



Gobierno de Navarra

Departamento de Obras Públicas,
Transportes y Comunicaciones

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE NAVARRA

ESCALA 1:25.000

HOJA 173-IV

TAFALLA

MEMORIA

La presente hoja y memoria han sido realizadas por COMPAÑIA GENERAL DE SONDEOS, S.A., habiendo intervenido los siguientes técnicos:

ANTONIO HERNANDEZ SAMANIEGO (CGS): Coordinación y dirección. Cartografía Geológica y Memoria.

GUILLERMO PORTERO GARCIA (CGS): Cartografía Geomorfológica y Memoria.

SEGISMUNDO NIÑEROLA PLA (CGS): Hidrogeología. Memoria.

MANUEL ALONSO GARCIA (CGS): Minería. Memoria.

LILIANA JORDAN ARIAS (CGS): Base de datos.

ASESOR:

JOAQUIN DEL VALLE LERSUNDI

COORDINACION:

ESTEBAN FACI

JAVIER CASTIELLA

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ESTRATIGRAFIA	3
2.1. Terciario.....	4
2.1.1. Ciclo II: unidad de mues-Tafalla (Sueviense).....	4
2.1.1.1. Limolitas y arcillas con laminas de areniscas de ripple marks y localmente niveles de yeso y calizas arenosas (309). Sueviense.....	5
2.1.1.2. Yesos en bancos masivos, con intercalaciones de arcillas yesíferas rojizas (yesos de Tafalla) (312). Sueviense.....	6
2.1.2. Ciclo III: unidad de mendigorria (Sueviense-Arverniense).....	7
2.1.2.1. Limolitas, arcillas y margas con capas de areniscas (324) Sueviense-Arverniense.....	8
2.1.2.2. Margas y arcillas, con capas de areniscas y calizas (326). Sueviense-Arverniense.....	9
2.1.2.3. Areniscas, limolitas, arcillas, margas yesíferas y bancos de yesos, colores gris y amarillentos (330). Sueviense-Arverniense	10
2.1.3. Ciclo IV: unidad de gallipienzo-leoz (Arverniense-Ageniense).....	11
2.1.3.1. Conglomerados y areniscas (conglomerados de gallipienzo) (358). Arverniense-Ageniense	11
2.1.3.2. Capas extensas y potentes de areniscas, limolitas y arcillas. Localmente margas. (areniscas de leoz) (359). Arverniense-Ageniense	12
2.1.3.3. Limolitas y arcillas con capas de areniscas (365). Arverniense-Ageniense	14
2.1.4. Ciclo V: unidad de artajona-olite (Ageniense-Aragoniense).....	15
2.1.4.1. Conglomerados, areniscas y limolitas (Conglomerados de Olleta) (364). Ageniense-Aragoniense	16
2.1.4.2. Areniscas, limolitas y arcillas (Areniscas de Artajona) (398). Ageniense-Aragoniense	16
2.1.4.3. Limolitas y arcillas con capas de areniscas (Arcillas de Olite) (383) Aragoniense	17
2.2. Cuaternario.....	18
2.2.1. Pleistoceno.....	18
2.2.2. Holoceno.....	18
3. TECTONICA.....	19
3.1. TECTONICA REGIONAL.....	19
3.2. DESCRIPCION DE LAS ESTRUCTURAS	21
3.2.1. Dominio plegado de la cuenca del Ebro	21
3.2.1.1. Fallas inversas	22
3.2.1.2. Pliegues asociados a las fallas inversas	22

3.2.1.3. Pliegues de amplio radio.....	22
3.2.2. Dominio subhorizontal de la cuenca del Ebro	22
4. GEOMORFOLOGIA	23
4.1. SITUACION Y DESCRIPCION GEOGRAFICA.....	23
4.2. ANALISIS MORFOLOGICO.....	24
4.2.1. Estudio morfoestructural.....	24
4.2.2. Estudio del modelado	24
4.2.2.1. Laderas.....	24
4.2.2.2. Formas fluviales	24
4.2.2.3. Formas lacustres	25
4.2.2.4. Formas poligenicas	25
4.2.2.5. Formas antropicas	25
4.2.3. Formaciones superficiales.....	25
4.2.3.1. Cantos, limo-arcillas y arenas. Coluviones (a). Laderas. Holoceno	26
4.2.3.2. Cantos, gravas, limo-arcillas y arenas. Terrazas del rio cidacos (b, c, d, e, f). Fluvial. Pleistoceno indiferenciado	26
4.2.3.3. Cantos y gravas, limo-arcillas y arenas. Fondos de valle y vaguada (f). Fluvial. Holoceno	26
4.2.3.4. Cantos y gravas, limo-arcillas y arenas. Llanura de inundacion (f). Fluvial. Holoceno	27
4.2.3.5. Limo-arcillas y arenas. Depositos endorreicos (g). Lacustre/endorreico. Holoceno ...	27
4.2.3.6. Bloques, cantos y gravas. Limo-arcillas y arenas. Glacis (h). Poligenico. Pleistoceno indiferenciado.....	27
4.2.3.7. Limo-arcillas y arenas. Depositos aluvial-coluval (i). Poligenico. Holoceno.....	28
4.3. EVOLUCION DINAMICA	28
4.4. MORFOLOGIA ACTUAL-SUBACTUAL Y TENDENCIAS FUTURAS	29
5. HISTORIA GEOLOGICA.....	30
6. GEOLOGIA ECONOMICA	34
6.1. RECURSOS MINERALES.....	34
6.1.1. Cobre	34
6.1.1.1. Potencial minero	34
6.1.2. Arcillas.....	35
6.1.2.1. Potencial minero	35
6.1.3. Arenas y areniscas	35
6.1.3.1. Potencial minero	36
6.2. HIDROGEOLOGIA	36

6.2.1. Introducción	36
6.2.2. Unidad hidrogeologica sur	37
6.2.3. Unidad del aluvial del Ebro y afluentes	40
6.2.4. Unidad hidrogeologica de Alaiz.....	42
6.3. CARACTERISTICAS GEOTECNICAS GENERALES	43
7. BIBLIOGRAFIA.....	49

1. INTRODUCCIÓN

La hoja topográfica a escala 1:25.000 de Tafalla (173-IV) se halla comprendida entre los meridianos $1^{\circ}41'10,5''$ y $1^{\circ}31'10,5''$ y los paralelos $42^{\circ}30'04,2''$ y $42^{\circ}35'04,2''$, ocupando una posición centrada dentro de la Comunidad Foral de Navarra.

La mayor parte de la hoja está denominada por un relieve suavemente alomado, caracterizado por presentar alturas medias comprendidas entre los 400 y 890 m. Los puntos topográficamente más elevados corresponden a los vértices de Santa Agata (892 m), San Andrés (869), Alto de San Ginés (807), Chuchu (851), Alto las Mugas (841), Alto de Toromaltas (622), Alto de Vallervitos (794), Alto de Peña Blanca (852) y Alto de Portilluga (765). Estos puntos están situados, todos ellos, en el sector oriental de la hoja; por el contrario, las zonas más deprimidas se hallan en el sector occidental, donde se encuentra el valle del río Cidacos (con cotas comprendidas entre los 400 y 470 m)

El drenaje se realiza a través de una red de valles y barrancos, la mayoría con cursos de agua esporádicos, que desaguan, la mayor parte de ellos, en el río Cidacos, o en sus afluentes el río Sansoain y el Bco. de San Martín. Toda el área es distributaria hidrográfica de la Cuenca del Ebro.

El clima en la región es claramente de tipo continental, presentando una amplitud térmica que aumenta hacia el sur, oscilando las medias termométricas entre los 11° y los 14° . En cuanto a la precipitación anual sería inferior a los 500 mm anuales, para la mayor parte de la zona.

La densidad de población es de media a baja, existiendo tres núcleos de población: Tafalla, San Martín de Unx y Pueyo.

Desde el punto de vista geológico la hoja de Tafalla se sitúa en el borde norte de la Depresión del Ebro. Los materiales que la constituyen, conglomerados, areniscas, arcillas, margas y yesos son de origen continental, y sus edades oscilan entre el Oligoceno y el Mioceno. Existen también materiales de edad cuaternaria que recubren a los anteriormente citados.

Desde el punto de vista estructural lo que caracteriza a esta zona es su relativa movilidad tectónica, que ha ido acompañada de variaciones de cierta importancia en el espesor de las series detríticas. Las estructuras de mayor interés son las fallas inversas de Tafalla-Larraña y sus asociadas de San Martín de Unx y Puerto de Lerga. La primera limita los yesos intensamente plegados, con frecuentes buzamientos subverticales y localmente pliegues tumbados (Anticlinorio de Tafalla-Larraña), de las areniscas y lutitas de las unidades posteriores, claramente subverticalizadas.

Asociadas a estas fracturas, existen frecuentes estructuras anticlinales y sinclinales, generalmente de escaso recorrido superficial. La más importante es el anticlinal de Las Roturas.

El resto de la hoja (sector NO) forma parte del flanco sur del sinclinal de amplio radio de Itacayo.

Para la realización de la cartografía y la redacción de la presente memoria ha sido de gran utilidad la documentación cedida por la Diputación Foral de Navarra y cuyos autores son el Dr. C. Puig de Fábregas y J. Solé.

2. ESTRATIGRAFIA

Como se ha mencionado en el capítulo de Introducción, en la hoja de Tafalla se hallan representados parte de los materiales oligocenos y miocenos que colmatan el borde norte de la Depresión del Ebro.

En la hoja existen cuatro principales dominios litológicos (ver Fig. 1) que están constituidos por:

- a) Alternancia de conglomerados y areniscas
- b) Yesos y margas yesíferas
- c) Lutitas con niveles de areniscas y ocasionalmente yesos
- d) Areniscas, limolitas y arcillas

figura 1

Teniendo en cuenta la distribución regional que presentan los cuerpos sedimentarios, puede observarse la interdigitación de los distintos ambientes deposicionales desde abanico aluvial hasta los términos lacustre-palustre. Esta interdigitación permite, asimismo, comprobar una ordenación cíclica de los sedimentos en la vertical, en este sector. Cada uno de los estos ciclos (separados unos de otros por discontinuidades sedimentarias) está constituido regionalmente por sedimentos aluviales y aluviales distales en la base, y por sedimentos lacustre-palustre a techo.

El límite entre cada ciclo es neto y brusco, mientras que el tránsito de unos sedimentos a los superiores, dentro del propio ciclo, se produce de forma gradual.

El estudio de esta ciclicidad ha permitido distinguir en esta zona 5 unidades de carácter genético-sedimentario. Estas unidades corresponden a secuencias deposicionales (MITCHUM, 1977), es decir a "unidades estratigráficas", relativamente concordantes, compuestas por una sucesión de estratos, genéticamente relacionados y cuyos límites a techo y muro, son discordancias o sus relativas conformidades (no

deducibles generalmente a escala de afloramiento sino por su comportamiento regional).

Dentro de la hoja de Tafalla se han cartografiado 4 unidades que abarcan una edad comprendida entre el Sueviense (Sannoisiense) y el Aragoniense (Burdigaliense), y reciben de base a techo los nombres de:

1.-Unidad de Mues-Tafalla

2.-Unidad de Mendigorria

3.-Unidad de Gallipienzo-Leoz

4.-Unidad de Artajona-Olite

Dentro de la hoja 1:25.000 de Artajona estos sistemas afloran con las litofacies que serán descritas en los siguientes apartados:

Asímismo, con el fin de poder visualizar de una forma sencilla la posición de las distintas unidades y su correlación con la subdivisión regional utilizada anteriormente se ha representado en la Fig. 2 un esquema con las unidades utilizadas en esta memoria.

FIGURA 2

2.1. Terciario

En la hoja de Tafalla están representados todos los ciclos a excepción del Ciclo I (Unidad de Añorbe-Pte. La Reina).

2.1.1. Ciclo II: unidad de mues-Tafalla (Sueviense)

Los materiales del Ciclo II en la hoja de Tafalla afloran a lo largo de una franja de dirección E-O, que se extiende en las proximidades de Tafalla afectados por el anticlinorio del mismo nombre. La relación entre estos materiales y los del Ciclo III, situados inmediatamente por encima, se interpreta como contacto paraconforme, aunque regionalmente se considera discordante. Una buena observación del carácter

discordante entre ambos depósitos, se puede observar en el desmonte de la carretera de Tafalla a Larraga (hoja de Larraga), entre los pk. 22 y 22,500. Por otra parte, su relación con los sedimentos del Ciclo IV situados al sur de la estructura en anticlinorio, citada anteriormente, se produce mediante una falla inversa.

En la hoja de Tafalla este ciclo está representado por dos litofacies, de origen lacustre y fluviolacustre. La primera formada por yesos masivos, con intercalaciones de arcillas y margas (312) (yesos de Tafalla), y la segunda por limolitas y arcillas rojas (309). Ambos grupos litológicos proceden por cambio lateral de facies de la unidad Areniscas de Mues.

