación de yesos lenticulares y niveles calizos tabulares suprayacentes (Buñuel, Barranco del Fraile), representan la sedimentación en áreas encharcadas efímeras dentro de la llanura lutítica distal o en las zonas marginales de un lago salino.

Las calizas se depositaron en momentos de expansión del lago (menor concentración en sales, mayor dilución) y durante el llenado del mismo.

Los yesos por el contrario, son el resultado de una concentración progresiva de dichas aguas del lago en sales, debido a la alta evaporación ocasionada por el clima árido reinante.

El ambiente aquí sería pues, el de una llanura fangosa salina de tipo PLAYA-LAKE, siendo la sedimentación propia de la del margen de un lago salino (Formación Zaragoza).

4.4 LITOFACIES YESÍFERAS

4.4.1 FACIES DE YESOS

Esta formada por yesos y en menor proporción por lutitas intercaladas.

Los yesos son masivos nodulares, presentando tonalidades grises y verdes. Se disponen en niveles tabulares de aspecto lenticular irregular y de espesor centimétrico a decimétrico.

Estos yesos aparecen en el afloramiento intercalados con niveles centimétricos de lutitas grises masivas, obteniéndose en conjunto unas ritmitas evaporíticas de potencia métrica.

Estos yesos han sufrido una diagénesis temprana que ha modificado claramente su morfología original, no reconociéndose por ello en ellos, ningún tipo de estructura interna sedimentaria primaria.

Las lutitas, poseen un aspecto masivo y una tonalidad gris-verdosa. Conforman niveles tabulares de potencia centimétrica (Buñuel, Barranco del Fraile) a métrica (Puig Argel).

Ocasionalmente, aparecen niveles calizos margosos blancos tabulares y centimétricos, intercalados entre las lutitas grises masivas.

Se aprecian secuencias métricas con un término inferior lutítico gris, ocasionalmente un término intermedio calcáreo (niveles calizo-margosos blancos tabulares y centimétricos) y un término superior yesífero, de espesor decimétrico a métrico.

Interpretación: Estos materiales representan la sedimentación en las zonas marginales de lagos salinos efímeros o en la zona de tránsito hacia las llanuras lutíticas salinas que los circundan.

Los términos lutitícos reflejan la actuación de flujos acuosos no canalizados (desbordados).

En momentos de exposición subaérea, estas lutitas adquirieron tonalidades rojizas por la oxidación existente, mientras que en momentos de expansión del lago y mayor aporte de agua al mismo, se vio favorecido el depósito de carbonato (calizas).

Conforme las aguas fueron adquiriendo mayor concentración en sales, debido a la intensa evaporación existente (clima árido reinante), se producía la génesis de evaporitas (yesos), bien de forma intersticial en el fondo salino del lago, bien en la interfase agua-aire o en la interfase agua-sedimento.

Las múltiples secuencias rítmicas lutitas-yesos existentes, representan sucesivos periodos de expansión-retracción de un lago salino, mas o menos efímero, bajo un clima fuertemente árido.

Los minerales primarios evaporíticos (yesos) precipitados de esta manera en esta área, se vieron sometidos durante una diagénesis temprana a transformaciones mineralógicas y texturales importantes que dificultan e impiden el reconocimiento en estos yesos y lutitas de las estructuras sedimentarias primarias originales.

MEDIOS SEDIMENTARIOS

5.1 AMBIENTE A

Llanura lutítica

Este medio está caracterizado por una sedimentación esencialmente lutítica o lutitico-carbonatada, si bien es posible encontrar ocasionalmente algunos depósitos arenosos de grano fino, escasa potencia (centimétrica) y geometría tabular.

La llanura lutítica representada en los perfiles de San Nicolás, Tudela, el Barranco de Valdecepo, Balcón de Pilatos y el Portillo de Sta. Margarita, muestra la sedimentación en las llanuras aluviales lutíticas distales (Formación Ujué, Formación Alfaro y Formación Arcillas y calizas de Tudela), en las que predominaron los procesos acuosos no canalizados aunque esporádicamente, se vieron surcadas por canales efímeros que transportaban arena de grano fino como carga de fondo, originando depósitos tabulares masivos de tipo SHEET-FLOOD.

El desarrollo de zonas encharcadas efímeras, sobre esta llanura lutítica o la expansión de las áreas lacustres adyacentes (Formación Calizas de Portillo, Formación Margas de Miranda y Formación Zaragoza), favorecieron la sedimentación en esta llanura detrítica de niveles calizos propios de áreas palustres o lacustres someras.

Área palustre o lago somero carbonatado

En este medio dominó una sedimentación de carácter carbonatado y ocasionalmente carbonatado-terrígena, diferenciándose:

Área palustre o lacustre marginal

En este medio, dominan los depósitos lutíticos y carbonatados por igual (Base del perfil de Sancho Abarca, San Nicolás).

En estos medios, se producen influencias de aportes terrígenos distales con frecuencia (localidades de Santacara y Santa Engracia).

En este caso, se produjeron repetidos procesos pedogenéticos y oscilaciones del nivel freático o del lago, que ad lugar a lutitas versicolores (Cabezo Royo-Carretera de Fustiñana, San Nicolás), y provoca una alternancia de condiciones de encharcamiento y exposición subaérea.

Área lacustre interna o lacustre s.s.

En este medio dominan los materiales carbonatados y lutíticos grises.

Se trata de un medio cuyo área (últimos tramos del perfil de Sancho Abarca), si bien nunca adquirió una lámina de agua de elevada profundidad, si se vio permanentemente sometida a condiciones subacuáticas de inundación.

Domina en este medio lacustre interno, el depósito carbonatado frecuentemente laminado, originado básicamente a partir de procesos de bioinducción (cianobacterias, algas).

El material terrígeno fino existente y que se aprecia con claridad en la composición de ciertas calizas de este medio (calizas arenosas, calizas arcillosas), procede de la decantación del barro lutítico o arenoso transportado desde los márgenes del lago (procedentes de las corrientes acuosas efímeras que desembocaban al lago procedentes del área del abanico aluvial distal) o desde las áreas externas circundantes (palustres) al mismo.

En ocasiones, adquirió importancia la actuación de corrientes tractivas tanto en las áreas lacustres (laminación y estratificación cruzada en calizas originadas por oleaje), como en las palustres (depósitos de flujo areniscosos más o menos potentes y tractivos).

Se producen en este área (techo del perfil general de Bardenas Reales), una alternancia de condiciones palustre-lacustres para un mismo punto, dando lugar a unas evidentes SECUENCIAS DE SOMERIZACION, debido fundamentalmente a las oscilaciones de la lámina de agua existente en el lago salino (por desecación periódica y llenado bajo un clima árido).

5.2 AMBIENTE B

Llanura lutitica seca o dry mud flat

En este medio dominan las facies terrígenas que ocasionalmente, intercalan niveles calizos o yesíferos (Base del perfil del Balcón de Pilatos).

Aquí se da la sedimentación de materiales detríticos finos en zonas de llanuras aluviales distales surcadas por diferentes canales acuosos meandriformes que poco a poco, pierden competencia y entidad, desde las zonas proximales del abanico aluvial a las distales (Fm. Fitero y Fm. Alfaro).

Se aprecia un tránsito paulatino desde los cuerpos arenosos canaliformes sigmoidales de grano medio-grueso, a cuerpos tabulares masivos de escasa potencia y entidad, conforme se avanza hacia el centro de la Cuenca (Formación Zaragoza).

