



Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España

406  
22-16

## MAPA GEOLOGICO DE ESPAÑA Escala 1:1:50.000

Segunda serie - Primera edición



Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España

# ALMAZÁN

El Instituto Tecnológico GeoMinero de España, ITGE, que incluye, entre otras, las atribuciones esenciales de un «Geological Survey of Spain», es un Organismo autónomo de la Administración del Estado, adscrito al Ministerio de Industria Comercio y Turismo, a través de la Secretaría General de la Energía y Recursos Minerales (R.D. 1270/1988, de 28 de octubre). Al mismo tiempo, la Ley de Fomento y Coordinación General de la Investigación Científica y Técnica le reconoce como Organismo Público de Investigación. El ITGE fue creado en 1849.

Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España

# MAPA GEOLOGICO DE ESPAÑA

Escala 1:50.000

# ALMAZÁN

Primera edición

MADRID, 1991

Fotocomposición: Cartografía Madrid, S.A.

Depósito Legal: M-38021-1991

NIPO: 232-91-001-4

La presente Hoja ha sido realizada por INTECSA (Internacional de Ingeniería y Estudios Técnicos) como parte de la Unión Temporal de Empresas INTECSA-ENADIMSA y dentro del programa MAGNA, en el año 1989, con normas, dirección y supervisión del ITGE (Instituto Tecnológico GeoMinero de España).

**Han intervenido los siguientes técnicos superiores:**

### **Dirección y supervisión**

Gabaldón López, V. (ITGE).

Martín-Serrano, A. (ITGE).

### **Jefe de Proyecto**

Ferreiro Padín, E. (INTECSA).

### **Autor**

Ruiz Fernández de la Lopa, V. (INTECSA).

Cartografía y Memoria.

### **Colaboradores**

Lendínez González, A. (INTECSA). Sedimentología del Terciario.

Simón Gómez, J. L. (Universidad de Zaragoza). Tectónica del ciclo alpino.

Cabra Gil, P. Geomorfología.

Del Pozo Granados, J. (INTECSA). Hidrogeología.

Tena-Dávila Ruiz, M. (INTECSA). Minería.

Valverde Hernández, M. F. (INTECSA). Revisión, coordinación geomorfológica y memoria.

Valladares González, I. (Universidad de Salamanca). Sedimentología carbonatos del Cretácico.

Costa Mercadal, J. M. (Universidad de Barcelona). Sedimentología de la F. Utrillas.

Granados Granados, L. (ENADIMSA). Micropaleontología.

ENADIMSA. Laboratorio.

Se pone en conocimiento del lector que en el ITGE existe para su consulta una documentación complementaria de esta Hoja y Memoria constituida por:

- Mapa geomorfológica E = 1:50.000.
- Muestras y sus correspondientes preparaciones.
- Informes sedimentológicos y micropaleontológicos de dichas muestras.
- Fichas bibliográficas, fotografías y demás información.

## INDICE

INTRODUCCIÓN .....	7
1. ESTRATIGRAFÍA .....	8
1.1. Jurásico .....	10
1.1.1. Formación Calizas bioclásticas de Barahona (1). Pliensbachiense .....	10
1.1.2. Formación Alternancia de margas y calizas de Turmiel (2). Pliensbachiense-Toarciense .....	11
1.2. Cretácico .....	11
1.2.1. Formación Arenas de Utrillas (3). Albiense-Cenomaniense .....	12
1.2.2. Margas grises (4). Cenomaniense-Turonense .....	13
1.2.3. Formación Calizas nodulares de Hortezuolos (5). Turonense-Coniacense .....	16
1.2.4. Dolomías en bancos (6). Coniacense-Santonense .....	17
1.2.5. Dolomías tableadas (7). Santonense .....	17
1.3. Terciario .....	18
1.3.1. Brecha calcárea cementada (8). Paleógeno .....	19
1.3.2. Areniscas silíceas, arenas y arcillas (9). Mioceno .....	19
1.3.3. Calizas (10). Mioceno superior-Plioceno .....	20
1.3.4. Conglomerados calcáreos y arcillas rojas (11). Mioceno medio-Plioceno inferior .....	20
1.3.5. Conglomerado mixtos (12). Plioceno .....	21
1.3.6. Arcillas rojas con niveles de conglomerados (13). Plioceno .....	22
1.3.7. Calizas (14). Plioceno .....	22