Han sido reconocidas con detalle en las columnas estratigráficas de Artajona y Moncayuelo, en la vecina hoja de Larraga, donde alcanzan una potencia estimada en 400 m.

Un detallado estudio sobre estas litofacies y los procesos sedimentarios que los originaron fué realizado por SOLE, J. (1972) en las hojas de Allo y Viana.

2.1.1.1. Limolitas y arcillas con laminas de areniscas de ripple marks y localmente niveles de yeso y calizas arenosas (309). Sueviense

Esta unidad de carácter heterolítico procede en parte de la unidad (307) Areniscas de Mues de la que es equivalente distal hacia el E y N.

Está formada por limolitas y arcillas grises y violáceas, con capas centimétricas de areniscas, limos carbonatados y calizas grises. Hacia el N y en las proximidades de Tirapu (hoja de Artajona) se intercalan margas yesíferas verdes y niveles de yeso blanquecino.

La potencia máxima medida es de 950 m. en Mendigorria (hoja de Artajona).

Las areniscas suelen presentar laminación paralela y ripples de corriente, con la bioturbación de moderada a elevada, siendo esta más frecuente en la parte superior de la unidad. También se encuentran en estos materiales costras y huellas de retracción (mud-craks).

Las características sedimentarias mencionadas indican para estas zonas distales y de llanura lutítica, el predominio de la deposición de lutitas, a menudo como resultado de inundaciones generalizadas originadas por fenómenos de arroyada en manto (sheet-floods), aunque coexistiendo con esporádicos flujos canalizados. En estas zonas se formarían, esporádicamente, charcas efímeras con depósitos de carbonatos. Estas zonas conectarían lateralmente con áreas lacustres situadas más al interior de la cuenca.

Las areniscas estudiadas son litarenitas, de granos subangulosos a subangulosos-subredondeados de clastos silíceos y carbonatados, estos últimos en mayor proporción, con textura de esqueleto denso, con contactos tangenciales y apretados y marcada orientación paralela de los granos, cementados por carbonatos más o menos sucios e impregnados de $OxFe$, haciéndose difícil la distinción cuantitativa entre cemento y clastos. Por el grado de compacidad del esqueleto se estima que la proporción de cemento varía entre 20 y 30% del total de la roca. El porcentaje de siliciclastos se distribuye en: 20-30% de cuarzo, 0-5% de feldespato, 5-10% de clastos de sílex, 0-10% de fragmentos de cuarcitas, esquistos y pizarras, 0-10% granos ferruginosos. Los clastos carbonáticos corresponden a fragmentos de calizas y fragmentos de bioclastos. Su porcentaje varía entre el 25% y 50% del total de la roca.

No se observa una variación significativa respecto a la composición de las areniscas de otras unidades litológicas.

Ante la ausencia de datos paleontológicos, la atribución cronológica de la unidad (Sueviense) se ha hecho por posición estratigráfica.

2.1.1.2. Yesos en bancos masivos, con intercalaciones de arcillas yesíferas rojizas (yesos de Tafalla) (312). Sueviense

Esta unidad cartográfica se la conoce regionalmente con los nombres de Yesos de Desojo (RIBA, 1964) y Yesos de Falces (CASTIELLA, 1973; PUIGDEFABREGAS, 1972 y BERDIZ, 1972).

Presenta una estructuración tectónica semejante a la que presenta la unidad (303) en la zona de Añorbe, hoja de Artajona, y que está caracterizada por la existencia de fallas inversas y anticlinales apretados y tumbados.

Está formada por una alternancia de bancos de yesos blanquecinos y negruzcos y tramos grises y verdosos. Los bancos oscilan entre pocos centímetros y 25 m aproximadamente. En detalle estos bancos están formados por capas alternantes de yeso alabastrino blanquecino de tipo microlenticular, con aspecto externo masivo, y yesos laminados negruzcos. Estos últimos presentan litofacias de yeso primario laminado, estando constituidas las láminas por acumulaciones de lensoides de pequeño tamaño, que pueden disponerse paralelos a la estratificación o no. El material encajante de los cristales lenticulares suele ser margas. Intercaladas entre las láminas y estratos delgados se observan en ocasiones finas hiladas de carbonatos amarillentos constituidos por acumulaciones algales.

La potencia media de la unidad en esta zona oscila entre 350 y 400 m.

Las características sedimentológicas de los materiales de esta unidad hacen pensar en que se depositaron en un medio lacustre de elevada salinidad. La sedimentación de las evaporitas fue subacuática.

La unidad yesos de Tafalla pasa lateralmente hacia el Este (hoja 50.000 nº 174 de Sangüesa) a facies carbonatadas de origen lacustre lo que indicaría diferentes tipos de depósitos para un mismo lago o episodio lacustre.

Ante la ausencia de datos paleontológicos, la atribución cronológica de la unidad (Sueviense) se ha hecho por posición estratigráfica.

2.1.2. Ciclo III: unidad de mendigorria (Sueviense-Arverniense)

Los materiales del Ciclo III en la hoja de Tafalla afloran a lo largo de una franja de clara orientación E-O, que bordean por el norte los materiales descritos en el apartado anterior. La relación entre ambos conjuntos sedimentarios es paraconforme. Los buzamientos, que son bastante constantes en todos los afloramientos, oscilan entre 20° y 30° hacia el norte.

Este ciclo está representado en esta hoja por tres litofacias, la inferior está constituida por lutitas con capas de areniscas (324) y evoluciona hacia el oeste y hacia la parte superior de la serie a lutitas con areniscas y calizas (326) y lutitas con areniscas y

yesos (330). Asimismo, hacia el Norte (hoja de Barasoain) pasan por cambio lateral de facies a areniscas de grano grueso y microconglomerados (317).

Han sido reconocidas con detalle en la columna estratigráfica de Tafalla.

2.1.2.1. Limolitas, arcillas y margas con capas de areniscas (324) Sueviense-Arverniense

Está constituida por una alternancia de areniscas, limolitas, arcillas y margas amarillentas y rojizas, siendo característico el progresivo aumento de la fracción arenosa hacia el techo de la unidad en el borde oriental de la hoja. Las areniscas por lo general de grano medio, se distribuyen en canales de 1 a 3 m de potencia y con una extensión lateral decamétrica.

Forman secuencias granodecrecientes (fining-upward) de unos 7 a 12 m de potencia, formadas en la base por un cuerpo arenoso, que presenta la base erosiva y estructuras tractivas. Hacia el techo del banco arenoso, el tamaño del grano se hace menor y predominan las laminaciones cruzadas de pequeña escala y la laminación paralela. Encima se sitúa un tramo margoso, que puede finalizar en un nivel carbonatado, que se interpreta como de origen edáfico. El espesor máximo de la unidad es de 1000 m.

El ambiente de depósito de este conjunto corresponde a medios fluviales relacionados con abanicos aluviales, abarcando desde sistemas braided regionalmente en la zona Norte hasta cursos meandriformes en la zona Sur.

Las areniscas estudiadas son litarenitas, de granos subangulosos a subangulosos-sobredondeados de clastos silíceos y carbonatados, estos últimos en mayor proporción, con textura de esqueleto densa, con contactos tangenciales y apretados y marcada orientación paralela de los granos, cementados por carbonatos más o menos sucios e impregnados de $OxFe$, haciéndose difícil la distinción cuantitativa entre cemento y clastos. Por el grado de compacidad del esqueleto se estima que la proporción de cemento varía entre 20 y 30% de total de la roca. El porcentaje de siliciclastos se distribuye en: 20-30% de cuarzo, 0-5% de feldespatos, 5-10% de clastos de sílex, 0-10% de fragmentos de cuarcitas, esquistos y pizarras, y 0-10 de

granos ferruginosos. Los clastos carbonáticos corresponden a fragmentos de calizas y fragmentos de bioclastos. Su porcentaje varía entre el 25 y 50% del total de la roca.

No se observa una variación significativa respecto a la composición de las areniscas de otras unidades litológicas.

La edad se ha atribuido por su posición estratigráfica.

2.1.2.2. Margas y arcillas, con capas de areniscas y calizas (326). Sueviense-Arverniense

Esta unidad está constituida por una alternancia de margas y arcillas amarillentas con tramos rojizos, en las que se intercalan niveles de areniscas y localmente de calizas. Proceden por cambio lateral de facies de la unidad (324) descrita anteriormente.

Las areniscas, generalmente de grano fino, se disponen, bien en capas de 0,39 m a 0,70 m de espesor y de extensión lateral hectométrica, o bien en capas de forma canalizada de potencia máxima 1,5 m y extensión lateral decamétrica.

La composición de las areniscas es similar a la descrita en el apartado anterior.

Las estructuras sedimentarias, poco abundantes, se reducen a ripples en las areniscas, o estratificaciones cruzadas de surco y planar en aquellos niveles que implican una mayor energía.

Con cierta frecuencia se observa en la serie horizontes carbonatados de escasa potencia (< de 20 cm).

La potencia de la unidad se estima en unos 500 m.

Las características sedimentológicas mencionadas nos reflejan ambientes correspondientes a zonas distales y de llanura lutítica, resultado de inundaciones generalizadas originadas por mantos de arroyada, coexistiendo con flujos canalizados.

En estas zonas se formarían esporádicamente zona encharcadas con depósitos de carbonatos.

2.1.2.3. Areniscas, limolitas, arcillas, margas yesíferas y bancos de yesos, colores gris y amarillentos (330). Sueviense-Arverniense

Está constituida prioritariamente por arcillas y limos de tonalidades dominantes grises y amarillentas localmente rojizas con capas intercaladas de areniscas por lo general de grano fino. Las areniscas se disponen, bien en cuerpos canalizados de potencia media 1,5 m y extensión lateral decamétrica, bien en cuerpos planos paralelos de escasa potencia (menor de 0,5 m). El cemento en las areniscas tiene un elevado componente yesífero. Localmente pueden encontrarse niveles de calizas grises muy limosas, así como capas de yeso, más abundantes en la parte inferior de la serie donde pueden alcanzar 1 m de potencia.

Las estructuras sedimentarias no son muy abundantes en los tramos inferiores, donde se reducen a ripples en las areniscas. En las zonas intermedias hay estructuras que implican una mayor energía como estratificaciones cruzadas de surco y planar, en algunas capas se observa grano selección positiva y bioturbación de baja a moderada, aunque siguen siendo las laminaciones cruzadas las más abundantes. En la parte superior del tramo fundamentalmente hacia el Sur y en la hoja de Peralta además de estas estructuras se encuentran mud-cracks, costras, y pisadas de vertebrados inclasificables. En ocasiones las lutitas presentan horizontes de nódulos carbonatados, a veces muy apretados, de origen edáfico.

Las características sedimentológicas mencionadas indican, para estas zonas distales y de llanura lutítica, el predominio de la deposición de lutitas, a menudo como resultado de inundaciones generalizadas originadas por fenómenos de arroyada en manto (sheet-floods) aunque coexistiendo con esporádicos flujos canalizados. En estas zonas se formarían esporádicamente charcas efímeras con depósitos de carbonatos y evaporitas. Estas zonas conectarían lateralmente con áreas lacustres situadas más al interior.

El análisis realizado en una muestra, AN-1, tomada en los tramos arcillosos de esta unidad, ha dado el siguiente resultado:

MUESTRA AN-1: Análisis mineralógico: Difracción de Rayos X

-Polvo total (%)

Filosilicatos: 45

Cuarzo:21

Calcita: -
Dolomita:42
Feldespatos:<2
-Fracción arcillosa (%)
Illita:84
Clorita: 8
Caolinita: 8
Esmectita: -

2.1.3. Ciclo IV: unidad de gallipienzo-leoz (Arverniense-Ageniense)

Los materiales del Ciclo IV afloran en gran parte de la hoja de Tafalla, discordantes sobre los sedimentos del Ciclo III. En otros puntos se ha considerado el contacto como paraconforme. Por un lado, los que ocupan la mitad noroccidental, forman parte del flanco sur del sinclinal de Artajona, con buzamientos que oscilan entre 15 y 30° hacia el N. Por otro, en el sector SE están afectados en parte por la falla inversa de Tafalla-Larraga, de S. Martín de Unx y fallas asociadas a ellas.

En la hoja de Tafalla este ciclo está representado por tres litofacies: la inferior está constituida por conglomerados y areniscas (conglomerados de Gallipienzo) (358). Estos materiales evolucionan hacia el oeste a areniscas en capas extensas, limolitas y arcillas (359), de origen fluvial, y estas a su vez hacia el oeste y sur y hacia la parte superior de la serie evolucionan a materiales más distales, constituidos por limolitas y arcillas con capas discontinuas de areniscas (365). Estas unidades han sido reconocidas en detalle en las columnas estratigráficas de Lerga-Olleta y Tafalla donde afloran con una potencia máxima de 1000 m.

2.1.3.1. Conglomerados y areniscas (conglomerados de gallipienzo) (358). Arverniense-Ageniense

En la hoja de Tafalla hay tres pequeños afloramientos de esta unidad, en los Altos de S. Ginés y del Burlón, en el borde oriental de la hoja. En esta zona la potencia es muy reducida (del orden de 30 m), aunque regionalmente, hacia el este, puede alcanzar hasta 300 m de potencia.