En las zonas intercanal (llanura de inundación), así como aguas abajo (en las proximidades del lago salino), dominaron los procesos acuosos no confinados, dando lugar al depósito de los materiales más finos (lutitas rojas y grises).

La existencia en esta área de zonas periódicamente encharcadas, favoreció el depósito de fango carbonatado, dando origen a los niveles calcáreos tabulares de poco espesor ocasionales que aparecen intercalados entre las lutitas.

En las épocas de intensa evaporación (debido principalmente a la intensa aridez reinante) y como consecuencia de la alta concentración en sales alcanzada por las salmueras creadas en el interior del sedimento lutítico, se produjo el crecimiento de evaporitas (yeso) intersticiales entre las lutitas de la llanura aluvial.

Llanura lutítica salina de margen de lago salino

En este medio dominan las lutitas grises y los yesos, aunque esporádicamente hay niveles calizos intercalados de poca potencia.

Estos materiales representan la sedimentación en las zonas de tránsito entre la llanura lutítica seca y la zona interna del lago salino (Fm. Zaragoza con yesos), que se extiende fuera de los límites de nuestra zona de estudio hacia el sureste.

La fracción terrígena de estos depósitos (margas verdes), se depositó por decantación y la progresiva concentración de las salmueras intersticiales o superficiales bajo el clima árido reinante, dio lugar al desarrollo de los sucesivos niveles tabulares-lenticulares evaporíticos (yesos) existentes.

En los ocasionales períodos de inundación acuosa de estas salmueras (por un mayor aporte de agua al lago), se depositaba el barro calcáreo en esta área, generando así, los niveles calizos presentes.

Este medio seria un sistema sedimentario de tipo PLAYA-LAKE.

PALEOGEOGRAFÍA

El conocimiento de la **paleogeografía** y de la **historia geológica** de una zona de estudio, son dos de los objetivos primordiales a alcanzar tras realizar cualquier análisis estratigráfico riguroso sobre aquella.

De este modo, con los datos y conclusiones obtenidas en apartados anteriores, estamos en condiciones de poder realizar una buena aproximación a la reconstrucción paleogeográfica del área estudiada durante un tiempo concreto.

Los modelos paleogeográficos de una región determinada, son elaborados por los estratígrafos para un momento determinado de la historia geológica de la misma. Es decir, son una "foto fija" de la región estudiada estratigráficamente, para un momento específico de su historia geológica.

A modo de ejemplo, se representa aquí el gráfico paleogeográfico de la región de Bardenas Reales para el momento concreto de su historia geológica del **Rambliense superior** (Mioceno inferior).

BIBLIOGRAFÍA

Agustí, J., Arenas, C., Cabrera, L. y Pardo, G. 1994.- Characterisation of the latest Aragonian-Early Vallesian (Late Miocene) in the central Ebro Basin (NE Spain), *Scripta Geologica,* 106,1-10.

Alastrué, E. 1953. El Cuaternario de la comarca de Ejea de los Caballeros. *Not. y Com. Inst. Geol. y Min. de España,* nº 32, 69-84.

Alastrué, E. 1954. Las formaciones del Terciario continental entre Ejea de los Caballeros y Tauste (Zaragoza). *Not. y Com. Inst. Geol. y Min. de España*, nº 33, 71-80.

Alastrué, E. 1958. Nota sobre la estratigrafía de las Bardenas en su extremo meridional. *Not. y Com. Inst. Geol. y Min. de España,* nº 50, 229-240.

Arenas, C. 1993. *Sedimentología y paleogeografía del Terciario del margen pirenaico y sector central de la Cuenca del Ebro (zona aragonesa occidental).* Tesis Doctoral, Univ. de Zaragoza, 858 pp.

Arenas, C. y Pardo, G. 1999. Latest Oligocene-Late Miocene lacustrine systems of the northcentral part of the Ebro Basin (Spain): sedimentary facies model and palaeogeographic synthesis. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology,* 151, 127-148.

Arenas, C. y Pardo, G. 2000. Neogene lacustrine deposits of the northcentral Ebro Basin, northeastern Spain. En: Lake basins through space and time. (E. H. Gierlowsky-Kordesch y K. R. Kelts, Eds.). *American Association of Petrolium Geologists,* Spec. Vol. Studies in Geology, 46, 395-406.

Calvo, J. P. et al. 1993. Up-to-date Spanish continental Neogene synthesis and paleoclimatic interpretation. *Revista de la Sociedad Geológica de España,* 6 (3-4), 30-40.

Castiella, J. 1977. Mapa y memoria explicativa de la Hoja 320 (Tarazona de Aragón) del *Mapa Geológico de España, E. 1:50.000 (2ª Serie*). I.G.M.E. 23 pp. Madrid.

Castiella, J., Solé Sedó, J., Villalobos Vilches, L. 1977. *Mapa y memoria explicativa de la Hoja 243 (Calahorra) del Mapa Geológico de España, E. 1:50.000 (2ª Serie)*. I.G.M.E. 25 pp. Madrid.

Castiella, J., Sole, J., del Valle, J. 1978. Mapa Geológico de Navarra E. 1:200.000. Cartografia geológica a partir de la Investigación Geológica de Navarra a escala 1:25.000. *Diputación Foral de Navarra. Serv. Geol. Dir. O. P.,* Pamplona.

Castiella J., Solé Sedó L., Niñerola y Otamendi A. 1982. Las Aguas Subterráneas en Navarra (Proyecto hidrogeológico). Ed. Dirección de Obras Hidráulicas, *Servicio Geológico, Diputación Foral de Navarra*. 229 pp. Pamplona.

Crusafont, M., Truyols, J., Riba, O. 1966. Contribución al conocimiento de la estratigrafía del Terciario continental de Navarra y Rioja. *Notas y Comunicaciones del I.G.M.E.,* 90, 53-76.

Durantez, O., Solé, J., Castiella, J., Villalobos, L., Ramírez del Pozo, J., Rivas, P., Del Pan, P. 1982. Mapa Geológico de España, E. 1:50.000, nº 281, Cervera del Río Alhama. *Plan Magna. I.G.M.E. Hoja y Memoria*.

Faci, E., Castiella, J., del Valle, J. García, A., Díaz, A., Salvany, J.M., Cabra, P., Ramirez del Pozo, J. y Meléndez, A. (1997). *Memoria del Mapa Geológico de Navarra 1:200.000*, Gobierno de Navarra, 142 pp.

Friend, P. F., Hirst, J. P. P., Hogan, P. J., Jolley, E. J., Mcelroy, R., Nichols,G. J. y Rodríguez Vidal, J. 1989. Pyrenean tectonic control of Oligo-Miocene river Sistems, Huesca, Aragón, Spain. *4th International Conference on Fluvial Sedimentology,* Sitges (Barcelona), Excursión Guidebook nº 4, 142 pp.

Hernández Pacheco, F. 1947. Rasgos fisiográficos y geológicos del sureste y este de las tierras navarras. *Rev. Príncipe de Viana,* t. 8, 26, 73-86. Pamplona.

Hernández Pacheco, F. 1949. Las Bardenas Reales. *Príncipe de Viana,* XXXVII, 427-440. Pamplona.

Hernández Samaniego, A., Ramírez del Pozo, J., Carbaya Olivares, A., Castiella Muruzábal, J., y Solé Sedó, J. 1987. Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000, Hoja nº 206, Peralta. *IGME*. Madrid.

Hernández Samaniego, A., Ramírez del Pozo, J., Ramírez Merino, J. J. 1987. Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000, Hoja nº 173, Tafalla. *IGME*. Madrid.