1.4.	Cuaternario .....	22
1.4.1.	Glacis (15). Pleistoceno-Holoceno .....	23
1.4.2.	Terrazas (16). Pleistoceno-Holoceno .....	23
1.4.3.	Coluviones (17). Holoceno .....	24
1.4.4.	Conos de deyección (18). Holoceno .....	24
1.4.5.	Cauces abandonados (19). Holoceno .....	25
1.4.6.	Llanura de inundación (20). Holoceno .....	25
1.4.7.	Fondos del valle (21). Holoceno .....	25
1.4.8.	Arenas eólicas y dunas (22). Holoceno .....	25
1.4.9.	Areas endorreicas (23). Holoceno .....	26
2.	TECTÓNICA .....	26
2.1.	Descripción Macroestructural .....	26
2.1.1.	Sector de la cuenca de Almazán .....	26
2.1.2.	Sector del borde de la Cordillera Ibérica .....	27
2.2.	Análisis microestructural .....	27
2.3.	Interpretación tectónica .....	28
3.	GEOMORFOLOGÍA .....	31
3.1.	Descripción fisiográfica .....	31
3.2.	Análisis geomorfológico .....	33
3.3.	Evolución dinámica .....	36
3.4.	Morfología actual, subactual y tendencias futuras .....	37
4.	HISTORIA GEOLÓGICA .....	37
5.	GEOLOGÍA ECONÓMICA .....	39
5.1.	Minería y Canteras .....	39
5.2.	Hidrogeología .....	41
6.	BIBLIOGRAFÍA .....	47

## **INTRODUCCION**

La presente Memoria, correspondiente a la Hoja Geológica a escala 1:50.000 de Almazán (406), es una explicación del mapa geológico al que acompaña y en ella se analizan la Estratigrafía, Tectónica, Geomorfología, Historia Geológica y Geología Económica, con el suficiente detalle para dar una idea global de la geología de la zona.

La Hoja se encuentra situada en la zona centro-sur de la cuenca terciaria de Almazán, limitando al Sur con los relieves mesozoicos y al Norte con el río Duero que la atraviesa de Este a Oeste. Pertenece administrativamente a la provincia de Soria y el principal núcleo de población es Almazán, que se sitúa en el vértice NE de la Hoja.

Morfológicamente se pueden distinguir tres zonas: una al Norte, de relieve suave por la que fluye el río Duero, otra que ocupa el centro, Sur y Este de la Hoja, en la que la morfología dominante son las extensas superficies del páramo y relieves asociados, y una tercera zona, situada en el ángulo SO, donde los materiales mesozoicos y terciarios adquieren unos relieves más acusados sin sobrepasar cotas de 1.130 m.

Como ya se ha señalado la población principal es Almazán, que constituye el principal núcleo comarcal. El resto de las poblaciones no sobrepasan los 1.000 habitantes, siendo las más importantes Velamazán, Caltojar, Villasayas y Riba de Escalote. La principal actividad en la zona es la agrícola-ganadera, existiendo zonas de regadío a partir del Canal de Almazán en la vega del río Duero, y agricultura de secano y ganadería ovina en el resto.

Geológicamente, en la Hoja de Almazán, afloran materiales del Jurásico que tienen un desarrollo mayor en la Hoja situada al Sur (Barahona 434). El Cretácico, que aflora de manera más representativa en la zona SO, en los alrededores de Riba de Escalote, subyace al recubrimiento terciario en toda la Hoja y asoma en suaves anticlinales en Villasayas, al Sur de Barca, al Norte de Velamazán, junto al río Duero al Oeste de Rebollo, al Norte de Fuentetovar y con mayor extensión en el borde Oeste, formando la estructura anticlinal de Berlanga de Duero, que ocupa parte de la Hoja limítrofe de igual nombre.

Los materiales terciarios de la Hoja pertenecen fundamentalmente al Neógeno y la mayor extensión la ocupan los páramos con sus típicas superficies tabulares.

Los cuaternarios, fundamentalmente terrazas, ocupan la zona Norte, por donde atraviesa el río Duero, que constituye el eje hidrológico al que tributan los ríos Torote y Escalote, desde el Sur, después de unirse en Caltojar.