Por otra parte, su localización se encuentra en una zona de elevada tectonización, lo que dificulta la observación de estos materiales con cierta amplitud.

Está constituida por conglomerados como litología dominante, alternando con capas de arenisca y limolitas rojas. Los conglomerados son masivos, aunque localmente se observan estratificaciones cruzadas de gran escala y cicatrices erosivas, que a menudo corresponden a varios niveles menores amalgamados. Están formados por cantos de hasta 25 cm de diámetro máximo, heterométricos, redondeados y de composición dominante caliza y arenisca. Aunque algunos niveles presentan bases erosivas netas, rara vez se observan canales muy excavados. Las areniscas por lo general de grano grueso y microconglomeráticas, presentan estructuras de estratificación cruzada de surco y planar, y laminación paralela.

Estos materiales se distribuyen en secuencias cuyo orden de potencias oscilan entre 6 y 25 m.

Las características expuestas indican que estos depósitos de abanicos se originaron por procesos de corrientes tractivas acuosas, coladas de derrubios (debris flow) y coladas de fango (mud-flow).

2.1.3.2. Capas extensas y potentes de areniscas, limolitas y arcillas. Localmente margas. (areniscas de leoz) (359). Arverniense-Ageniense

Está constituida por una alternancia de areniscas, limos y arcillas de tonos amarillentos y rojizos. Las areniscas se disponen en capas de hasta 6 m de potencia de aspecto externo tabular, con continuidad lateral hectométrica. En detalle, estas capas están formadas por la incisión de varios canales amalgamados procedentes de varias fases erosivas, y que presentan individualmente estructuras tractivas del tipo de estratificaciones cruzadas de surco y planar, con cantos blandos dispersos en la masa arenosa y a veces concentrados en la base de los canales, y ripples en el techo de los bancos arenosos. En estas secuencias el tramo lutítico superior suele faltar por erosión. Las areniscas suelen ser de grano grueso, a veces microconglomeráticas, aunque también se presentan areniscas de grano fino en capas decimétricas con estructura interna de ripples y con bioturbación de baja a moderada.

Las características expuestas indican que la sedimentación se produciría por flujos acuosos canalizados, con fases erosivas debidas a episodios tractivos distintos y que producen el amalgamiento de canales, alternando con coladas de fango esporádicas.

Las areniscas estudiadas son litarenitas de granos subangulosos a subangulosos-subredondeados de clastos síliceos y carbonatados, estos últimos en mayor proporción, con textura de esqueleto denso, con contactos tangenciales y apretados y marcada orientación paralela de los granos, cementados por carbonatos más o menos sucios e impregnados de $OxFe$, haciéndose difícil la distinción cuantitativa entre cemento y clastos. Por el grado de compacidad del esqueleto se estima que la proporción de cemento varía entre 20 y 30% del total de la roca. El porcentaje de siliciclastos se distribuye en: 20-30% del total de la roca. El porcentaje de siliciclastos se distribuye en: 20-30% de cuarzo 0-5% de feldespato, 5-10% de clastos de sílex, 0-10% de fragmentos de cuarcitas, esquistos y pizarras, y 0-10% de granos ferruginosos. Los clastos carbonáticos corresponden a fragmentos de calizas y fragmentos de bioclastos. Su porcentaje varía entre el 25 y 50% del total de la roca.

En la vecina hoja de Tafalla, se han realizado dos análisis en los niveles arcillosos de esta unidad (muestras AN-29 y 59), dando los siguientes resultados:

MUESTRA AN-29: Análisis mineralógico: Difracción de Rayos X

-Polvo total (%)

Filosilicatos: 45

Cuarzo:15

Calcita:40

-Fracción arcillosa (%)

Illita:85

Clorita:15

Caolinita:-

Esmectita:-

MUESTRA AN-59: Análisis químico (%)

SiO_2 :36,61

Al_2O_3 :12,00

Fe_2O_3 : 4,56

TiO_2 : 0,48

CaO :21,66

MgO : 2,34

K_2O : 2,12

Na_2O : 0,25

P.p.c.:19,92

Límite líquido:31,10

Límite plástico:19,75

Índice plástico:11,35

No se observa una variación significativa respecto a la composición de las areniscas de otras unidades litológicas.

2.1.3.3. Limolitas y arcillas con capas de areniscas (365). Arverniense-Ageniense

Esta unidad aflora en la zona centro-occidental de la hoja, y al sur, lateralmente para a la unidad (359) descrita anteriormente, por un aumento progresivo de la fracción arena.

Está constituida por arcillas y limos de tonalidades dominantes amarillentas y rojizas, con capas intercaladas de areniscas de grano fino, cuya potencia no sobrepasa los 30 cm., Dispersos en la masa lutítica se encuentran paleocanales de escasa extensión lateral y de potencia máxima 1,5 m.

Las estructuras sedimentarias no son muy abundantes en los tramos inferiores, donde se reducen a ripples en las areniscas. En las zonas intermedias hay estructuras que implican una mayor energía como estratificaciones cruzadas de surco y planar, en algunas capas se observa grano selección positiva y bioturbación de baja a moderada, aunque siguen siendo las laminaciones cruzadas las más abundantes. En la parte superior del tramo fundamentalmente hacia el oeste (hoja de Larraga) además de estas estructuras se encuentran mud-cracks, costras, y pisadas de vertebrados inclasificables. En ocasiones las lutitas presentan horizontes de nódulos carbonatados a veces muy apretados, de origen edáfico.

En la vecina hoja de Larraga se ha realizado un análisis en los niveles arcillosos de esta unidad (muestra AN-10), dando los siguientes resultados:

MUESTRA AN-10: Análisis mineralógico: difracción de Rayos X

-Polvo total (%)

Filosilicatos:49

Cuarzo:14

Calcita:35

Feldespatos:<2

-Fracción arcillosa (%)

Illita:65

Clorita:ind.

Caolinita: 8

Esmectita:27

Las características sedimentológicas mencionadas indican, para estas zonas distales y de llanura lutítica, el predominio de la deposición de lutitas, a menudo como resultado de inundaciones generalizadas originadas por fenómenos de arroyada en manto (sheet-floods) aunque coexistiendo con esporádicos flujos canalizados. En estas zonas se formarían esporádicamente charcas efímeras con depósitos de carbonatos y evaporitas. Estas zonas conectarían lateralmente con áreas lacustres situadas más al suroeste.

2.1.4. Ciclo V: unidad de artajona-olite (Ageniense-Aragoniense)

Los materiales del Ciclo V afloran, en el sector centro septentrional de la hoja de Tafalla, así como en el sector meridional.

En el primer sector está suavemente plegado, según una estructura sinclinal (Sinclinal de Itacayo), que tiene la peculiaridad de que el eje del pliegue (de dirección ENE-OSO) que afecta a los sedimentos de la unidad de Artajona-Olite, está ligeramente desplazado hacia el Sur, respecto al mismo pliegue que afecta a los materiales inferiores. Esto nos confirma una nueva reactivación de los esfuerzos con posterioridad a la sedimentación de los materiales superiores.

En la hoja de Tafalla este ciclo está representado por tres litofacies detríticas. Por una parte, la formada por materiales más groseros, conglomerados, areniscas y limolitas (364) (Conglomerados de Olleta), afloran en el sector oriental. Estos depósitos pasan, por cambio lateral de facies, hacia el oeste, a facies arenosas constituidas por areniscas, limolitas y arcillas (398) (Areniscas de Artajona) y estas a su vez hacia el sur a limolitas y arcillas (383) (Arcillas de Olite).

Estos materiales han sido estudiados en detalle en la columna estratigráfica de Lerga-Olleta y Tafalla, donde afloran con una potencia de unos 300 a 1000 m.

Es importante destacar los estudios regionales y de detalle realizados por PUIGDEFABREGAS, C. (1973 y 75) en las facies detríticas de este grupo.

2.1.4.1. Conglomerados, areniscas y limolitas (Conglomerados de Olleta) (364). Ageniense-Aragoniense

Está constituida por conglomerados como litología dominante alternando con capas de arenisca y limolitas rojas. Los conglomerados son masivos, aunque localmente se observan estratificaciones cruzadas de gran escala y cicatrices erosivas, que a menudo corresponden a varios niveles menores amalgamados. Están formados por cantos de hasta 25 cm de diámetro máximo, heterométricos, redondeados y de composición dominante caliza y arenisca. Las areniscas por lo general de grano grueso y microconglomeráticas, presentan estructuras de estratificación cruzada de surco y planar, y laminación paralela. En la parte superior del tramo es frecuente la bioturbación de baja a moderada, y localmente caliches.

Estos materiales se distribuyen en secuencias cuyo orden de potencias oscilan entre 3 y 8 m.

Las características expuestas indican que estos depósitos de abanicos se originaron por procesos de corrientes atractivas acuosas, coladas de derrubios (debris flow) y coladas de fango (mud-flow). La parte superior de la unidad se depositó probablemente bajo la influencia de corrientes canalizadas tipo braided.

2.1.4.2. Areniscas, limolitas y arcillas (Areniscas de Artajona) (398). Ageniense-Aragoniense

Una característica de esta unidad es su disposición subhorizontal en la mayor parte de la hoja, siendo escasos los buzamientos superiores a los 20°

Litológicamente está formada por arcillas y limos amarillentos y rojizos, en los que se intercalan capas de areniscas correspondientes a rellenos de paleocanales, de sección transversal lenticular y escasa relación anchura/altura. Tienen megaestratificación cruzada y son frecuentes las estructuras de acreción lateral. Aparte de los canales, se intercalan numerosos bancos de arenisca fina, casi siempre con ripples de corriente, a veces agrupados en pequeños haces en forma de canales. En los fangos son frecuentes las huellas de bioturbación debido a raíces, que conservan la posición de vida. Las secuencias son marcadamente granodecrecientes.

Las mayores potencias dentro de la hoja alcanzan los 500 m.

Estos materiales representan el paso de unos depósitos formados en un ambiente fluvial de gran energía, con cursos de agua anastomosados y regímenes de sheet floods, con presencia de abanicos aluviales, a unos depósitos de régimen fluvial meandriforme de energía decreciente, donde predominan los sedimentos de llanura aluvial.

2.1.4.3. Limolitas y arcillas con capas de areniscas (Arcillas de Olite) (383) Aragoniense

Afloran en el borde sur de la hoja, donde se apoyan mediante discordancia sobre la unidad (365). Esta disposición es difícilmente observable por lo general, debido a la similitud de las características litológicas de ambos conjuntos. Está constituida por arcillas y limos de tonos anaranjados y amarillentos, localmente rojizos, que incluyen capas de 10 a 50 cm de areniscas de grano fino. Localmente, sobre todo en las zonas próximas a los materiales descritos de la unidad (398) se intercalan capas de mayor potencia (entre 1-15 m), de areniscas de grano medio.

Las estructuras predominantes son laminación paralela y laminación cruzada de pequeña escala, con bioturbación de baja a moderada. En las zonas próximas a la unidad (398) las estructuras son de mayor energía, bases erosivas, estratificación cruzada planar y de surco y cantos blandos. Estas últimas forman cuerpos canalizados de escasa continuidad lateral.

Hacia el techo de la unidad pueden contener niveles de escasa potencia de calizas.

Las características sedimentológicas mencionadas indican, para estas zonas distales y de llanura lutítica, el predominio de la deposición de lutitas, a menudo como resultado de inundaciones generalizadas, originadas por fenómenos de arroyada en manto (sheet-floods), con esporádicos flujos canalizados. En estas zonas se formarían esporádicas charcas efímeras, con depósitos de carbonatos. Lateralmente estas zonas conectarían con áreas lacustres.

2.2. CUATERNARIO

En la hoja de Tafalla los depósitos cuaternarios recubren principalmente el margen suroccidental, mientras que en el resto del territorio estudiado alcanzan poco desarrollo.

En el capítulo de Geomorfología se describen las formaciones superficiales, en orden a su génesis y edad, por lo que en el presente apartado sólo se efectuará una breve referencia de las mismas.

2.2.1. Pleistoceno

Se han cartografiado como pertenecientes a este periodo cuaternario los niveles de terraza situados a +65-60; +53-40 y +25-20 y +15 metros, sobre el cauce actual del río Cidacos, localizadas fundamentalmente en la margen derecha del valle actual y por otro lado un pequeño glacis procedente de los relieves o Cerros de Santa Cruz, situados en la contigua hoja de Barasoain.

2.2.2. Holoceno

El resto de las formaciones superficiales cuaternarias se incluyen ya en el Holoceno: coluviones (543), fondos de valle y vaguada (527), llanura de inundación (525), depósitos endorréicos (523), aluvial-coluvial (537).

3. TECTONICA

3.1. TECTONICA REGIONAL

Desde el punto de vista estructural la zona estudiada está situada en la zona externa meridional de la Cadena Pirenaica.