Hernández Samaniego, A., Simó Marja, A. 1987. Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000, Hoja nº 174, Sangüesa. *IGME.* Madrid.

Hirst, J. P. P. y Nichols, G. J. 1986. Thrust tectonic controls on the Miocene alluvial distribution patterns, southern Pyrenees, En: Allen, P. A. y Homewood, P. (eds.), Foreland Basins, *IAS Spec. Publ.,* 8: 247-258.

Inglés, M., Salvany, J.M., Muñoz, A., Pérez, A. 1998. Relationship of mineralogy to depositional environments in the non-marine Tertiary mudstones of the southwestern Ebro Basin (Spain). *Sediment. Geol.* 116, 159176.

López de Zubiría, E.J. 1942. Guía geológica de Alsasua a Cortes. *Príncipe de Viana,* 8, 335-352.

López de Zubiría, E.J. 1942. Guía geológica de Alsasua a Cortes por carretera. Segunda parte. *Príncipe de Viana*, 9, 479-485.

Mallada, L. 1882. Reconocimiento geológico de la provincia de Navarra, *Bol. Com. Mapa Geol. España,* t. 9, Madrid.

Marín, A. 1945. La depresión del Ebro. La tectónica y los yacimientos minerales. *Bol. Inst. Geol. y Min. de España*, t. 57, 7-57.

Ortí, F., Salvany, J.M., Rosell, L., Pueyo, J.J., Inglés, M. 1986. Evaporitas antiguas (Navarra) y actuales (Los Monegros) de la Cuenca del Ebro. *XI Congreso Español de Sedimentología. Guía de las excursiones*. Barcelona.

Ortí, F., Salvany, J. M., Rosell, L. e Inglés, M. 1989. Sistemas lacustres evaporíticos del Terciario de la Cuenca del Ebro. *Geogaceta*, 6, 103-104.

Ortí, F. 1990. Introducción a las evaporitas de la Cuenca Terciaria del Ebro. En: F. Ortí y J. M. Salvany eds. Formaciones evaporíticas de la Cuenca del Ebro y cadenas periféricas y de la zona de Levante. *Nuevas aportaciones y guía de superficie. ENRESA, GPPG. Dpto. Geoquím. I Prosp. Geol., Univ. Barcelona*, 62-66, 4 gs. Barcelona.

Pardo, G., Villena, J., González, A. 1989. Contribución a los conceptos y a la aplicación del Análisis Tectosedimentario. Rupturas y Unidades Tectosedimentarias como fundamento de correlaciones estratigráficas. *Revista de la Sociedad Geológica de España,* Vol. 2, (3-4), 199-221.

Pérez, A. 1989. *Estratigrafía y sedimentología del Terciario del borde meridional de la Depresión del Ebro (sector riojano-aragonés) y cubetas de Muniesa y Montalbán*. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza, 525 pp.

Pérez, A., Muñoz, A., Pardo, G. y Villena, J. 1989. Evolución de los sistemas lacustres del margen ibérico de la Depresión del Ebro (sectores central y occidental) durante el Mioceno. *Acta Geológica Hispánica*, 24, 243-257.

Pérez, A., Muñoz, A., Pardo, G. y Villena, J. 1994. Lacustrine Neogene deposits of the Ebro Basin (southern margin), northeastern Spain, En: Gierlowski-Kordesch, E. y Kelts, K. (eds.), *Global Geological Record of Lake Basins, Cambridge University Press,* vol. 1: 325-330.

Puigdefábregas, C., 1973. Miocene point-bar deposits in the Ebro basin, Northern Spain. *Sedimentology,* 20, 133-144.

Puigdefábregas, C., 1975. La sedimentación molásica en la cuenca de Jaca. *Inst. Est. Pirenaicos, CSIC*, 104, 188 pp.

Riba, O., 1955. Sur le type de sedimentatión du Terciaire de la partie-ouest du Bassin de 1'Ebre. *Geol. Rundschau,* 43 (2), 363-371. Stuttgart.

Riba, 0. 1957. Nuevas observaciones sobre el Terciario continental de la Depresión del Ebro, (Rioja, Ribera de Navarra) con un mapa escala 1:200.000. *Informe CIEPSA*. Vitoria-Madrid.

Riba, O. 1960. Informe geológico sobre el Terciario continental entre Monte Codés y Montejurra. *Inf. int, C.I.E.P.S.A.,* núm. 108, 34 pp. (Mapa del Terciario continental entre Monte Codés y Montejurra) a escala 1:25.000, 20 perfiles estratigráficos. Vitoria-Madrid. [inédito]

• **Riba, O. y Pérez Mateos, J. 1961.** Sobre una inversión de aportes sedimentarios en el borde norte de la cuenca terciaria del Ebro (Navarra*). II Reunión de Sedimentología, Sevilla. Vol. com. Inst. Edafología.* CSIC. 201-221. Madrid.

• **Riba, O. 1964.** Estructura sedimentaria del Terciario Continental de la Depresión del Ebro en su parte Riojana y Navarra. *Aportación española al XX Congreso Geográfico Internacional*, 127-138. Londres.

• **Riba, O., Reguant, S. y Villena, J. 1983.** Ensayo de síntesis estratigráfica y evolutiva de la cuenca terciaria del Ebro. En: Geología de España, II, Libro Jubilar J.M. Ríos*, Instituto Geológico y Minero de España,* 131-159.

• **Riba, O. y Jurado, M. J. 1992a.** Reflexiones sobre la Geología de la parte occidental de la Depresión del Ebro. *Acta Geológica Hispánica, Homenaje a Oriol Riba Arderiu,* 27, (1-2), 177-193.

• **Riba, O. 1992b**. Las secuencias oblicuas en el borde Norte de la Depresión del Ebro en Navarra y la Discordancia de Barbarín. *Acta Geológica Hispánica,* 27 (1-2), 55-68.

• **Salvany, J. M. 1989a.** *Las formaciones evaporíticas del Terciario continental de la Cuenca del Ebro en Navarra y La Rioja. Litoestratigrafía, Petrología y Sedimentología*. Tesis Doctoral (inéd.), Universidad de Barcelona, 397 pp.

• **Salvany, J.M. 1989b.** Ciclos y megaciclos evaporíticos de las Formaciones Falces y Lerín, Oligoceno-Mioceno Inferior de la Cuenca del Ebro (Navarra-La Rioja). *XII Congreso Español de Sedimentología, Comunicaciones,* 83-86. Bilbao.

• **Salvany, J. M. 1989c.** Los sistemas lacustres evaporíticos del sector navarro riojano de la Cuenca del Ebro durante el Oligoceno y Mioceno inferior. *Acta Geológica Hispánica*, 24, 231-241.

• **Salvany, J. M. y Ortí, F. 1987.** La paragénesis de sulfatos de Ca y Na en el Mioceno continental de Alcanadre-Arrúbal (La Rioja) y San Adrián (Navarra). *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía,* 10, 47-48.

• **Salvany, J. M., Muñoz, A., Pérez, A., 1994.** Nonmarine evaporitic sedimentation and associated diagenetic processes of the southwestern margin of

the Ebro basin (Lower Miocene), Spain. *Journal of Sedimentary Research,* Vol. A64, 2, 190-203.

• **Solé Sabarís, L. 1954.** Sobre la estratigrafía de las Bardenas Reales y los límites del Oligoceno y del Mioceno en el sector occidental de la Depresión del Ebro. *Rev. Real Soc., Hist. Nat., t. extr. Homenaje a E. Hernández Pacheco*, 637-657.