El único apoyo cartográfico que se ha tenido en cuenta es el mapa de síntesis a escala 1:200.000 de Soria (IGME 1971), y además de la cartografía propiamente dicha se han realizado estudios complementarios de sedimentología, micropaleontología, geomorfología, tectónica e hidrogeología.

La cartografía geomorfológica se ha realizado a escala 1:50.000, según nuevas normas adoptadas por el ITGE por lo que existe un plano geomorfológico independiente cuya explicación se incluye en la presente Memoria.

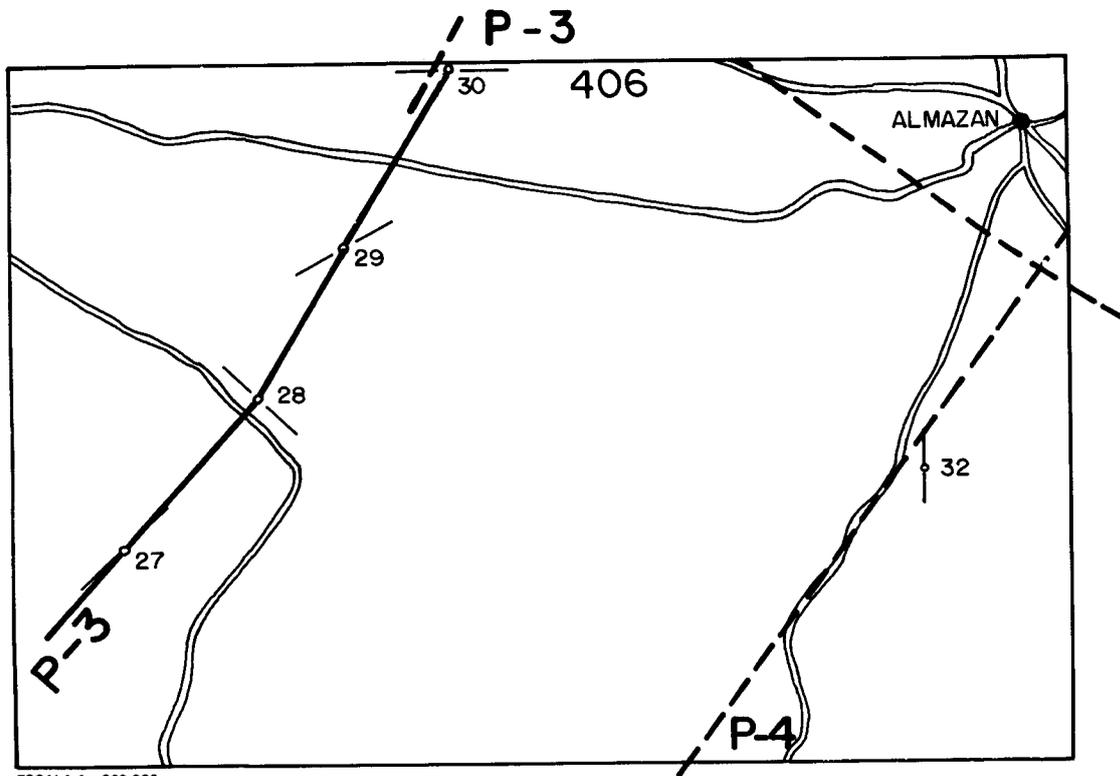
El capítulo de geología económica también presenta modificaciones, ya que se ha tratado de integrar en los capítulos de minería e hidrogeología toda la información disponible en el ITGE. Para ello se han caracterizado los principales indicios minerales y se acompaña de un esquema hidrogeológico del funcionamiento de la cuenca.

Como documentación complementaria se ha realizado un informe geofísico sobre toda la cuenca de Almazán, en el que se sintetiza la información existente y se complementa con la forma de nuevos datos. En la figura 1 se indica la situación de los perfiles sísmicos y de los sondeos eléctricos verticales que se han reinterpretado y realizado, respectivamente.

## 1. ESTRATIGRAFÍA

Los materiales más antiguos aflorantes en la Hoja de Almazán tienen edad jurásica y afloran en la esquina SO; en esta misma zona afloran también los materiales pertenecientes al Cretácico, que se encuentran plegados y fracturados, desde la Facies Utrillas hasta el Cretácico superior. Algunos retazos del mismo se distribuyen aleatoriamente por la Hoja, siendo el afloramiento más importante el situado al Oeste en el límite con Berlanga de Duero.