El conjunto de los Pirineos se ha interpretado recientemente mediante un modelo estructural de piel fina ("thin skinned tectonics"), (WILLIAMS y FISCHER, 1984). En este modelo la Cadena Pirenaica se interpreta como un cinturón de cabalgamientos de doble vergencia generado por la colisión de Iberia y Europa. La estructura alpina de los Pirineos está condicionada básicamente por un cabalgamiento hacia el Sur sobre una falla maestra basal que buza unos 6° hacia el Norte. El extremo frontal del sector meridional pirenaico es en general un cabalgamiento ciego que queda cubierto por los depósitos oligo-miocenos de la Cuenca del Ebro, y que suele manifestarse mediante un amplio anticlinal. Este cabalgamiento frontal puede ser una rampa emergente hacia el Este y Oeste del sector estudiado, en las Sierras Exteriores y la Sierra de Cantabria. Hacia el interior (Norte) se desarrolla a nivel de mesozoico un abanico imbricado de cabalgamientos, con un sistema de cabalgamientos ciegos o que cortan sedimentos terciarios, que enraizan a nivel del Trias. Las cuencas terciarias existentes en la vertiente meridional de la Cadena son interpretables como cuencas de antepais (foreland basins) inducidas por el engrosamiento tectónico (PORTERO y ALVARO, 1984) que evolucionan de acuerdo con los eventos estructurales del cinturón de cabalgamientos pirenaico.

La mayor parte del territorio de la zona de estudio está constituido por depósitos clásticos continentales de edad oligomioceno. La sedimentación muestra evidencias claras de su carácter sintectónico.

-Gran espesor (mayor de 7 kilómetros), que indica una subsidencia continuada e importante. La causa de la subsidencia es la flexión de la litosfera inducida por el engrosamiento tectónico.

-Migración de facies y depocentros hacia el Sur, a lo largo del tiempo, condicionado por la migración de los frentes de cabalgamiento.

-Existencia de discordancias progresivas condicionadas por pliegues sinsedimentarios (growth-folds), posiblemente en relación con cabalgamientos ciegos en el sustrato mesozoico.

-Disposiciones sedimentarias en on-lap muy evidentes en la unidad tectosedimentaria Arverniense-Ageniense.

Los ciclos sedimentarios definidos en las hojas estudiadas están en relación clara con la actividad de los cabalgamientos. Los pulsos de subsidencia y las discontinuidades estratigráficas mayores están asociadas a la discontinuidad de la actividad tectónica: las discontinuidades estratigráficas marcan las principales etapas de actuación o aceleración de los cabalgamientos. La discontinuidad Luteciense (fase Pirenaica) marca el comienzo de la estructuración, en este periodo, de la Cadena, generándose los cabalgamientos de las zonas internas. Las discontinuidades oligocenas (fases Sávica y Castellana) están en relación con la progresión de los cabalgamientos hacia las zonas externas (Sur) durante esta época. El despegue de la cobertera debió alcanzar la actual zona frontal surpirenaica durante el Oligoceno superior. Sin embargo, la actividad tectónica persistió hasta el Mioceno inferior (fase Neocastellana).

Es destacable la correlación existente entre las principales etapas de cabalgamiento en los Pirineos y las discontinuidades que originan en los depósitos sintectónicos de sus cuencas de antepais, y las fases de deformación en las Cadenas Costero-Catalanas y Celtibérica, indicando que la génesis de las tres cadenas corresponde a un mismo acondicionamiento geotectónico de orden mayor.

La evolución de las cuencas terciarias de antepais en este sector de la vertiente surpirenaica se puede esquematizar de la siguiente manera:

Durante el Eoceno se inicia la deformación con la fase Pirenaica (Luteciense). Se forman cuencas con sedimentación marina, depósitos de tipo "flysch" (turbiditas) en las zonas situadas más al Norte de las hojas estudiadas.

La progresión del despegue basal hacia el Sur convierte a estos surcos en cuencas autóctonas "thrust sheet top basins", "piggy back basins", ORI y FRIEND (1984),

ELLIOT et al, (1985), HOMEWOOD et al (1985), RICCI LUCCHI y ORI (1985), que son transportadas hacia el Sur sobre el conjunto de la cobertera despegada.

Los afloramientos mesozoicos de Yesa, Sierra de Alaiz, etc. corresponden a la rampa frontal del "flysch" inicial de un conjunto de nuevos surcos cuyo relleno principal consiste en depositos clásticos continentales oligocenos y miocenos, la "Molasa sintectónica". Estos surcos tambien son deformados internamente de manera progresiva y transportados hacia el sur sobre el cabalgamiento basal. Este cabalgamiento finaliza en una rampa frontal que se manifiesta en superficie como pliegues anticlinales y cabalgamientos que afectan a los depósitos oligocenos.

Las estructuras de plegamiento del relleno sintectónico de la cuenca de antepais corresponden tambien, posiblemente, a cabalgamientos ciegos que afectan a la cobertera mesozoica subyacente. Localmente algunos cabalgamientos son característicos de growth-folds.

Delante (Sur) del cinturón de cabalgamientos y de sus cuencas de antepais activos (alóctonos) se desarrolla una fase de antepais pasiva, la Cuenca del Ebro, inducida por el engrosamiento tectónico de la Cadena y la acumulación de depósitos sinorogénicos en su borde. Esta cuenca no ha sido deformada, y su relleno, mediante la "Molasa postectónica o autóctona", tiene lugar principalmente durante una fase de relleno pasivo en el Mioceno. Asimismo algunas depresiones condicionadas por las estructuras residuales de las cuencas alóctonas (sinclinal de Itacayo en la hoja de Tafalla, por ejemplo) completan su relleno final durante la etapa postectónica.

3.2. DESCRIPCION DE LAS ESTRUCTURAS

Desde el punto de vista estructural se han distinguido en la hoja de Tafalla los siguientes dominios: (ver fig. 3)

3.2.1. Dominio plegado de la cuenca del Ebro

Se caracteriza por la presencia de los siguientes elementos tectónicos:

3.2.1.1. Fallas inversas

Estas fallas se carácter inverso y con cabalgamiento hacia el Sur, presentan un trazado de dirección sensiblemente E-O, y terminan con los extremos curvados según las direcciones NO-SE respectivamente. Las más importantes son las Fallas inversas de Tafalla-Larraga, S. Martín de Unx y del Puerto de Lerga.

3.2.1.2. Pliegues asociados a las fallas inversas

Los materiales que constituyen los labios cabalgantes de las fallas inversas son yesos y margas yesíferas, cuya plasticidad ha debido favorecer el desplazamiento de estas masas. En las proximidades de la línea de falla existe una zona en la que estos sedimentos presentan una tectonización mucho más elevada que el resto de los materiales en zonas alejadas de ellas. En estas zonas la densidad de fallas y pliegues es muy acusada, e incluso se presentan pliegues apretados que lateralmente pasan a pliegues tumbados. Merece destacarse el anticlinorio de Tafalla-Larraga y el anticlinal de Las Roturas.

figura 3

3.2.1.3. Pliegues de amplio radio

La zona central comprendida entre dos fallas inversas sucesivas, está ocupada por una estructura sinclinal de radio muy amplio. Son los sinclinales de Artajona-Olleta, y de Itacayo de cuyas estructuras solo afloran dentro de la hoja de Tafalla sus flancos sur.

3.2.2. Dominio subhorizontal de la cuenca del Ebro

Corresponde a la zona ocupada por los materiales depositados después del movimiento principal de la fase Neocastellana. Generalmente tienen una disposición subhorizontal, o suavemente plegada como son las zonas situadas al sur de la falla inversa de Tafalla-Larraga.

Existen fallas de edad finimiocena, de carácter distensivo, que afectan a estos materiales del Mioceno.

4. GEOMORFOLOGIA

4.1. SITUACION Y DESCRIPCION GEOGRAFICA

La hoja de Tafalla ocupa una posición central dentro de la Comunidad Foral de Navarra.

En el sector occidental está recorrida por el río Cidacos en dirección N-S.

La red fluvial secundaria está constituida fundamentalmente por el Barranco de Valdetina y el Arroyo de la Majada, tributarios del Arga por su margen derecha a los que se suma una densa red de cauces esporádicos por el resto de la región.

El área estudiada se localiza hacia el borde nororiental de la Depresión o Cuenca del Ebro, que en este sector queda definida por dos unidades geomorfológicas bien diferenciadas: el Valle del Cidacos en la zona occidental, y el Dominio de los Relieves en Cuestas y Pliegues, que ocupa el resto del estudio. Las mayores cotas topográficas se enmarcan en el cuadrante NE de la hoja: Santa Agata (892 m), Molinos de Viento (878 m).

Las alturas menores se localizan en el borde sur de la hoja, en el cauce del río Cidacos.

Morfométricamente, el territorio se caracteriza por zonas llanas o de baja pendiente en el Valle del Cidacos y relieves alomados o de pendientes medias (4-20%) en el resto, con algunas áreas abruptas (clinometrías superiores al 20%, instaladas en las vertientes de las elevaciones cimera).

El clima es mediterráneo continental templado, con temperaturas medias comprendidas entre 13 y 14°C y precipitaciones absolutas entre 500 y 600 mm anuales.

4.2. ANALISIS MORFOLOGICO

4.2.1. Estudio morfoestructural

La presencia de una potente serie sedimentaria afectada por un plegamiento notable, así como su naturaleza, con abundancia de niveles competentes intercalados, propicia que los agentes de la dinámica externa hayan elaborado un modelado diferencial, en función de la diferente resistencia a la erosión, lo que trae consigo la generación de formas de distintas dimensiones, orientadas en sentido general E-O. HERNANDEZ, A. et. a., 1987, lo que se constata en la mayor parte de la hoja, con la salvedad del sector más meridional, en el desarrollo de cuestas estructurales y hog-backs, que buzan hacia el N y NE y excepcionalmente hacia el NO (alineación de los Altos de Las Mugas y Peña Blanca).

Otras formas estructurales de menor entidad son los cerros cónicos, chevrons y algunos aislados relieves residuales sobre areniscas (paleocanales).

4.2.2. Estudio del modelado

4.2.2.1. Laderas

Las vertientes constituyen una parte importante del conjunto del paisaje y alimentan de agua y sedimento a la red de drenaje.

En la hoja de Tafalla el tipo más frecuente es el de ladera-cantil-talud, con segmentos basales cóncavos, que se han cartografiado como coluviones (cuando la escala del trabajo ha permitido señalarlos), que enlazan con depósitos o rellenos de fondo de valle.

4.2.2.2. Formas fluviales

Las formas fluviales no deposicionales presentes en la hoja de Tafalla son la incisión lineal y los interfluvios.

La incisión lineal es un proceso muy representativo de la hoja, fundamentalmente en la mitad oriental. El fenómeno puede presentar funcionalidad actual, sobre todo cuando afecta a los materiales arcillosos, poco resistentes a la erosión.

Los interfluvios constituyen los relieves de separación de la red de drenaje, constituyendo auténticas aristas en el sector oriental de la hoja.

4.2.2.3. Formas lacustres

Se reducen a dos focos muy puntuales de escasas dimensiones, localizados al Este de Prado Valmayor y en Prado Solcanto, ocupadas por depósitos de carácter endorreico, que se describirán en el apartado de Formaciones Superficiales.

4.2.2.4. Formas poligenicas

Unicamente se han cartografiado formas de acumulación que se describen en el correspondiente apartado de Formaciones superficiales.

4.2.2.5. Formas antropicas

Además de algunas actividades agrícolas y ganaderas, evidentemente no incluidas en la cartografía, las modificaciones antrópicas de los procesos geomorfológicos, se reducen a acumulaciones o vertederos (al Norte de Tafalla) y bancales de cultivos que por su densidad se han representado en las inmediaciones de Maquirriain y sobre todo en San Martín de Unx.

4.2.3. Formaciones superficiales

En el capítulo de Estratigrafía de la memoria del Mapa Geológico, se efectúa una breve descripción de los depósitos cuaternarios cartografiados en la hoja de Tafalla. A continuación se describen detalladamente, en orden a su génesis y edad, expresándose entre paréntesis su situación en las leyendas de los mapas geomorfológico (letra) y geológico (número).

Las formaciones superficiales recubren buena parte de la mitad suroccidental del territorio estudiado, ocupando de forma mucho más dispersa el resto de la región.

4.2.3.1. Cantos, limo-arcillas y arenas. Coluviones (a). Laderas. Holoceno

Son depósitos poco representativos, que enlazan las vertientes con el valle del río Sansoain y Barranco de San Martín.

Su litología consta de limo-arcillas con algo de fracción arena.

La potencia es siempre inferior a 1 m y su edad se considera Holoceno y subactual.

4.2.3.2. Cantos, gravas, limo-arcillas y arenas. Terrazas del río cidacos (b, c, d, e, f). Fluvial. Pleistoceno indiferenciado

Los autores que han abordado el estudio de las terrazas del río Cidacos son MENSUA, S. 1960; BOMER, B: 1978 y HERNANDEZ, A. et al, 1987.