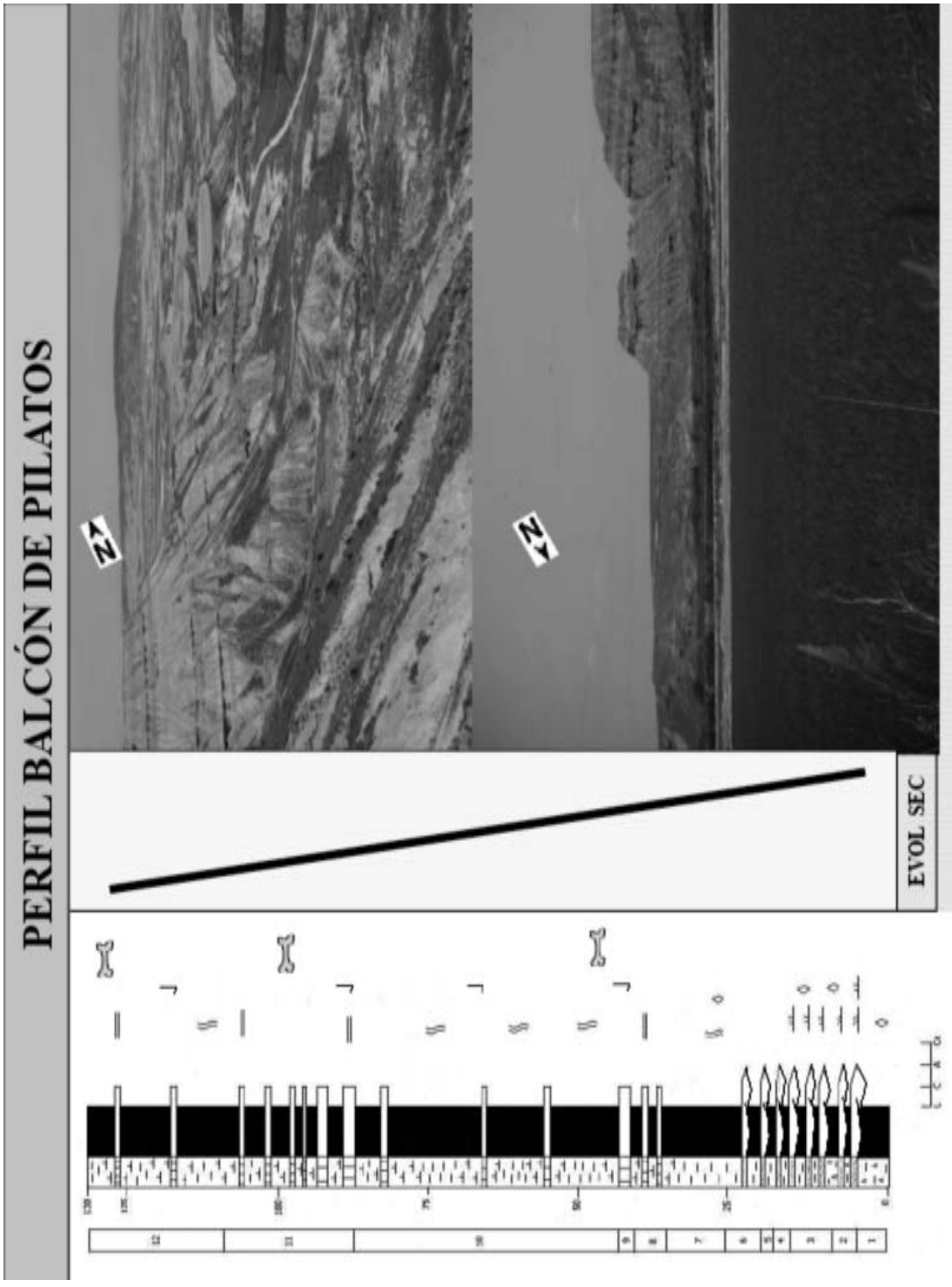
• **Solé Sedó, J., 1972.** *Formación de Mués, litofacies y procesos de sedimentación*. Tesis de Licenciatura, Universidad de Barcelona, 46 pp. (inédito).

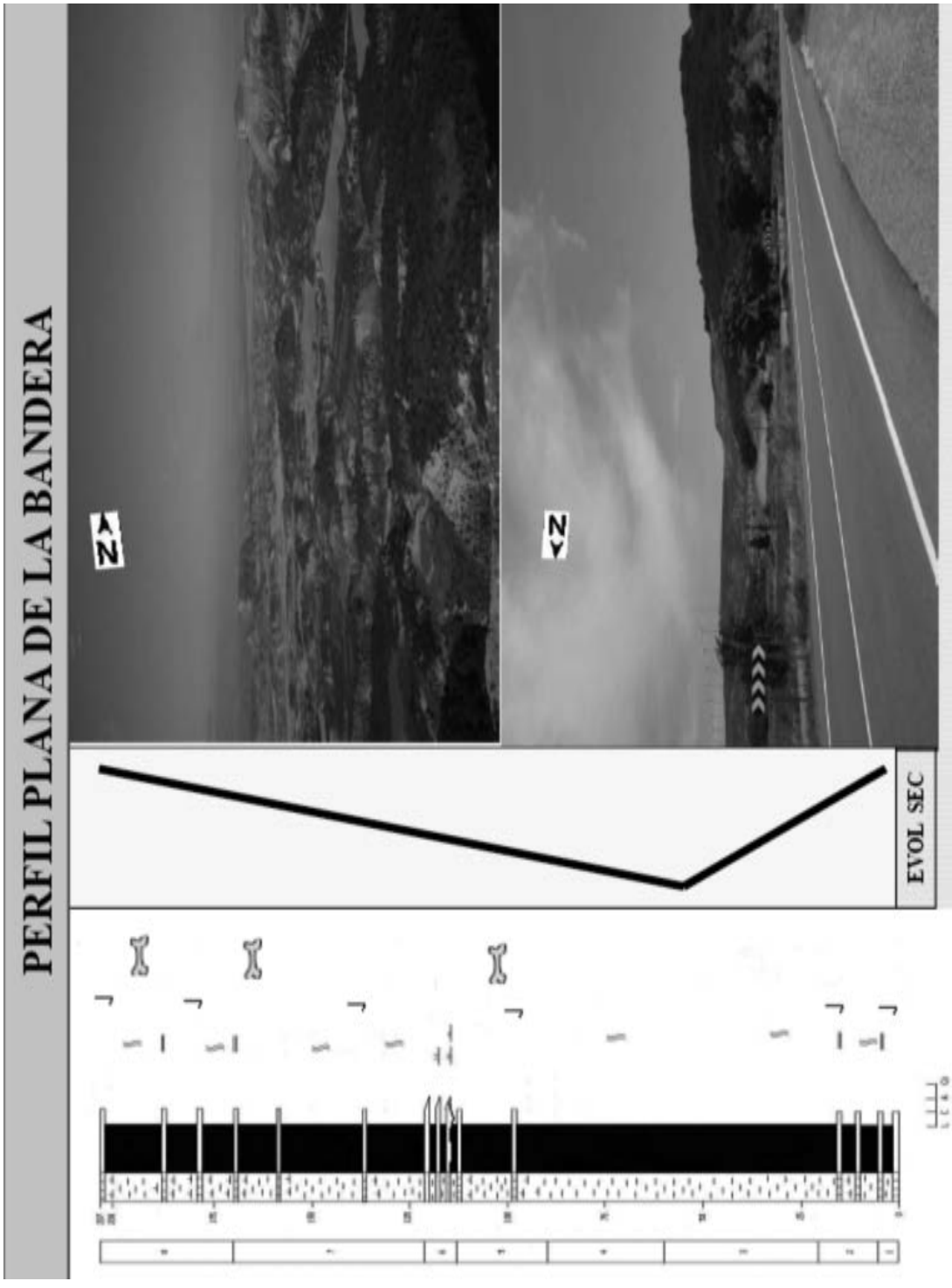
• **Solé Sedó, J., Beróiz, C. 1977.** Mapa Geológico de España. Escala 1: 50.000. Hoja 244. Alfaro. *I.G.M.E.* 2a Serie, 1a Edición, 21 pp. Madrid.