El resto de la Hoja está ocupada por materiales pertenecientes al Terciario, concretamente al Neógeno. Se han cartografiado agrupándolos en unidades con criterios litológicos y sedimentológicos debido a la ausencia de indicios paleontológicos y tratando de identificar las distintas unidades tectosedimentarias ya utilizadas en las Hojas vecinas.



ESCALA 1 : 200 000

**LEYENDA**

- Perfil sísmico
- Perfil eléctrico
- Sondeo eléctrico vertical

Fig.- 1 Esquema de situación de los perfiles sísmicos y sondeos eléctricos verticales.

Los estudios del Cuaternario se han expresado de una manera sintética en el plano geológico, ya que al realizarse un análisis geomorfológico detallado quedaban en él perfectamente reflejados los procesos y sedimentos correspondientes a este período.

## 1.1. JURÁSICO

Los materiales pertenecientes al Jurásico afloran en el ángulo SO de la Hoja, donde pueden identificarse dos formaciones: Formación Calizas bioclásticas de Barahona y Formación Alternancia de margas y calizas de Turmiel.

### 1.1.1. Formación Calizas bioclásticas de Barahona (1). Pliensbachiense

Aflora únicamente en el vértice SO de la Hoja y está limitada al Norte por una fractura que la pone en contacto con la Formación Alternancia de margas y calizas de Turmiel.

Se trata de calizas bioclásticas, amarillentas, nodulosas y mal estratificadas con algunos niveles intercalados de margas de colores gris y ocre ricas en microfósiles. Las calizas son *wackestone* a *packstone* bioclásticas y se estratifican en capas de unos 20-40 cm de espesor. Las juntas de estratificación son onduladas, por lo que la unidad ofrece con frecuencia un aspecto noduloso.

La inexistencia de estructuras sedimentarias puede ser debida a la intensa bioturbación que afecta al conjunto.

Entre las microfácies dominan las biomicritas e intrabiomicritas con *Nodosaria sp.*, *Lingulina tenera*, *Glomospira sp.*, *Ammodiscus* y restos de ostrácodos y bivalvos.

Los fósiles son abundantes y variados. Sin embargo, la mala calidad de los afloramientos no ha permitido el muestreo faunístico por niveles. En la vecina Hoja de Barahona (434), en la que está definido el estratotipo de la formación, se han recogido: *Lobothyris subpunctata* (DAV.), «*Terebrátula*» *thomarensis* CHOFF., *Pholadomya thomarensis* CHOFF., *Pseudopecten acuticostatus* (LAM.), *Plicatula (Plicatula)*, *Gryphaea (Gryphaea)* y *Belemnites*. En la parte media: *Quadratrirhynchia* sp., «*Rhynchonella*» *dumbletonensis* DAV. en Dubar 1.931 y *Pholadomya thomarensis* CHOFF. En la parte superior: *Zeilleria* (Z.) *indentata* (SOO.), *Zeilleria* (Z.) cf. *quadrifida* (LAM.) (forma bicórnea), *Aulacothyris ibérica* DUB., *Lobothyris aff. punctata* (SOO.), *Lobothyris subpunctata* (DAV.), «*Rhynchonella*» *dumbletonensis* DAV. en Dubar 1.931 y *Pseudopecten aequivalvis* (SOO.). En los últimos centímetros: *Zeilleria* (Z.) *quadrifida* (LAM.) (forma bicórnea), *Aulacothyris ibérica* DUB., *Spiriferina cf. alpina* OPP., *Lobothyris punctata var. arcta* DUB., *Lobothyris subpunctata* (DAV.), *Quadratrirhynchia*, «*Thynchonella*» *dumbletonensis* DAV. en Dubar 1.931, *Pseudopecten* y «*Belemnites*». En base a la fauna antes reseñada se atribuye a esta formación edad Pliensbachiense, más concretamente Domeriense (Zonas Margaritatus y Spinatum).

La potencia de la formación es de unos 20-25 m y da resalte morfológico relativo al estar situada entre niveles margosos.

El ambiente sedimentario corresponde a una plataforma de carbonatos somera, con un nivel de salinidad normal y bien comunicada con los ambientes más energéticos de plataforma externa. Los fondos de la plataforma se colonizaron con organismos perforantes e incrustantes además de ostreidos y pectínidos.