En el territorio ocupado por la hoja de Tafalla aparecen 4 niveles situados a +65-60 m, +53-40 m, +25-20 m y 15 m sobre el cauce actual del río.

La litología de los depósitos consta de calizas con foraminíferos y areniscas, con cantos de cuarcita y cuarzo, superando el centímetro los 20 cm.

El techo de las gravas aparece localmente encostrado, reconociéndose estructuras internas que reflejan un carácter braided para la génesis de los materiales.

La potencia es reducida, entre 2 y 3 m y su edad se enmarca en el Pleistoceno, sin más precisiones.

4.2.3.3. Cantos y gravas, limo-arcillas y arenas. Fondos de valle y vaguada (f). Fluvial. Holoceno

Son rellenos de barrancos en V, por aportes fluviales longitudinales, de ladera y posiblemente eólicos, que tributan al río Cidacos, o se localizan en el tercio oriental de la hoja, según directrices NE-SO.

Los valles más representativos son los del río Sansoain y el Barranco de San Martín.

La estimación de la potencia de los rellenos es difícil, si bien no deben alcanzar más allá de 2-3 m.

Son depósitos holocenos, subactuales y actuales.

4.2.3.4. Cantos y gravas, limo-arcillas y arenas. Llanura de inundación (f). Fluvial. Holoceno

La llanura de inundación del río Cidacos, presenta un amplio desarrollo a lo largo de la hoja, sobre todo al sur de la localidad de Tafalla.

La litología consta de cantos calcáreos y areniscosos y esporádicamente de cuarzo y cuarcita, empastados en una matriz limo-arcillosa o arenosa.

La potencia visible es en todos los casos menor de 3 metros y se consideran depósitos subactuales y actuales.

4.2.3.5. Limo-arcillas y arenas. Depositos endorreicos (g). Lacustre/endorreico. Holoceno

Se han reflejado dos áreas deprimidas de carácter semiendorreico situadas en el cuadrante suroccidental de la hoja (Prado Valmayor y Prado de Solcanto).

Estas zonas, de encharcamiento esporádico o estacional, están ocupadas por limo-arcillas y arenas de edad subactual y actual.

4.2.3.6. Bloques, cantos y gravas. Limo-arcillas y arenas. Glacis (h). Poligenico. Pleistoceno indiferenciado

Sólo se ha observado un reducido depósito de estas características, continuación de los existentes en el sector de Mendivil-Barasoain-Sansonain de la vecina hoja de Barasoain.

Litológicamente consta de cantos de arenisca de hasta 20 cm., con modas entre 5 y 10 cm y abundante matriz limo-arcillosa.

Su génesis se asocia al resultado de la acción erosiva y el transporte por aguas de arroyada, acompañado del acarreo de los materiales procedentes de los Cerros de Santa Cruz (hoja de Barasoain). Se han datado como materiales pleistocenos, sin más precisiones.

4.2.3.7. Limo-arcillas y arenas. Depositos aluvial-coluvial (i). Poligenico. Holoceno

Son recubrimientos limo-arcillosos y arenosos que tapizan algunas áreas deprimidas del sector meridional de la hoja (Prado Valmayor, Valmediano y Alvaros).

La potencia no supera el metro en ningun caso, y se datan como Holoceno-subactuales.

4.3. EVOLUCION DINAMICA

El rasgo geomorfológico más antiguo existente en la región, lo constituye una superficie erosiva, en la actualidad muy degradada y deformada que debió originarse por procesos de glaciplanación entre finales del Mioceno y antes del Cuaternario. La Depresión del Ebro cambió su régimen de endorreico a exorreico posiblemente al final del Plioceno, y el rio Ebro, nivel de base original, discurrió por sobreimposición sobre la superficie citada.

Por otra parte, la continua actividad del Cidacos y sus tributarios, trajo consigo la disección de la región, generando diferentes tipos de modelados estructurales (cuestas y hog-backs).

En relación con los procesos de agradación e incisión ligados a la red fluvial en la hoja, se reconoce el nivel de glacia procedente de los Cerros de Santa Cruz, que indica una génesis en un medio cuaternario semiárido.

Ya en etapas holocenas se reconocen alternancias de etapas acumulativas y de incisión en los depósitos de las laderas y valles de fondo plano, que obedecen a cambios climáticos y/o a la actividad antrópica.

Finalmente, bajo las circunstancias climáticas actuales que reflejan un medio morfoclimático semiárido, los procesos dominantes son los de la erosión hídrica, a los

que acompañan en menor intensidad los de meteorización mecánica y química, movimiento de masas y erosión eólica.

4.4. MORFOLOGIA ACTUAL-SUBACTUAL Y TENDENCIAS FUTURAS

El río Cidacos principal arteria fluvial de la hoja, posee en la actualidad una moderada capacidad de transporte por arrastre de la carga de fondo.

La vega actual está constituida fundamentalmente por la llanura de inundación y localmente por sus terrazas.

En la actualidad, existe, sin embargo, un claro predominio de los procesos de erosión sobre los de acumulación: la incisión lineal conlleva el ahondamiento de los cauces y la pérdida de cobertera de suelo.

Las actividades antrópicas (deforestación, sobrepastoreo, labores grícolas e industriales) podrían acentuar en el futuro la actividad erosiva regional, con imprevisibles consecuencias.

Sin embargo, una adecuada política de conservación del entorno territorial reduciría sensiblemente e incluso minimizaría estos efectos.

5. HISTORIA GEOLOGICA

En este capítulo se dará una visión generalizada de la evolución tectónica y sedimentaria del sector abarcado por la hoja de Artajona, teniendo en cuenta los datos obtenidos mediante el estudio de la misma así como los referentes a áreas próximas.

Aunque en esta hoja no afloran materiales paleozoicos las observaciones realizadas en la región demuestran que se ha depositado, constituyendo el substrato de los sedimentos posteriores. El vestigio más cercano de rocas del paleozoico se encuentra en el diapiro de Estella, en la zona perteneciente a la hoja Allo (172), donde flotan entre el Keuper bloques de granitos, rocas metamórficas, y cuarcitas y pizarras paleozoicas.

Tras la etapa tectogenética hercínica, una etapa distensiva tardihercínica tiene singular importancia en la posterior evolución paleogeográfica de la región, al marcar zonas de fracturas de directrices fundamentalmente E-W que posteriormente han rejugado durante los tiempos alpinos. El final de esta fase trae consigo la emersión del macizo hercínico y el posterior desmantelamiento erosivo del mismo, permitiendo la sedimentación de potentes series clásticas durante el Pérmico superior y Trías inferior, principalmente en las áreas deprimidas del zócalo.

No afloran en esta hoja depósitos correspondientes al Triásico y Jurásico. Los más próximos se encuentran en las hojas situadas al N y NE de la de Artajona. Por tanto, para la breve descripción de esta etapa nos apoyaremos en lo descrito en dichas memorias.

El Muschelkalk en la zona de Estella se presenta en facies de plataforma marina somera bajo influjo de mareas, y abre paso a la facies Keuper, depositada en medios transicionales restringidos del tipo sebka litoral. En el Keuper se emplazan importantes masas de rocas volcánicas básicas de tipo ofítico.

Durante el Jurásico, la sedimentación tuvo lugar dentro de una extensa plataforma carbonatada. La unidad basal, de edad Rethiense-Sinemuriense inferior, corresponde a una secuencia transgresiva en el ámbito de dicha plataforma. A techo de esta unidad se establece ya un régimen marino somero francamente abierto.

El máximo transgresivo del Jurásico se alcanza con los depósitos margosos del Lias Superior, depositados en una plataforma externa relativamente profunda.

A comienzos del Dogger se inicia una secuencia regresiva con disminución de la batimetría y señales de mayor proximidad dentro de plataforma.

A finales del Dogger debió producirse un rejuvenecimiento de los relieves emergidos que tuvo por consecuencia el progresivo aumento de aportes terrígenos durante el Malm.

No existe constancia en estas zonas de sedimentos correspondientes al Jurásico más alto y Cretácico inferior en facies Purbeck y Weald, lo cual es probablemente consecuencia del funcionamiento como umbral de la zona durante esta época, tal vez debido, como adelanta KING (1967) a una precoz actividad diapírica.

En el Albiense ocurre una nueva pulsación tectónica de tipo epirogenético, correspondiente a la fase austrica, originando el rejuvenecimiento de los relieves emergidos y por consiguiente el aumento de aportes terrígenos hacia el interior de la cuenca. La sedimentación en esta área tiene lugar en medios de plataforma externa con una alta contaminación detrítica.

Durante el Cretácico superior se diferencian dos grandes ciclos sedimentarios separados por una discontinuidad de orden mayor que ocupa el Turoniense superior Coniaciense inferior.

El ciclo Cenomaniense-Turoniense presenta importantes hiatos sedimentarios durante el Turoniense inferior, y su sedimentación viene caracterizada por facies muy distales de margas y margas calcáreas a veces nodulosas (Flysch de bolas) con abundante fauna planctónica que corresponde a medios profundos de cuenca.

Por encima de la discontinuidad Turoniense-Coniaciense se desarrolla el segundo ciclo Coniaciense-Maastrichtiense. En su mayor parte está caracterizado por facies de margocalizas nodulosas mostrando hacia el techo facies terrígenas. La abundante microfauna es fundamentalmente planctónica mostrando hacia el techo un considerable aumento de los Foraminíferos bentónicos. La evolución ambiental corresponde durante el Coniaciense-Santoniense superior y gran parte del Campaniense a

depositos de plataforma externa si bien puede apreciarse durante el Santoniense superior un leve impulso regresivo correspondiente a depósitos de plataforma externa próxima).

En el tránsito Santoniense-Campaniense concluye el proceso de apertura del Golfo de Vizcaya, a la vez que se produce la elevación del Macizo del Ebro que estaría situado al S de la zona de estudio con el consiguiente aumento de aportes detríticos en la cuenca. Este periodo regresivo ocupa el Campaniense superior y Maastrichtiense con depositos de plataforma interna, con una gran contaminación terrígena en un ambiente sometido probablemente a la acción de las mareas.

Por encima del Maastrichtiense se situa una nueva discontinuidad que constituye la base del siguiente ciclo.

El ciclo Paleoceno tiene características regresivo-transgresivas y está representado en su base de tipo intermedio entre el Garumniense típico y el Paleoceno marino, para terminar con niveles marinos que nos indican un ambiente restringido (calizas de algas del Montiense-Thanetiense).

Durante este periodo existen nuevas pulsaciones tectónicas que se traducen en hiatos locales, que son las causantes de la falta de afloramientos del tránsito Paleoceno-Eoceno.

El Luteciense descansa sobre una importante discontinuidad. En esta época se desarrollan facies de alta energia de barras bioclásticas.

Posteriormente la secuencia se va haciendo más detrítica en la plataforma. Se establece una cuenca con el depósito uniforme de las Margas de Pamplona.

Al final del Eoceno se inicia una etapa compresiva correspondiente a la fase pirenaica. Esta origina discordancias locales, al mismo tiempo que se produce una pérdida de la profundidad en la cuenca, se inician las estructuras con direcciones pirenaicas, a la vez que se va restringiendo la cuenca marina progresivamente hasta que se establece un régimen lacustre.

A partir de este momento se inician una serie de procesos geológicos que va a dar lugar a la formación de cinco Ciclos de carácter Tectosedimentario que van a tener un gran desarrollo en la zona considerada.

En términos generales se puede afirmar que las unidades detríticas, características del borde de la cuenca se van situando progresivamente más al Sur en cada proceso, respecto a la situación que ocupaban sus equivalentes detríticas del proceso anterior.

Durante el 2º y 3er. Ciclo las facies detríticas de borde se distribuyen a lo largo del borde N de las hojas 1:50.000 de Allo y Tafalla, y la zona E de la de Sangüesa; las facies lacustres ocuparían el resto de las tres hojas mencionadas y se extenderían por toda la superficie de la de Peralta. Por los datos obtenidos de las columnas estratigráficas se observa que las facies lacustres evaporíticas ocuparían el sector occidental de la cuenca, mientras que las carbonatadas estarían situadas en el sector oriental (hoja de Sangüesa).

Durante el 4º Ciclo las unidades detríticas cubren discordantemente las facies lacustres del proceso anterior, previamente plegadas, en la mayor parte de las hojas de Allo, Tafalla y Sangüesa, mientras que en un sentido amplio las facies lacustres de este ciclo se apoyan mediante paraconformidad sobre sus equivalentes del proceso anterior, en las zonas de Peralta y Sur de la hoja de Allo.

Por último los materiales detríticos del 5º Ciclo ocuparían la mayor parte de la zona estudiada, ocupando sus equivalentes lacustres únicamente el sector SO de la hoja de Peralta. Este último proceso tuvo lugar como resultado de la Fase Neocastellana, que es el último de carácter compresivo en la región.

En zonas próximas durante el Mioceno superior Plioceno se produce una fase distensiva que origina una serie de fosas rellenas posteriormente por sedimentos. Más tarde se produce el encajamiento de la red fluvial con depósitos de terrazas y sistemas de Glacis.