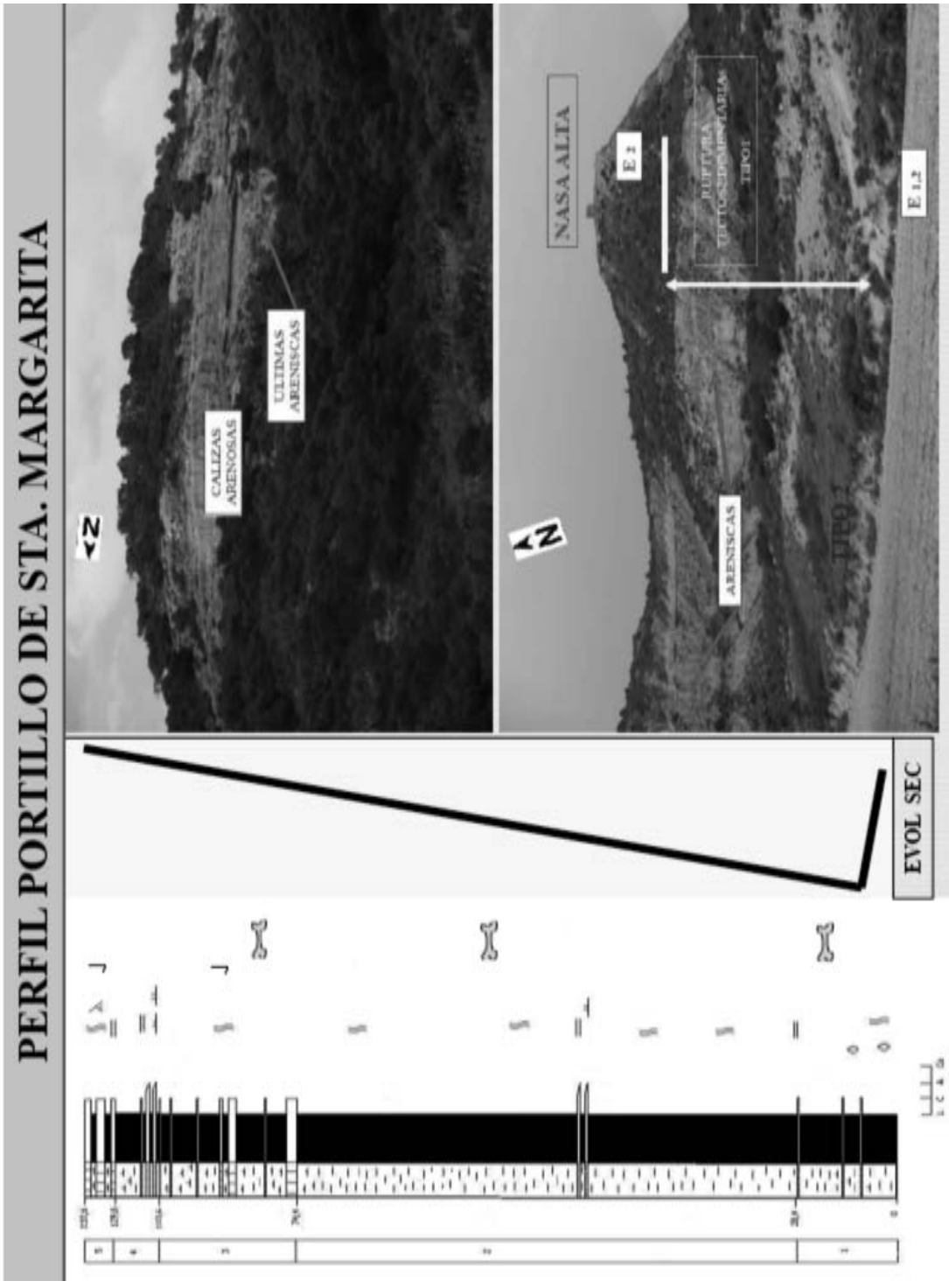
• **Solé Sedó, J. 1977.** Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Hoja 282. Tudela. *I.G.M.E.* 2a Serie, 1a Edición, 18 pp., 1 Mapa. Madrid.

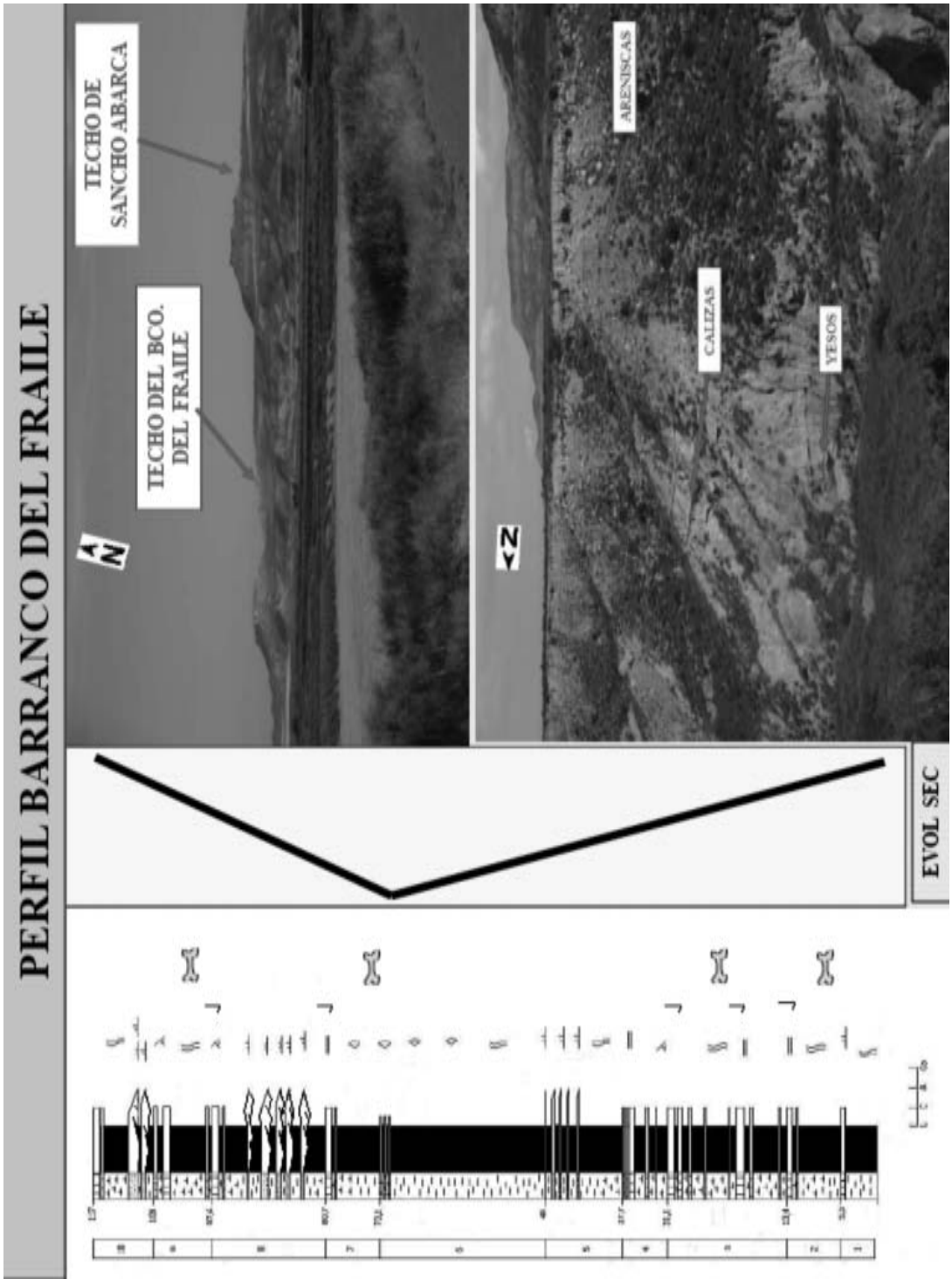
• **Utrilla, R., Ortí, F., Pierre, C. y Pueyo, J. J. 1991.** Composición isotópica de las evaporitas terciarias continentales de la Cuenca del Ebro: relación con los ambientes deposicionales. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 4, 353-360.