### 1.1.2. **Formación Alternancia de margas y calizas de Turmiel (2). Pliensbachiense-Toarciense**

Los pequeños afloramientos pertenecientes a esta unidad no permiten precisar acerca de cuál de los niveles definidos por GOY *et al.* (1.976) afloran en la Hoja. Las condiciones de observación tampoco son buenas, pero se trata de margas y margocalizas con tonos grises, verdosos y rosas. Tienen una potencia de unos 5 m y encima unos niveles de calizas micríticas amarillentas estratificadas en finas capas con intercalaciones margosas y una potencia visible de unos 2-3 m.

En la Hoja de Barahona (434) situada al Sur se ha recogido abundante fauna que permite la datación minuciosa de esta formación y de sus distintos miembros.

La ausencia de una serie completa y los malos afloramientos con que esta unidad se presenta no ha permitido mayores precisiones, pero por similitud de facies se ha atribuido dichos afloramientos a la Formación Alternancia de margas y calizas de Turmiel, que ha sido datada como Pliensbachiense-Toarciense.

La sedimentación se realizó en una plataforma abierta, situada bajo el nivel de base del oleaje, que recibía aportes intermitentes de material detrítico fino.

## 1.2. CRETÁCICO

Los materiales cretácicos aflorantes en la Hoja se sitúan discordantes sobre el Jurásico y ocupan fundamentalmente la esquina SO, aunque existen pequeños retazos en Villasayas, al Sur de Barca, al Norte de Velamazán, junto al Duero en las proximidades del km 28 de la carretera Almazán-Burgo de Osma, en la Sierra de la Solana, al borde de la citada carretera, y en la Sierra de Loborrón, en una estructura que se prolonga hacia el Oeste en la Hoja de Berlanga de Duero (405).

En todos estos puntos el Cretácico se estructura como suaves anticlinales de ejes aproximadamente E-O cortados por fallas. El más importante de ellos es el de Riba de Escalote, en cuyo núcleo llega a aflorar el Jurásico, y en él se han realizado las principales series de caracterización de las unidades.

El criterio adoptado para su cartografía ha sido fundamentalmente litológico y morfológico y así se han separado los niveles detríticos de la Formación Arenas de Utrillas; un conjunto de margas grises; otro de calizas nodulosas y bioclásticas; los fuertes resaltes producidos por las dolomías en bancos gruesos, y, por último, en el techo, los niveles dolomíticos tableados con que finaliza el Cretácico en la zona.

En la figura 2 se representan las distintas formaciones del Cretácico superior en los sectores reseñados de la Cordillera Ibérica y Sistema Central, así como las correlaciones entre ellas.

Se ha realizado un minucioso estudio tanto de las Facies Utrillas como del Cretácico carbonatado que figura en los respectivos informes complementarios junto con las series realizadas. En él se indican las formaciones, secuencias, medio sedimentario, etc.

Se han realizado tres columnas para la Formación Utrillas y cinco para el resto del Cretácico de tal manera que quedaran caracterizadas todas las formaciones aflorantes.

### 1.2.1. Formación Arenas de Utrillas (3). Albiense-Cenomaniense

Esta unidad se ha estudiado en las series Arenilla I y II en el pueblo del mismo nombre, que, sin embargo, no permiten reconocer toda la unidad. Con el levantamiento de tres series parciales en la localidad de Riba de Escalote se ha reconocido la totalidad de la formación.

El yacente de la serie, en contacto discordante, lo constituyen las calizas fosilíferas jurásicas y en el techo las margas y calizas del Cretácico superior. Este último contacto a escala de afloramiento es concordante.

Su espesor total es de 95 m. Desde el punto de vista granulométrico posee la particularidad de incluir abundantes niveles conglomeráticos, ya formando niveles, ya pavimentos residuales en la base de los estratos, o bien como cantos sueltos esporádicos incluidos en las areniscas cuando la proporción de matriz arenosa es superior a la de los cantos. Son abundantes los cantos pelíticos (cantos blandos) sobre las superficies erosivas canalizadas.

Las tres cuartas partes inferiores de la serie presentan granulometría que va del conglomerado a la arena muy gruesa o gruesa. Están formados por una imbricación de ciclos *braided*, más o menos desarrollados, caracterizados por presentar una estratificación cruzada planar a mediana escala, cortándose los grupos de láminas mediante superficies cuneiformes.