6. GEOLOGIA ECONOMICA

6.1. RECURSOS MINERALES

6.1.1. Cobre

Junto con el hierro, constituye la sustancia metálica que presenta la mayor cantidad de indicios y yacimientos de toda la Comunidad, mostrando una gran dispersión geográfica.

Los yacimientos de cobre localizados en esta Hoja, cinco en total (Cuadro 1) forman parte de una franja mineralizada conocida desde el siglo pasado, mostrando morfologías estratiformes, con un claro origen sedimentario.

Estas mineralizaciones se encuentran en el seno de paleocanales de areniscas incluidos en un conjunto lutítico-arenoso próximo a 600 m de potencia, correspondiente a la Fm. Ujué, atribuida al Oligoceno-Mioceno inferior.

Las concentraciones se deben a procesos puramente sedimentarios como denuncia la presencia de los sulfuros y carbonatos en la base de los canales. En este sector, las mineralizaciones se relacionan con un episodio fluvial de procedencia septentrional, acaecido en el Oligoceno superior-Mioceno inferior (Fm. Ujué).

6.1.1.1. Potencial minero

Actualmente no existe en Navarra ninguna explotación de cobre. En general, existe una notable carencia de estudios de detalle de las mineralizaciones, con su consiguiente desconocimiento.

En esta Hoja, las explotaciones de cobre tropezaron con un doble inconveniente que hizo que fuesen abandonadas: la baja ley de las mineralizaciones y el fuerte buzamiento de los paleocanales de arenisca, factor que dificulta técnicamente los trabajos de extracción.

6.1.2. Arcillas

Las arcillas existentes en esta Hoja están integradas por los niveles arcillosos del Terciario continental que es el que presenta una mayor extensión de afloramiento y en el que se encuentran un mayor número de indicios y canteras de toda la Comunidad.

En esta Hoja, sin embargo, solamente existe una explotación, actualmente abandonada, en la carretera de Zaragoza, a unos 4 km al N de Tafalla (Cuadro 2).

Las formaciones arcillosas de esta zona se caracterizan por sus colores rojizos, así como por morfologías tabulares, estando relacionadas con distintos sistemas deposicionales.

6.1.2.1. Potencial minero

Estas arcillas del Terciario continental muestran unas buenas condiciones para su utilización, pues a su facilidad de extracción, propiciada por su morfología tabular o pseudotabular, unen una composición: illita (50-60%), clorita (5-10%), que favorece la elaboración de productos de construcción: ladrillos y tejas.

Desde hace algunos años existe una clara tendencia regresiva en cuanto a la producción de arcillas en toda la Comunidad de Navarra, como se deduce de la disminución del número de explotaciones en activo. Sin embargo, la abundancia de afloramientos arcillosos en toda la Comunidad hace pensar que la regresión se debe a la tendencia global del mercado y a causas estructurales, como puede ser la obsolescencia de las instalaciones.

6.1.3. Arenas y areniscas

Ambas sustancias se han agrupado en el mismo apartado, ya que su separación, que es función del grado de compactación, puede llegar a ser complicada.

Las areniscas existentes en esta Hoja, pertenecientes al Oligoceno superior-Mioceno inferior, se presentan con tonos ocres, con composición y textura muy variables, utilizándose como roca de construcción o bien en la elaboración de áridos de

machaqueo.

En esta Hoja existen dos canteras, actualmente paradas, a unos 4 y 8 km al E de Tafalla (Cuadro 3).

6.1.3.1. Potencial minero

Las areniscas terciarias presentan como principales ventajas para su explotación su fácil extracción y su disposición tabular. Su principal inconveniente viene determinado por la alternancia con niveles arcillosos.

El interés por sustancias de este tipo se encuentra en clara recesión, existiendo solamente una cantera activa en toda la Comunidad. Este abandono de las explotaciones se debe, en buena medida, a la sustitución de las arenas por otro tipo de sustancias, tanto en lo que se refiere a rocas de construcción como a áridos de machaqueo.

6.2. HIDROGEOLOGIA

6.2.1. Introduccion

La Hidrogeología de la zona es bastante conocida gracias a los estudios que ha realizado el Gobierno de la Comunidad Foral de Navarra. Entre estos el Proyecto Hidrogeológico de Navarra, que desarrollado en dos fases entre 1975 y 1983, permitió definir las unidades hidrogeológicas y los acuíferos principales de Navarra, así como sus características.

Posteriormente se han realizado otros estudios con objetivos específicos, que han comprendido todas las unidades existentes en la Hoja y que proporcionan por tanto un buen conocimiento de las condiciones hidrogeológicas, así como de sus posibilidades.

En el mencionado Proyecto Hidrogeológico de Navarra, se definieron 11 unidades hidrogeológicas de las que en la Hoja 1:50.000 de Tafalla se encuentran 3. Son las siguientes.

-Unidad Sur, que ocupa prácticamente toda la mitad Sur de Navarra y por tanto la mayor parte de la extensión de la Hoja.

-Unidad hidrogeológica del Aluvial del Ebro y afluentes, desarrollada a partir de la red fluvial instalada sobre los materiales de la unidad anterior.

-Unidad Hidrogeológica de Alaiz, al N de la Hoja 1:25.000 de Barasoain, entre esta y la de Pamplona y que comprende la Sierra del mismo nombre.

La hoja 1:50.000 de Tafalla está atravesada de Norte a Sur por los ríos Arga en la parte occidental y por el río Cidacos, afluentes del río Aragón. Toda ella está comprendida en la cuenca hidrográfica de este río.

La pluviometría media anual oscila entre menos de 500 mm al sur de Tafalla y los 1000 mm en la Sierra de Alaiz, al norte de la Hoja.

El clima es de tipo continental, con variaciones térmicas importantes. Las temperaturas medias se sitúan entre 12 y 13°C, con medias máximas y mínimas de 21, 22°C (Julio) y 4,5°C (Enero).

6.2.2. Unidad hidrogeológica sur

La mayor parte de la extensión de la hoja 1:50.000 de Tafalla está ocupada por la denominada unidad hidrogeológica Sur, formada por materiales del Terciario Continental de la Depresión del Ebro.

Su litología es compleja debido a las condiciones en que se han depositado sus materiales, con cambios de facies de unos a otros y su estructura bastante tranquila. En líneas generales, y atendiendo a criterios litológicos los materiales se pueden agrupar en los tres grupos siguientes:

-Formados por las facies detríticas de borde e intermedias, conglomerados, areniscas, limos y arcillas.

-Facies evaporíticas formadas por margas yesíferas, yesos e incluso sal.

-Facies carbonatadas, integradas por margas y arcillas calcáreas y calizas.

Desde un punto de vista hidrogeológico, los únicos que presentan algún interés son los de las facies detríticas y los materiales de alteración. Los otros, por su escasa permeabilidad y por la mala calidad química de las aguas, prácticamente se pueden desestimar, ya que raramente se pueden utilizar para satisfacer demandas. En cualquier caso, la mayor parte de los materiales incluidos los detríticos, se comportan como prácticamente impermeables.

En las facies detríticas, los conglomerados y las areniscas constituyen los acuíferos. Los constituidos por conglomerados, por lo general muy cementados, pueden alcanzar espesores de hasta 200 m. Las areniscas, más o menos consolidadas, están en alternancia con arcillas y pueden corresponder a paleocanales, normalmente de espesores comprendidos entre 0.5 y 3 m aunque a veces pueden sobrepasar los 15 m.

Ambas formaciones pueden permitir una circulación de agua en la zona próxima a la superficie, donde pueden estar más descalcificados. En zonas profundas, se presentan cementados y con poca porosidad, por lo que el agua circula a través de las escasas fisuras que lo permiten.

Los acuíferos formados, lo mismo que los constituidos por materiales de alteración, están localizados; su distribución es irregular, su extensión pequeña, su permeabilidad baja y suelen estar desconectados entre si, o conectados a través de acuitardos.

Por lo general, se trata de acuíferos libres y confinados, cuya recarga se realiza por infiltración del agua de lluvia sobre los afloramientos y cuya descarga se origina por manantiales dispersos y por un flujo subterráneo hacia los ríos y arroyos a través de los cuaternarios asociados a los mismos.

Los manantiales existentes tienen caudales irregulares con medias muy bajas, (inferiores a 1-2 l/s, con caudales máximos de más de 5 l/s) y muchos se secan en los estiajes prolongados. En general estas surgencias drenan los niveles de conglomerados y areniscas y los materiales de alteración existentes en la zona. Algunos de estos manantiales se aprovechan para el abastecimiento de los pequeños

núcleos de población, puesto que aunque sus caudales son escasos, a menudo son los únicos disponibles. Otros manantiales se utilizan para abrevaderos de ganado y otros no se usan.

Los pozos son normalmente excavados, su profundidad raramente supera los 10 m y los caudales que proporcionan son también escasos, con agotamientos rápidos y recuperaciones muy lentas. Se localizan normalmente cerca de los núcleos urbanos y en su mayor parte no se utilizan; los que si se usan lo suelen ser para el riego de pequeñas huertas y para complementar los abastecimientos. Los sondeos existentes son también muy escasos, así como sus caudales muy bajos, por lo que normalmente no se utilizan.

En un sondeo realizado en las proximidades de Orisoain (hoja de Barasoain), en la unidad geológica de Artajona-Olite, en las areniscas, limolitas y arcillas con alguna intercalación de conglomerados, del Mioceno inferior medio, de 186 m de profundidad, se han obtenido caudales del orden de 3 l/s, que en la zona son muy importantes para el abastecimiento de pequeñas poblaciones. El agua se ha encontrado en los contactos de las areniscas y conglomerados con arcillas y dentro de aquellas formaciones. En el Anexo nº 1 se incluye información de este sondeo.

En otro sondeo realizado en las inmediaciones de San Martín de Unx (hoja de Tafalla), al NE de la población, en la unidad geológica de Gallipienzo-Leoz, formada por capas extensas y potentes de areniscas, limolitas y arcillas, localmente margas, del Oligoceno superior-Mioceno inferior, de 150 m de profundidad, el escaso caudal de agua obtenido, del orden de 0.25 l/s, con descensos superiores a 100 m y tiempos de recuperación de más de 24 h aconsejaron su no aprovechamiento. En el mismo anexo nº 1, se incluye también información del mismo.

Las aguas subterráneas de las facies detríticas suelen ser de dureza media y mineralización notable. Por su composición iónica son casi siempre bicarbonatadas y en algún caso, bicarbonatadas sulfatadas, cálcicas. Desde el punto de vista de aptitud para el riego pertenecen a las clases C2 S1 o bien a la C3 S1.

6.2.3. Unidad del aluvial del Ebro y afluentes

Está representada por los aluviales de los ríos Arga y Cidacos. En este último río adquieren solamente un desarrollo importante en el área de Tafalla y al sur de la misma.

Sus materiales son gravas, arenas, limos y arcillas, depositados de forma irregular y con frecuentes cambios de facies entre sí, aunque de manera general, predominan los materiales gruesos en el fondo, mientras que en superficie son más frecuentes los finos. Los espesores máximos de aluvial encontrados en perforaciones, o medidos por medios geofísicos, no superan los 20 m en el río Arga y los 17 en el Cidacos.

Según los estudios geofísicos realizados en el Proyecto Hidrogeológico, los perfiles geoelectrónicos realizados en el río Cidacos presentan los valores de resistividad más bajos de todos los medidos en los aluviales de los ríos importantes, lo que indica un mayor predominio de finos.

Los materiales encajantes, que forman la base de los acuíferos de esta unidad, son siempre los materiales terciarios de la unidad Sur, en este caso las facies detríticas y evaporíticas del Oligoceno-Mioceno.

Los materiales aluviales constituyen acuíferos libres, permeables por porosidad, conectados con el río o colgados cuando corresponden a las terrazas altas. En el primer caso, los niveles piezométricos están íntimamente ligados al río y los más altos y mínimos están relacionados con estos, correspondiendo en general a invierno - primavera los primeros y al final del estiaje los segundos. En las terrazas colgadas los niveles pueden estar asociados a riegos y en este caso estar invertidos respecto a los anteriores.

Las transmisividades de los acuíferos de la llanura de inundación, según el Proyecto Hidrogeológico están comprendidas entre 100 y 500 m²/día para el Arga y entre 10 y 300 m²/día para el Cidacos. Las porosidades están comprendidas entre el 10 y el 30 %.

La recarga de estos acuíferos se realiza a partir de la infiltración del agua de lluvia, de la que procede de los excedentes de riego, de la escorrentía superficial y subterránea

de los materiales del terciario del entorno y de las crecidas y desbordamientos de los ríos. La descarga se realiza a través del drenaje de los ríos y del bombeo de los pozos. Las terrazas colgadas drenan también por manantiales, que aunque presentan oscilaciones grandes de caudal, estos normalmente están comprendidos entre 1 y 10 l/s.

Los pozos suelen ser excavados, existiendo también algún sondeo. Según el inventario realizado sus caudales máximos son de 70 l/s para el Arga y de 55 l/s para el Cidacos, con valores medios de 24 y 13 l/s, respectivamente.