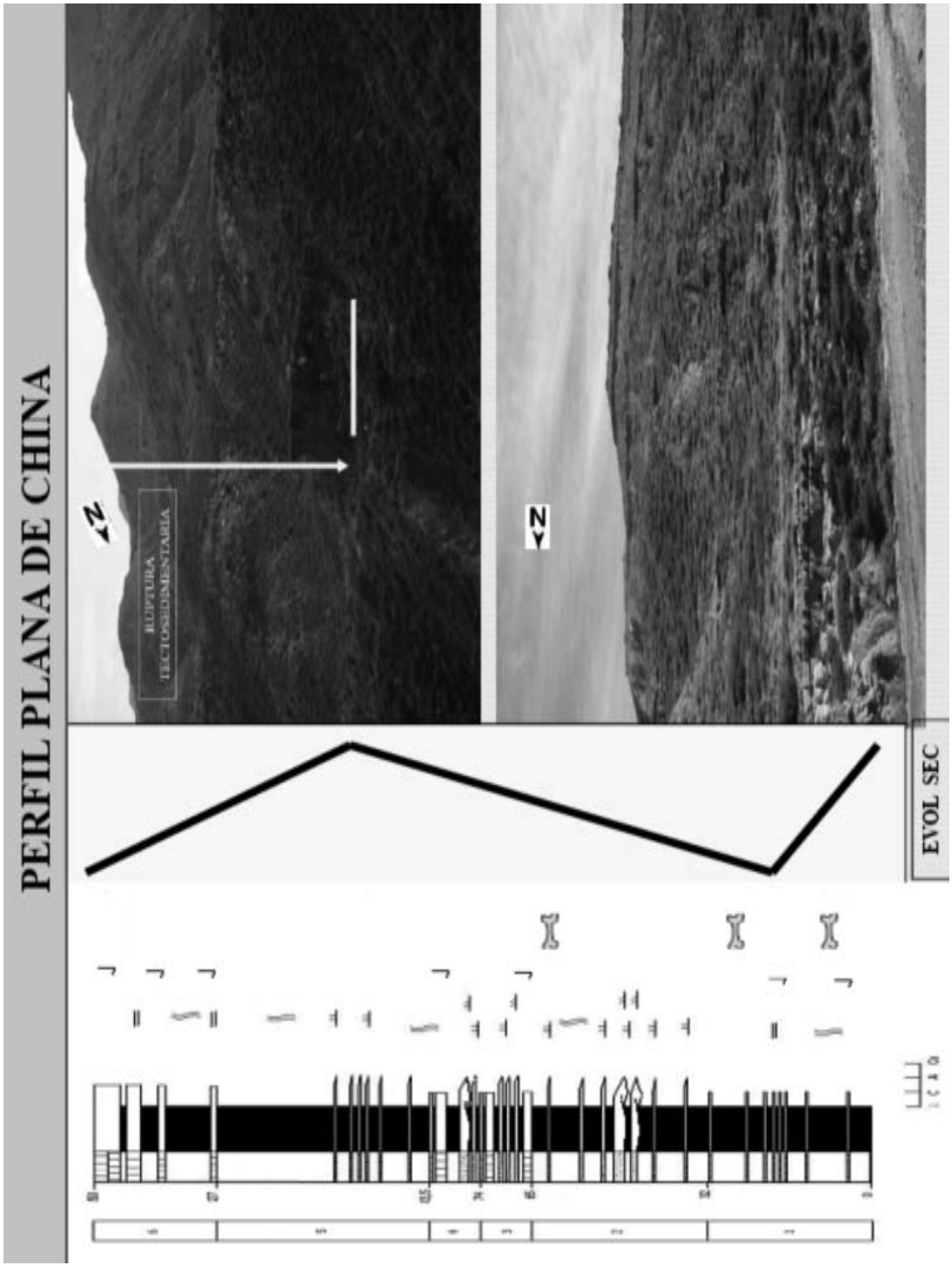
• **Villena, J., González, A., Muñoz, A., Pardo, G. y Pérez, A. 1992.** Síntesis estratigráfica del Terciario del borde sur de la Cuenca del Ebro: unidades genéticas. *Acta Geológica Hispánica, Homenaje a Oriol Riba Arderiu,* 27 (1-2), 225-245.