El cuarto superior de la serie está constituido por cuerpos canaliformes aislados en pelitas. Por lo general, tienen alrededor de una decena de metros de espesor, son granodecrecientes y, aunque no se observan en el afloramiento superficies de acreción lateral, típicas de canales meandriformes, podrían asimilarse, con reservas, a un régimen fluvial de estas características y baja sinuosidad. Las pelitas representan el único elemento de desbordamiento de los canales, que con posterioridad han sufrido procesos de edafización.

En conjunto, la serie debe considerarse que forma parte de un sistema de abanicos aluviales en un régimen trenzado, en la parte baja, y ligeramente meandriforme (con algo de desbordamiento de los canales) en la parte alta. En este área las paleocorrientes se orientan hacia el E, lo cual significa que la procedencia de los torrentes que las originaban debía situarse preferentemente al O del área de depósito. Sin embargo, en la zona de Arenillas los sistemas de abanicos aluviales parecen proceder del SE y ESE.

A juzgar por la amplitud de los ciclos y la presencia general de estratificación cruzada de mediana



escala, el régimen de flujo debía ser siempre moderado, con un inicio capaz de transportar cantos que formarían *lags* y después con formación de estructuras sedimentarias de mediana y, presumiblemente, de pequeña escala, estas últimas erosionadas en una avenida posterior. Quizás ello pudiera ser la explicación de un relieve no muy acusado y, por lo tanto, con torrentes de poca pendiente, y tal vez áreas de erosión y de sedimentación separadas por una estrecha franja. Los cambios de facies tan bruscos hablan en favor de muchos abanicos aluviales de dimensiones reducidas.

Sin pruebas paleontológicas se le atribuye una edad Albiense-Cenomaniense en función de las dataciones obtenidas para la formación margosa suprayacente.

#### 1.2.2. Margas grises (4). Cenomaniense-Turonense

En esta zona, esta unidad constituye la base del Cretácico superior calcáreo y se apoya concordantemente sobre la Formación Arenas de Utrillas, separando a ambas unidades un contacto neto marcado por una superficie ferruginosa. Sólo aflora al SO de la Hoja con un espesor de 32 m (en las proximidades de Riba de Escalote).

Litológicamente está constituida por margas grises y amarillentas parcialmente cubiertas, que intercalan niveles carbonatados milimétricos hacia la mitad de la serie y hacia el techo niveles de calizas nodulosas, bioclásticas y algo arenosas similares a la unidad suprayacente, constituyendo un paso gradual entre ambas.

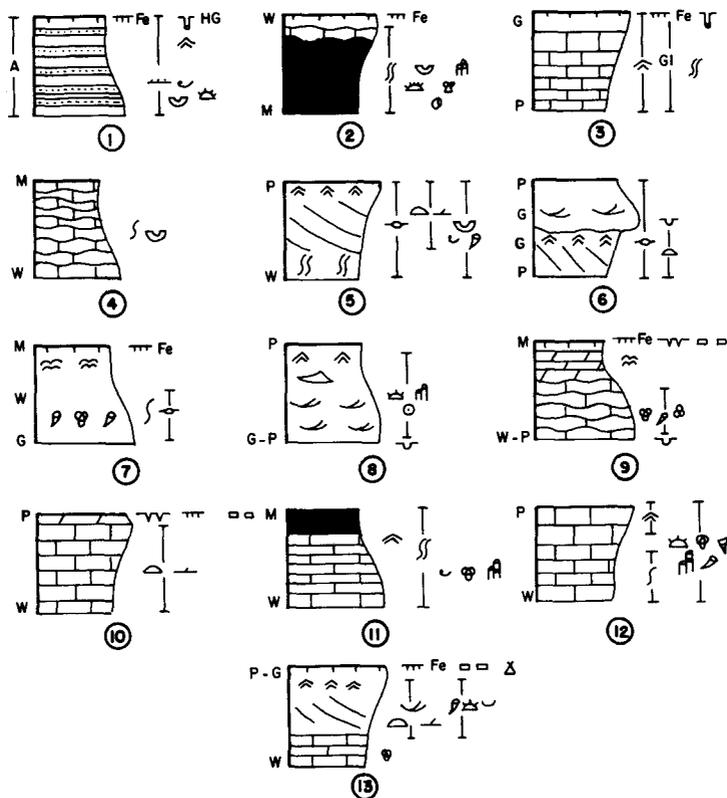
Presentan bioturbación de moderada a intensa y localmente se pueden observar *ripples* de oscilación y mallas de algas. Se han realizado dos cortes parciales en las proximidades de Riba de Escalote y se distinguen tres tramos.