En el Proyecto Hidrogeológico los valores que se citan para los recursos de la totalidad del aluvial de ambos ríos, por los dos primeros factores, que son los que se consideran más significativos, son los siguientes:

Estos recursos están también muy relacionados con los de las aguas superficiales de los ríos, puesto que existe una estrecha conexión hidráulica entre los acuíferos aluviales y los mismos. Además de las relaciones piezométricas, ya mencionadas, en los bombeos realizados se reflejan los efectos de la recarga inducida a partir de éstos. El sistema funciona normalmente con ríos efluentes, que drenan los acuíferos y que se convierten en influentes en los momentos de las crecidas. En general las recargas y descargas máximas tienen lugar entre Febrero y Mayo las primeras y entre Agosto y Octubre las segundas.

En cuanto a sus características químicas las aguas subterráneas del aluvial del Arga son de mineralización notable y muy fuerte, normalmente duras aunque también pueden ser extremadamente duras y de dureza media y por sus facies químicas suelen ser bicarbonatadas cloruradas, en algún caso también sulfatadas sodico cálcicas. Las del aluvial del Cidacos son de mineralización notable y duras y sus facies son en general bicarbonatadas sulfatadas cálcicas y sodico cálcicas. Desde el punto de vista de aptitud para el riego las de ambos aluviales son en general de la clase C3 S1.

6.2.4. Unidad hidrogeológica de Alaiz

La unidad hidrogeológica de Alaiz, ocupa la sierra del mismo nombre, al sur de la cuenca de Pamplona. Se extiende entre las Hojas 1:50.000 de Tafalla y la del norte, Pamplona.

Está formada por calizas, dolomías, calcarenitas y margas del Cretácico Superior, Paleoceno y Eoceno, que forman un acuífero único, que se caracteriza por tener los niveles piezométricos muy profundos y por la ausencia de manantiales en los bordes.

Este acuífero, libre en la zona de la Sierra, se prolonga por debajo de las Margas de Pamplona donde se comporta como confinado. Los límites del acuífero profundo están totalmente condicionados por características litológicas, cambios laterales de facies, por el norte y estructurales por el este, oeste y sur.

Este acuífero profundo es muy permeable en zonas de fracturación, por lo que los paquetes carbonatados deben estar compartimentados, con masas muy poco permeables y áreas fracturadas por las que circula el agua.

El funcionamiento del acuífero no es bien conocido. La alimentación se debe producir por lo menos por infiltración del agua de lluvia de la zona y es elevada en relación a la precipitación, mientras que la descarga no se sabe bien como se produce, puesto que no existen bombeos ni manantiales conocidos. Por cotas de los niveles piezométricos cabría pensar solamente en una circulación y descarga en el Ebro y afluentes, en áreas alejadas del Sur de Navarra, sino fuera por que geologicamente esta circulación es muy difícil que se produzca.

La infiltración sobre las calizas de la Sierra, con una superficie de 35 km² y una pluviometría media de 34 hm³/año, fué estimada en el Proyecto Hidrogeológico en unos 10 hm³/año.

En estos momentos el aprovechamiento hídrico de la Unidad de Alaiz es nulo y se utiliza el acuífero confinado como almacén, para la evacuación de residuos de salmuera procedentes de Potasas.

6.3. CARACTERÍSTICAS GEOTECNICAS GENERALES

En la hoja de Tafalla pueden diferenciarse, atendiendo a los aspectos litológicos, geomorfológicos e hidrogeológicos de los materiales que la constituyen, tres áreas de comportamiento geotécnico diferente. Estas a su vez se han subdividido en zonas que engloban distintas unidades cartográficas del mapa geológico.

AREA I:

Comprende los depósitos terciarios con predominio de facies yesíferas. Dentro de este área se ha distinguido la siguiente zona:

ZONA I1: A ella pertenece la unidad cartográfica 312 (Yesos de Tafalla).

Las capas se presentan intensamente replegadas con buzamientos subverticales.

Es una formación no ripable, con deficiente drenaje profundo y riesgos de encharcamiento. Dan desmontes subverticales estables y pueden presentar problemas de agresividad a los hormigones.

No se han realizado ensayos de laboratorio de estos materiales.

AREA II:

Comprende los depósitos terciarios con predominio de facies detríticas y margosas que no constituyen relieves de importancia. Dentro de éste área se han distinguido las siguientes zonas.

ZONA II1:A ella pertenece las unidades cartográficas 358 y 364 (conglomerados de Gallipienzo y de Olleta respectivamente).

Está constituida por bancos de conglomerados y areniscas con intercalaciones de limolitas, con disposición subhorizontal.

Es una formación ripable, con drenaje superficial y profundo deficiente y desmontes inestables.

No se han realizado ensayos de laboratorio de estos materiales.

ZONA II2:A ella pertenecen las unidades cartográficas 359 (Areniscas de Leoz) y 398 (Areniscas de Artajona).

Están constituidas por una alternancia de capas de areniscas, limolitas y arcillas, con buzamientos comprendidos entre 35° y 25° la primera y con suaves buzamientos (<15°) a subhorizontal la segunda.

Son formaciones ripables, con drenaje superficial y profundo deficiente. Los desmontes son inestables, con riegos de desprendimientos de bloques, debido a la erosión diferencial de los distintos materiales.

Los ensayos realizados han dado los siguientes resultados:

a) Ensayos de indentificación

	Tz 200%	LL	IP	CASAG	W	DEN- SEC.	CO ₃	SO ₃	MAT. ORG.
Limos y margas limosas alteradas	82	33	17	CL	16	2	38	2	INAP
Areniscas y margas duras (fr. fina)	90	32	16	CL	6.6	2.39	39.5	INAP	INAP
Areniscas y margas duras (fr. dura)					4.5	2.4	50	INAP	INAP

b) Ensayos de resistencia y deformabilidad

	Qulab	CBR	RQD	Modulo E	C. Poisson	Ang. Rozam.	Cohesión	Qu. Macizo
Limos y margas limosas alteradas	2.69	3		162.5	0.3	25	0.8	2
Areniscas y margas duras (fr. fina)	101							
Areniscas y margas duras (fr. dura)	367		69	13.900	0.3	30	0.1	30.56

c) Ensayos de compactación e hinchamiento

	Densidad proctor	Humedad proctor	Hinchamiento lambe
Limos y margas limosas alteradas	1.85	13.2	0.69

ZONAS II3:A ella pertenecen las unidades cartográficas 309, 324 y 365.

Estan constituidas por limolitas, margas y arcillas con capas de areniscas. Los materiales de las unidades 309 y 324 se encuentran cerrando una estructura anticlinal con buzamientos próximos a 45°; los de la unidad 365 presentan buzamientos comprendidos entre 20° y 40°, a excepción de los puntos próximos a la falla inversa de Tafalla-Larraga, donde presentan buzamientos próximos a los 60°.

Son formaciones ripables, con drenaje superficial muy deficientes con riesgos de encharcamiento. Los desmontes son inestables, por la elevada erosionabilidad de los materiales.

Los ensayos realizados han dado los siguientes resultados:

a) Ensayos de identificación

	Tz 200%	LL	IP	CASAG	W	DEN. SEC.	CO ₃	SO ₃	MAT. ORG.
Margas rojas alteradas	95	43	26	CL	13.5	1.95	43	INAP	INAP
Margas rojas sanas					6.9	2.25	27.5	INAP	INAP
Margas y arenas arcillosas	79	30	12	CL-ML			42	INAP	INAP
Margas calcáreas					5.5	2.42	46	INAP	INAP

b) Ensayos de Resistencia y deformabilidad

	Qulab	CBR	RQD	Modulo E	C. Poisson	Ang. Rozam.	Cohesión	Qu. Macizo
Margas rojas alteradas	2.4	1.7		200	0.3	0°	26	22
Margas rojas sanas	115		55	4.000	0.3	11.5	22	15
Margas y arenas arcillosas		5.5		100		26		
Margas calcáreas		3.7	35	5.000	0.3	30	6	

c) Ensayos de compactación e hinchamiento

	Densidad proctor	Humedad proctor
Margas rojas alteradas	1.7	16.5
Margas y arenas arcillosas	1.80	12.5

ZONA II4:A ella pertenecen las unidades cartográficas 325, 330 y 383.

Están constituidas por limolitas y arcillas con niveles de areniscas margas yesíferas y yesos. La primera presenta buzamientos comprendidos entre 25 y 30°. La segunda tiene disposición subhorizontal.

Es una formación ripable, con drenaje superficial deficiente, pudiendo presentar riesgos de encharcamiento. Los desmontes son inestables por la elevada erosionabilidad de los materiales.

En estos materiales no se han realizado ensayos, pero en otros del mismo grupo se han obtenido los siguientes resultados.

a) Ensayos de identificación

	Tz 200%	LL	IP	CASAG	W	DEN. SEC.	CO ₃	SO ₃	MAT. ORG.
Margas y areniscas alteradas	86	33	17	CL	13.7	-	36	INAP	INAP
Altern. margas y areniscas (margas)					6.3	2.39	43	1.5	INAP
Altern. margas y areniscas (areniscas)					4.5	2.35	42	INAP	INAP
Margas calcáreas					5.5	2.42	46	INAP	INAP

b) Ensayos de Resistencia y deformabilidad

	Qulab	CBR	RQD	Modulo E	C. Poisson	Ang. Rozam.	Cohesión	Qu. Macizo
Margas y areniscas alteradas	2.75	45	78	11855	0.25	28.75	-	2.1
Altern. de margas y areniscas (negras)								
Altern. margas y areniscas (areniscas)	156		76	29170	0.2	30	20	37.7

c) Ensayos de compactación e hinchamiento

	Densidad proctor	HUmedad Proctor	Humedad Lambe
Margas y areniscas alteradas	1.84	14.4	0.55
Altern. margas y areniscas (margas)			
Altern. margas y areniscas (areniscas)			

AREA III:

Comprende los depósitos cuaternarios con predominio de materiales detríticos gruesos (cantos y bloques con matriz limosa y arcillosa). Dentro de este área se han distinguido las siguientes zonas:

ZONA III1:A ella pertenecen las unidades cartográficas 505, 506, 507 y 536 (Terrazas del río Cidacos) y 516 (Glacis). Están constituidas por cantos y gravas con matriz limo-arcillosa y arenas.

Son formaciones ripables, aptas para la obtención de gravas y préstamos. Los taludes se mantienen prácticamente verticales. En general son materiales permeables, donde el drenaje se efectúa por filtración.

No se han realizado ensayos de laboratorio de estos materiales.

ZONA III2: A ella pertenecen las unidades cartográficas 543 (coluviones), 527 (Fondos de valle) y 537 (Depósitos aluvial-coluvial).

Están constituidas por materiales limo-arcillosos y arenas con cantos. Son depósitos por lo general poco potentes.

La ripabilidad de estos depósitos es alta y su permeabilidad de media a alta, no presentando problemas de drenaje. Los taludes naturales son, por lo general, bajos.

No se han realizado ensayos de laboratorio de estos materiales.

7. BIBLIOGRAFIA

ALMELA, A. y RIOS, J.M. (1946).- "Datos para el conocimiento estratigráfico y tectónico del Pirineo Navarro. VI Algunos datos paleontológicos de la región subpirenaica Navarra". Not. y Com. IGME, número 16, pp. 75-87.

ALMELA, A. (1962).- Tectónica yesífera de la Cuenca del Ebro. Tomo V. Comunicaciones, Tema 6, pp. 5-11. Servicio Geológico de Obras Públicas. I Coloquio Internacional sobre las Obras Públicas en los terrenos yesíferos.

BOILLOT, G. (1980).- "De la subduction a la collision: L'exemple des Pyrenées". Bull. B.R.G.M. Sec. 1 núm. 2. pp. 93-101.

BOMBER, B. y RIBA, O. (1965). Deformaciones tectónicas recientes por movimientos de yesos en Villafranca de Navarra". Com. C. 6-3 del Tomo V. 1er. Coloquio Internacional sobre las obras públicas de terrenos yesíferos".

BOMER, B. 1978. Le bassin de l'ebre et ses bordures montagneuses. Etude Géomorphologique. Tesis Doctoral, 3 vol, 602 p. (Inedito).

BRYAN, R. y YAIR, A. 1982.- Perspectives on studies of badland geomorphology (en: Bryan, R. y Yair, A. 1982. Geo Books (Geo Abstracts Ltd.), Norwich.

CARBAYO, A.; CASTIELLA, J.J. y SOLE, J. (1974).- "Memoria explicativa de la hoja núme. 172 (Allo)". Informe inédito. Excma. Diputación de Navarra.

CASTIELLA, J.; SOLE SEDO, J. NIÑEROLA, S. y OTAMENDI, A. (1982).- "Las Aguas subterráneas en Navarra. Proyecto hidrogeológico". Diputación Foral de Navarra. Dirección de Obras Públicas. Servicio Geológico. Pamplona.

CASTIELLA, J., SOLE, J., Y DEL VALLE, J. (1978).- Mapa Geológico de Navarra, E. 1:200.000.