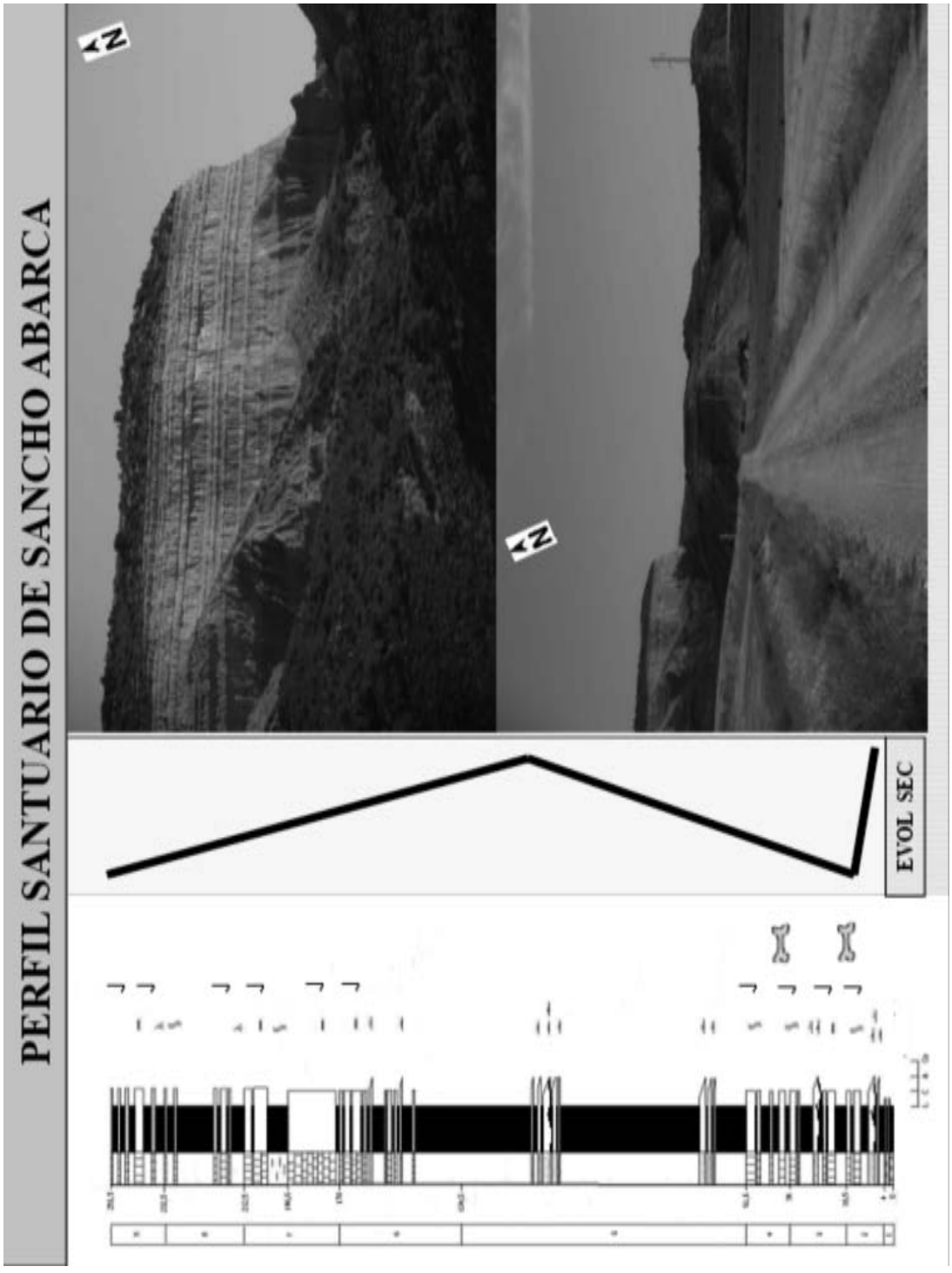

PERFIL BALCÓN DE PILATOS
N
N
EVOL SEC

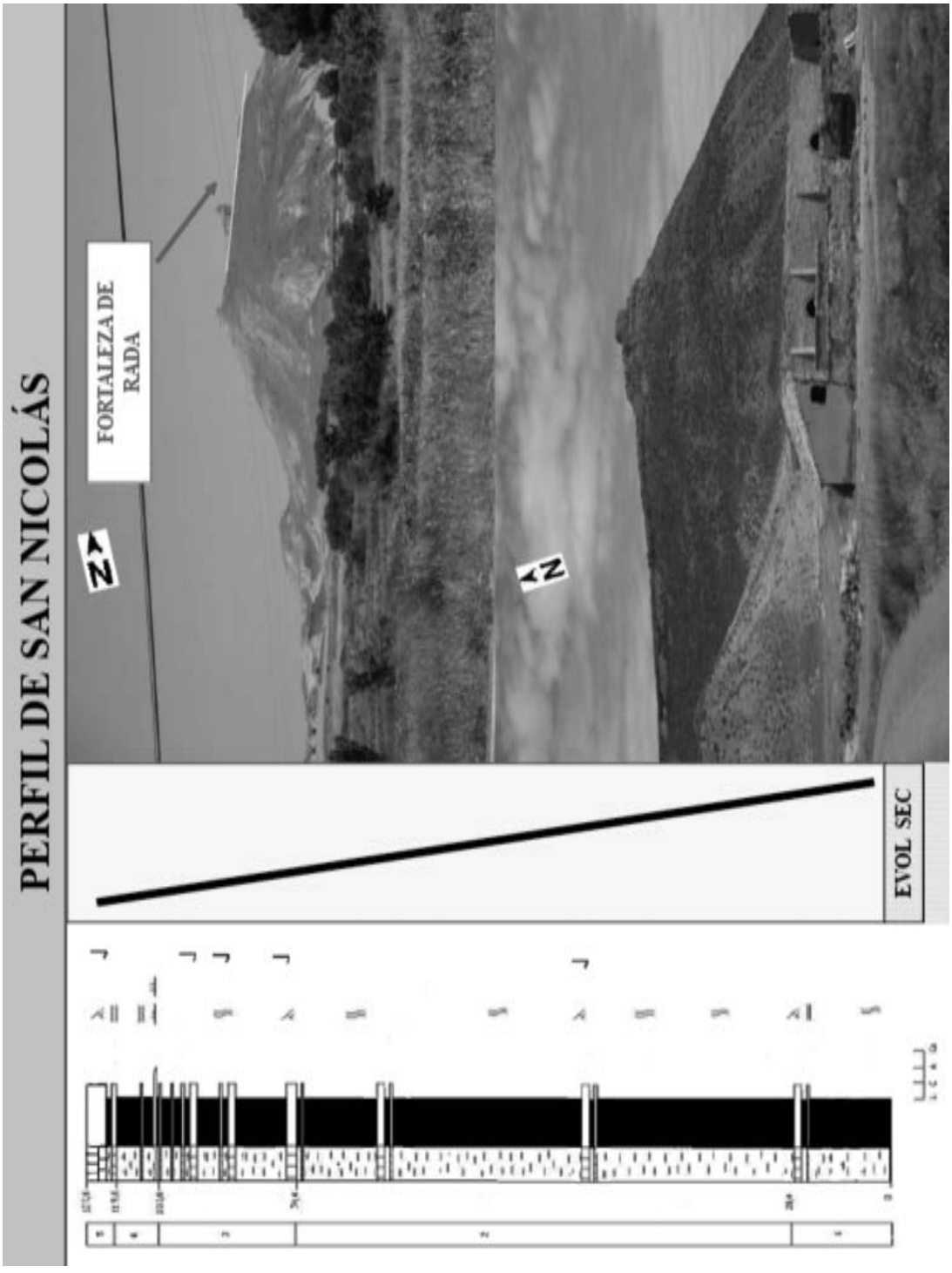

PERFIL PLANA DE LA BANDERA
N
N
EVOL SEC

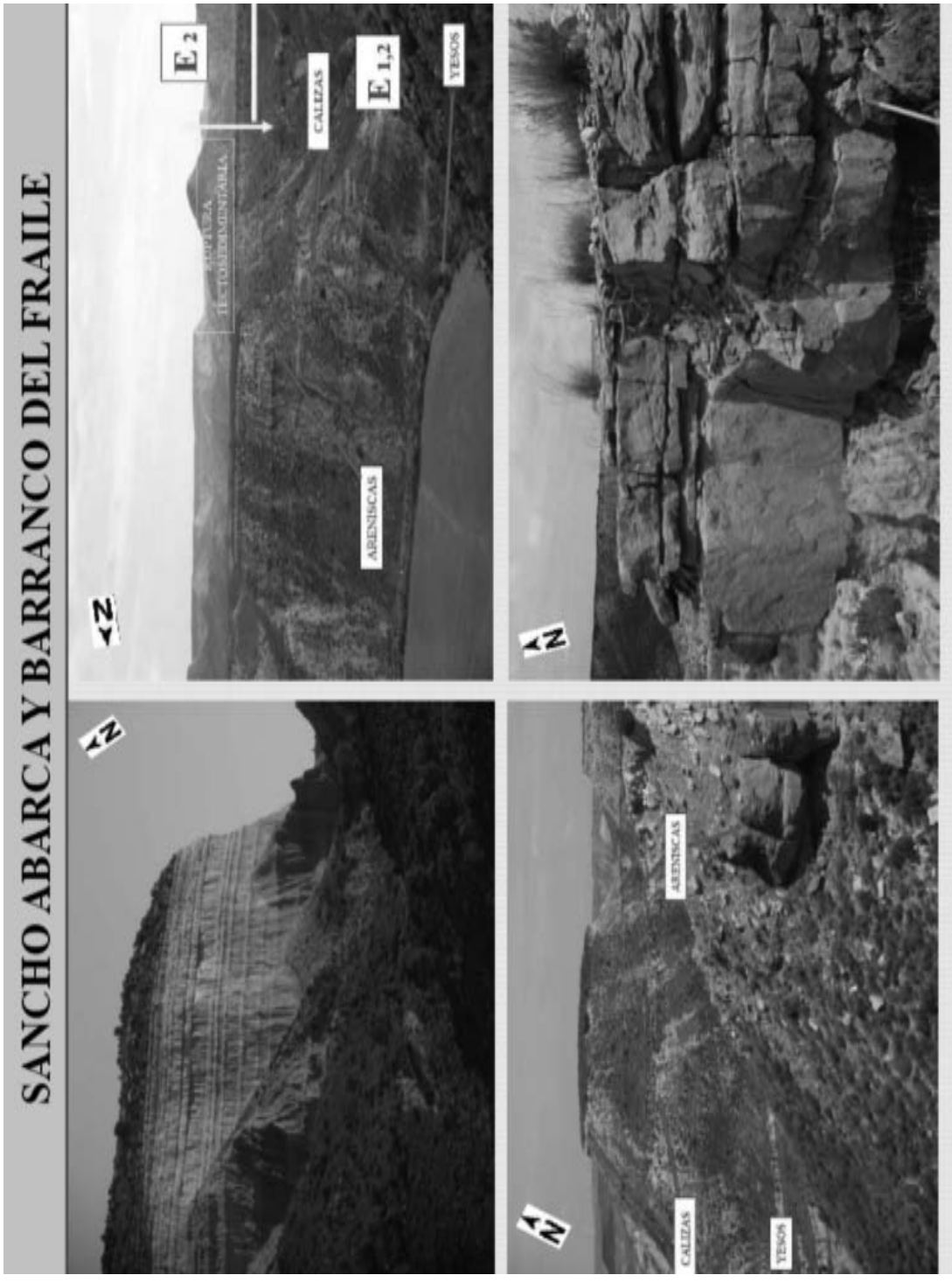

PERFIL PORTILLO DE STA. MARGARITA
N
CALIZAS ARENOSAS
ULTIMAS ARENISCAS
N
NASA ALTA
E 1
RUPTURA TECTONOSEDIMENTARIA
TOCIL
ARENISCAS
E 1,2
EVOL. SEC

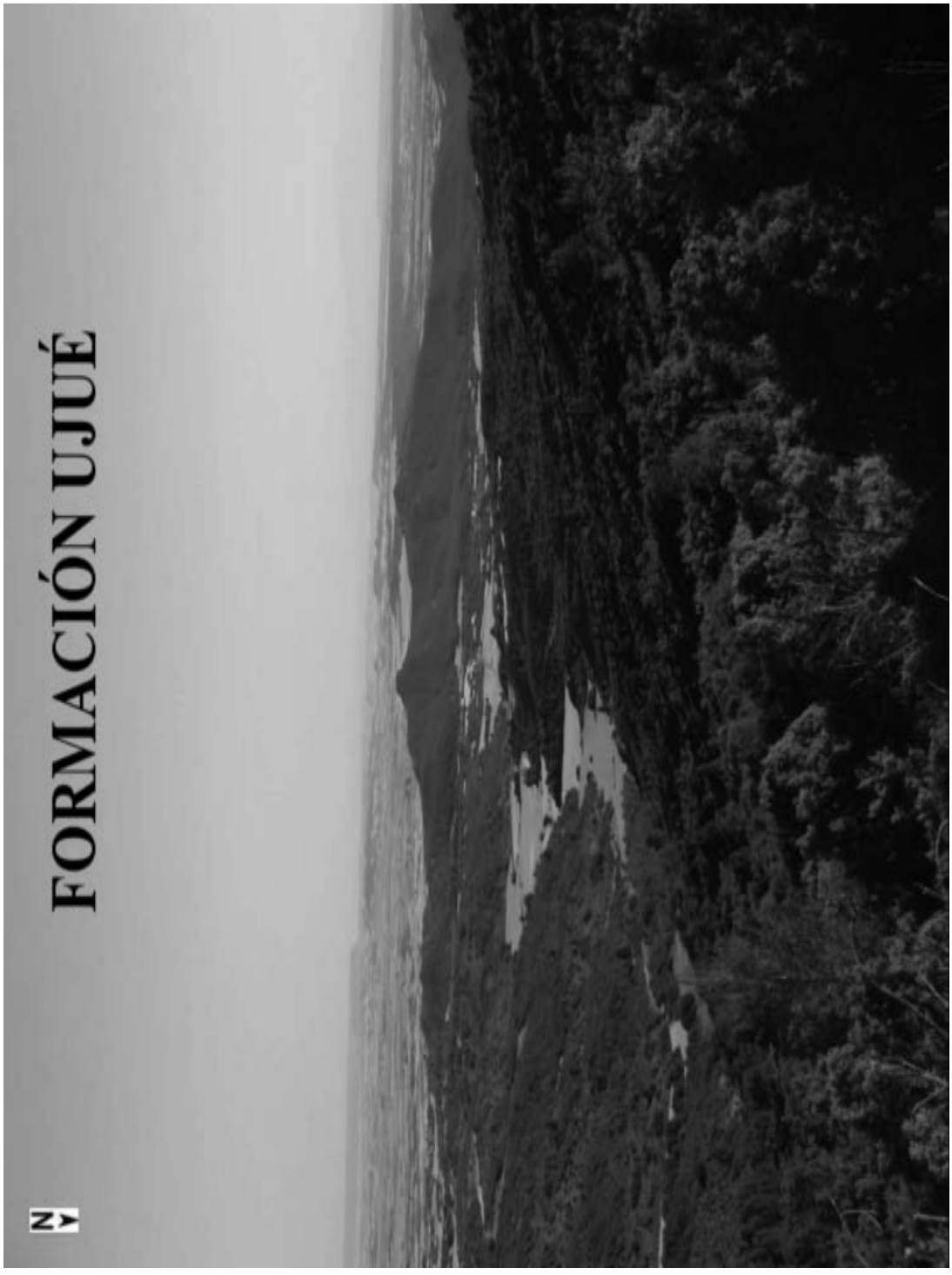

PERFIL BARRANCO DEL FRAILE
TECHO DE SANCHO ABARCA
TECHO DEL BCO. DEL FRAILE
N
ARENISCAS
CALIZAS
YESOS
N
EVOL SEC


PERFIL PLANA DE CHINA
N
RUPTURA
TECTOSEDIMENTARIA
N
EVOL SEC


PERFIL SANTUARIO DE SANCHO ABARCA
N
N
EVOL SEC


PERFIL DE SAN NICOLÁS
FORTALEZA DE RADA
N
N
EVOL SEC


SANCHO ABARCA Y BARRANCO DEL FRAILE
E 2
FALLA
TECTOSEDIMENTARIA
CALIZAS
E 1,2
YESOS
ARENISCAS
N
N
N
ARENISCAS
CALIZAS
YESOS
N


FORMACIÓN UJUÉ
N