El tramo inferior, de 2,5 m, descansa sobre la costra ferruginosa del techo de la Formación Arenas de Utrillas. Está constituido por areniscas calcáreas en capas de 5-20 cm y margas. Las areniscas son de grano fino y forman secuencias estrato y granodecrecientes (Fig. 3). El tramo finaliza con una costra ferruginosa con perforaciones asociadas.

Tramo medio de 8-26 m, constituido por margas verdes con intercalaciones de calizas *wackestone* nodulosas blancas, más o menos arenosas. En este tramo son frecuentes las costras ferruginosas. El tramo superior, de 8,5 m de potencia, está constituido por calizas *wackestone* nodulosas blancas, con abundantes superficies ferruginosas.

Cada uno de estos tramos está caracterizado por un tipo de secuencia. El tramo inferior presenta secuencias estrato y granodecrecientes desde arenas finas con bioclastos a margas en la parte superior. Toda esta secuencia está bioturbada y termina con una costra ferruginosa que tiene perforaciones asociadas.

El tramo medio tiene secuencias de somerización con un término margoso con equinodermos en la base y un término superior de calizas *wackestone* nodulosas, terminando con una costra ferruginosa. El tramo tiene bioturbación elevada y es abundante la fauna con algunos elementos reelaborados y resedimentados.



A Areniscas	⊖ Estratificación nodulosa	⋈ Tepales
M Mudstone	⋈ Estratificación hummocky	∩ Bivalvos
W Wackestone	∩ Barras	∩ Ostreidos
P Packstone	⋈ Fe Costras ferruginosas	∩ Equinidos
G Grainstone	∩ Ripples de oscilación	∩ Pectinidos
B Bafflestone	∩ Granoselección positiva	∩ Serpullidos
GI Glaucionita	∩ Granoselección negativa	∩ Ammonites
HG Hard ground	∩ Perforaciones orgánicas	∩ Rudistas
RE Fauna reelaborada	∩ Bioturbación baja	∩ Miliólidos
RS Fauna resedimentada	∩ Bioturbación moderada	∩ Ostracodos
∩ Base canalizada	∩ Mallas de algas	∩ Microfauna
∩ Estratificación sigmoidal	∩ Grietas de desecación	∩ Gasterópodos
∩ Estratificación cruzada en surco	∩ Láminas ratas	∩ Algas
∩ Estratificación cruzada planar	∩ Karstificación	∩ Bloconstrucción de rudistas

Fig.- 3 Secuencias tipo del Cretácico superior.- Fms. Moral de Hornuez (1-4); Hortezuolos (5-8); Caballar (9-12); y Hontoria de Pinar (13)

En el tramo superior se pueden reconocer una secuencia estrato y granodreciente desde calizas *wackestone* en la base a *mudstone* en el techo, ligeramente bioturbada y con abundantes ostreidos.

En general, la sedimentación tendría lugar en un medio de bahía con una tendencia a la some-rización, pudiendo estar representado en la parte alta del tramo medio el ambiente intermareal con la presencia de mallas de algas.

En el tramo superior seguirían manteniéndose las condiciones de bahía.