CHOKROUNE, P.; LE PICHON, A.; SEGURET, M. y SIBUET, J.C. (1973). "Bay of Biscay anot Pyrenees". Earth Plant. Sc. Letters. vol. 18, pp. 109-118.

CHOKROUNE, P. y SEGURET, M. (1973).- "Tectonics of the Pyrenees; role of compression and gravity". In Gravity and Tectonics. Ed. John Wiley, pp. 141-156.

CINCUNEGUI, M; MENDIZABAL, J. y VALLE, A. (1943).- "Mapa geológico de España 1.50.000. Explication de la hoja núm. 172 (Allo)". IGME. Madrid.

CIRY, R. (1951).- "L'evolution paleogeographie de l'Espagne septentrionale au Cretacé inferieur". Inst. Geol. Min. Esp. Libro Jubilar, T. 2, pp. 17-51.

CIRY, R. (1951).- "Observation sur le Cretacé de la Navarre espagnole du NordOuest de Pamplonne". C.R.A. Sc. Paris. T. 233, pp. 72-74.

COLOM, G. (1945).- "Estudio preliminar de las microfaunas de Foraminiferos de las margas Eocenas y Oligocenas de Navarra". Est. Geol. núm. 2, pp. 33-84.

CRUSAFONT, M; TRUYOLS, J. y RIBA, O. (1966).- "Contribución al conocimiento de la Estratigrafía del Terciario continental de Navarra y Rioja". Notas y Comunicaciones del IGME, 90, pp. 53-76.

FEUILLE, P. (1962).- "Le Cretacée moyen en Navarre espagnole". Mem. Cong. Inst. Est. Pirenaicos. P. 12, Pau.

FEUILLE, P. (1963).- "La base de Flysch Sud-Pyrénéen (Navarre Espag.)". C.R. Acad. Sc. T. 256, pp. 2640-2642.

FEUILLEE, P. (1965).- "Contribution a la connaissance des Cretacé moyen du Nord et l'Oyest de la Navarre espagnole". Actes 4º Congrès Int. Et. Pyren. pp. 48-59.

FEUILLEE, P. y RAT, P. (1971).- "Structures et Paleogeographies pyreneocantabriques". In Histoire structurale du Golfe de Gascogne. Inst. Fran. Petrol. Vol. 2, pp. 1-48.

GARCIA SINERIZ, J. (1941).- "Investigación sísmica en Puente la Reina-Obanos-Tirapu". Mem. IGME. T, 44, pp. 127-152.

GOBIERNO DE NAVARRA. (1987).- Abastecimiento a la ciudad de Tafalla. Investigación hidrogeológica de la Sierra de Alaiz. CGS.

GOBIERNO DE NAVARRA.- Las formaciones evaporíticas del Terciario continental de la Cuenca del Ebro en Navarra y La Rioja. Litoestratigrafía, petrología y sedimentología. Vol. I y II.

HERNANDEZ PACHECO, F. (1950).- "Esquema Geológico del País Vasco en los límites de Guipuzcoa con Navarra". (Seguido de un ensayo de síntesis de la obra de P. Lamare. "Recherches géologiques dans les Pyrénées basques d'Espagne"). Munibe, vol. 3, pp. 121-131.

HERNANDEZ, A., RAMIREZ MERINO, J.I. RAMIREZ DEL POZO, J. OLIVE, A. 1987.- Mapa Geológico de España. Ec. 1:50.000. Hoja 173. Tafalla. IGME.

HERNANDEZ, A. RAMIREZ DEL POZO, J. y OLIVE, A., 1987.- Mapa Geológico de España. IGME E. 1:50.000. Hoja 206. Peralta.

IÑIGUEZ, J.; VAL, R.; SANCHEZ., ROMERO, A. y MUNILLA, C. 1984.- Mapa de suelos de Navarra. Escala 1:50.000. Hoja 206. Peralta. Príncipe de Viana. Supl. Ciencias. 3/4, pp 3-42 Pamplona.

ITGE. Dirección de Aguas subterráneas y Geotecnia (1986).- Calidad y contaminación de las aguas subterráneas en las comunidades autónomas (Reestructuración y síntesis cartográfica de los datos de análisis químicos) Navarra. Ministerio de Industria y Energía. Secretaria de la Energía y Recursos Minerales.

JUARISTI, J.M. 1979.- Terrazas y glaciares en el bajo Valle del Arga. Actas III Reunión Nacional GETC. Zaragoza. Sep. 1977, pp. 161-169.

JULIVERT, M.; FONTBOTE, J.M.; RIBEIRO, A. y CONDE, L. (1972),. "Explicación del Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares". IGME, pp. 1-113.

KRAUSSE, H.F. (1971).- The tectonical evolution of the western Pyrenées". PIRINEOS NÚM. 111, PP. 69-96.

LAMARE, P. (1936),. "Recherches geologiques dans les Pyreneées basques d'Espagne". mem. Soc. Geol. France, n. 5, mem. 27, Paris.

LEON, L. (1972).- "Síntesis paleogeográfica y estratigráfica del Paleoceno del Norte de Navarra. Paso al Eoceno". Bol. Geol. y Miner. T. 63, popp. 234-241.

LERANOZ, B. 1990.- El endorreismo en el S de Navarra. Actas de la I Reunión Nacional de Geomorfología, pp. 289-298. Teruel

LOTZE, F. (1946).- "Elementos estructurales dirigidos al NE, que intervienen en la constitución de los Pirineos occidentales". Publ. extr. sobre Geol. de España". T. III, pp. 301-313.

LLOPIS LLADO, N. (1945).- "Sobre la estructura de Navarra y los enlaces occidentales del Pirineo". Miscelanea Almela. T. 1, número. 7, pp. 159-186.

MANGIN, J., Ph (1958).- "Observaciones sobre la orogenesis pirenaica durante el periodo nummulítico". Notas y comunicaciones del IGME. núme. 52, pp. 125-132. Madrid.

MATTAUER, M. et SEURET, M. (1971).- "Les relations entre la Chaîne des Pyrenées et le Golfe de Gascogne". In Histoire Structurale du Golfe de Gascogne. Vol. 4, pp. 1-24. Paris.

MEJIAS, A.F. (1973).- Estudio geológico y relación entre tectónica y sedimentación del Secundario y Terciario de la vertiente meridional pirenaica en su zona central (Prov. de Huesca y Lérida). Tesis Doctoral Univ. de Granada.

MEJIAS, A.F. (1982).- Introducción al análisis tectosedimentario: aplicación al estudio dinámico de cuencas. V Congreso Latinoamericano de Geología Argentina 1982. Actas, vol. I, pp. 185-402.

MENDIZABAL, J. y CINCUNEGUI, m. (1932).- "Nota acerca de la extensión del Oligoceno en Navarra". Notas y comunicaciones del IGME. MADRID.

MENSUA, S. (1960).- "La Navarra Media Oriental. Estudio Geográfico". Inst. "Príncipe de Viana". Dpto. Geol. Aplic. Zaragoza. Ser. Reg. 8, 1986 pag. 40 fig. 25 lám.

MONTARDERT, L. et WINNOCK, E. (1971).- "L'Histoire structurale de Golfe de Gascogne". In Histoire structurale du Golfe de Gascogne". Vol. 16, pp. 1-18.

ORTI, F. et al (1989).- Sedimentología y Diagénesis como criterios de prospección de recursos en el Terciario evaporítico de la Cuenca del Ebro. Dpto. Geoquímica, Petrología y Prospección. Univ. Barcelona. XII Congreso Español de Sedimentología.

PLAZIAT, J.Cl. (1970).- "Le limite crétacé-tertiaire en Alava meridionale (Pays Basque espagnol): Le Regnacien n'y pas l'équivalent continental du Danien". C.R. Somm. Soc. Geol. France. 3 pp. 77-78.

PUIGDEFABREGAS, C. (1972).- "Memoria geológica de la hoja núm. 173 (Tafalla). Informe inédito. Excma. Diputación de Navarra.

PUIGDEFABREGAS, C. (1973).- "Miocene point-bar deposits in the Ebro basin northern Spain". Sedimentology journal of the internacional associations of sedimentologist. Vol. 20, núm. 133-134.

PUIGDEFABREGAS, C. (1975).- "La sedimentación molásica en la cuenca de Jaca". Monogr. del Inst. de Estud. Pirenaís, núm. 104, 188 pp. Jaca.

RIBA, O. (1955).- "Sur le type de sedimentation du Tertiaire continental de la parte Ouest du Basin de l'Ebro". Geol. Bundeschan. T. 43, núm. 2, pp. 363-371, 1 figs. Stuttgart.

RIBA, O. (1964).- "Estructura sedimentaria del Terciario Continental de la Depresión del Ebro en su parte Riojana y Navarra". XX Congreso Geográfico Internacional. R. Unido, Julio-Agosto, pp. 127-138.

RIBA, O. y BOMER, B. (1957).- Terrasses et glacis du bassin de l'Ebro dans la Ribera de Navarra et la Baja Rioja". Livr. Guide Exc. núme 3. Villafranchien de Villarroya. INQUA, Congr. Int. Madrid-Barcelona, pp. 7-10.

RIBA, O. y PEREZ MATEOS, J. (1962).- "Sobre una inversión de aportes sedimentarios en el borde Norte de la cuenca Terciaria del Ebro (Navarra)". II Reunión del Grupo Español de Sedimentología. Sevilla 161,

RIOS, J.M. (1960).- "Algunas notas especiales de las zonas subpirenaicas y de la cuenca del Ebro". Notas y Comunicaciones del IGME. Madrid.

ROJAS, B.J. de, LA TORRE, F. y FERNANDEZ VARGAS, E.A. (1971).- "Contribución al conocimiento de la última fase de los movimientos Meso-Alpinos en las provincias de Navarra, Zaragoza y Huesca". I Congr. Hispano-Luso americano. Geol. Econ. T. 9, núm. 33, pp. 377-385. Madrid.

RUIZ DE GAONA, M. (1952).- "Notas y datos para la Geología de Navarra". C.S.I.C.

RUIZ DE GAONA, m. (1952).- "Algunos datos geológico-paleontológicos sobre el valle de la Barranca (Navarra)". Actes 1er. Congr. Int. Est. Pyren. pp. 5-14.

RUIZ DE GAONA, M., VILLALTA, J.F. y CRUSAFONT (1946).- El yacimiento de mamíferos de las yeseras de Monteagudo (Navarra). Notas y com. del IGME NÚM. 16, PP. 157-182.

SAAVEDRA, J.L. (1964).- "Microfacies del Secundario y del Terciario de la zona pirenaica española". Mem. IGME. T. 65.

SALVANY, J.M. (1989).- Ciclos y megaciclos evaporíticos en las formaciones Falces y Lerín. Oligoceno-Mioceno inferior de la Cuenca del Ebro. (Navarra-la Rioja). Dpto. Geoquímica, Petrología i Prospecció Geologica Universitat de Barcelona. XII Congreso Español de Sedimentología.

SALVANY, J.M. (1960).- Los sistemas lacustres evaporíticos del sector Navarro-Riojano de la Cuenca del Ebro durante el Oligoceno y Mioceno inferior. Dpto. Geoquímica, Petrología y Prospección Geológica. Universidad de Barcelona. Acta Geologica Hispanica.

SOLE SABARIS, L. (1954).- "Sobre la estratigrafía de las Bardenas y Límites del Oligoceno y Mioceno en el sector Occidental de la Depresión del Ebro". R. Soc. Est. Hist. Nat. Libro Hom. Hernandez Pacheco, pp. M. 639-656.

SOLE SEDO, J. (1972).- "Formación de Mues: Litofacies y procesos sedimentarios". Tesina de Licenciatura Univ. Central de Barcelona (inédito).

SOLER, M. y PUIGDEFABREGAS, C. (1970).- "Líneas generales de la Geología del Alto Aragon occidental". Rev. Pirineos, núme. 96, p. 5-20.

VALLE, A. del (1932).- "Descubrimiento de la cuenca potásica de Navarra". Notas y Com. del IGME. Madrid.

VALLE, A. del ARACENA, C. (1930).- "Mapa Geológico de España 1.50.000. Explicación de la hoja núme. 173 (Tafalla)". IGME. Madrid.

VALLE, A. del CINCUNEGUI, M.; MENDIZABAL, J. y J.M. ALMELA, A. (1950).- "Mapa Geológico de España 1.50.000. Explicación de la hoja núm. 174 (Sangüesa)". IGME. Madrid.

VALLE, J. del PUIGDEFABREGAS, C. (1978).- "Memoria explicativa de la hoja núm. 141 (Pamplona). MAGNA". IGME. Madrid., pp. 1-23.

VILLALOBOS, L. y RAMIREZ DEL POZO, J. (1971).- "Contribución al estudio del Cretácico superior de facies Flysch de Navarra". Pirineos 111, pp. 5-20.

VOLTZ, H. (1964).- "Zur Geologie der Pyrenaiden in Nord-westlichen Navarra (Spanien)". Munster Diss. (Inédito).