En esta unidad se reconocen restos de ostreidos, pectínidos, serpúlidos, equínidos, gasterópodos, ammonites, muchos de ellos reelaborados y resedimentados, exógiras, ostrácodos, foraminíferos bentónicos y planctónicos (de muy pequeño tamaño), briozoos, dasycládaceas, algas coralinas, codiáceas, oogonios de caráceas y foraminíferos aglutinantes. En la serie de Riba de Escalote I se ha identificado la siguiente asociación: *Discorbis* sp.; *Heterohelix* sp.; *Marssonella* sp.; *Neomeris* sp.; *Bolivina* sp.; *Pithonella*? sp.; *Hedbergella*? sp. y como Nannoplanctón calcáreo: *Natznalleria* sp. En Riba de Escalote II: *Heterohelix* sp.; *Discorbis* sp.; *Neomeris* cf. *cretacea* (STEIN); *Heteroporella* sp.; *Pithonella sphaerica* (KAUFF); *Anomalina*? sp.; *Bulimina* sp.; *Rotalina* sp.; *Eouvigerina* sp.; *Siphogeneroides* sp.; *Haplophragmoides* sp.; *Bathysiphon* sp.; *Quinqueloculina* sp.; *Bigenerina* sp.; *Clavulina* cf. *arenata* CUSH.; *Dorothia* cf. *glabrata* CUSH.; *Gaudryina* sp.; *Glandulina* sp.; *Marssonella oxycona* (REUSS); *Loxostomum* sp.; *Ammobaculites* af. *navarronensis* PLUMM.

Este conjunto margoso se asimila a la formación calizas, margas y arenas de Moral de Hornuez, y concretamente al Miembro calizas y margas de Carabias. La edad de esta unidad por correlación con áreas cercanas (Hoja de Barahona) y, teniendo en cuenta la asociación faunística, ALONSO, 1.981, se atribuye al Turoniense medio-superior.

### 1.2.3. Formación calizas nodulares de Hortezueros (5). Turoniense-Coniaciense

Aflora en las laderas que bordean al valle de Riba de Escalote.

Esta unidad descansa mediante contacto neto sobre la unidad anteriormente descrita (4), cuando aflora el sustrato. Aunque no siempre es posible observar su base se deducen importantes variaciones de espesor, y así, en el borde SO de la Hoja de Almazán tiene 19 m, mientras que hacia el N aumenta el espesor.

Litológicamente está constituida por calizas nodulosas beigeas y *wackestone* bioclásticas. Predomina una bioturbación intensa. Presenta secuencias métricas de *grainstone* en la base a *wackestone-mudstone* hacia el techo o *wackestone* en la base a *mudstone* en el techo (Fig. 3).

En esta unidad se reconocen restos de rudistas que ocasionalmente forman bioconstrucciones, equinodermos, ostrácodos y foraminíferos bentónicos (milliólidos). En la serie de río Escalote I se ha encontrado la siguiente asociación: *Pithonella* ? *sphaerica* (KAUFF); *Neomeris* *cretacea* STEIN; *Neomeris* sp.; *Heterohelix*? sp.; *Dissocladdella* sp.; *Heteroporella* sp.; *Discorbis* sp.; *Heteroporella* sp. (algas dasycládaceas).

La sedimentación de la Formación calizas nodulares de Hortezuelos se ha realizado en un medio de plataforma interna carbonatada en sus diferentes ambientes, predominando en esta Hoja ambientes de sombra, submareal protegido con abundante bioturbación. La edad de esta unidad por correlación con áreas cercanas se atribuye al Coniaciense (s.l.) (FLOQUET *et al.*, 1.982).

#### 1.2.4. Dolomías en bancos (6). Coniaciense-Santoniense

La unidad sólo aflora al Sur de toda la región, debido probablemente a la importante reducción de espesor que en ese mismo sentido se produce en la Formación calizas nodulares de Hortezuelos, situada debajo de ella. Cuando dicha formación tiene los máximos espesores, estas dolomías en bancos no se encuentran.

Litológicamente está constituida por dolomías amarillentas, finamente estratificadas con laminación algal y superficies ferruginizadas, a las que siguen dolomías oquerosas con geodas, masivas, que dan resalte morfológico. Las estructuras sedimentarias que caracterizan esta unidad son laminaciones de algas, grietas de desecación, ocasionalmente estratificación cruzada planar, capas con bases erosivas y otras con geometría de barra. Dan secuencias granocrecientes (Fig. 3) y presentan una ligera bioturbación. En la serie de Riba de Escalote II se han indentificado: *Discorbis* sp.; *Rotalina* sp.; *Gavelinella?* sp.; *Girvanella?* sp.; *Cylindroclavulina?* sp. y *Dictyopsella?* sp. Se han encontrado en los primeros tramos de esta unidad, que se puede asimilar a la Formación dolomías tableadas de Caballar, que está datada como Coniaciense (FLOQUET *et al.*, 1.982), mientras que hacia el techo se pasa a la Formación calizas de Hontoria del Pinar, que ha sido datada como Coniaciense superior-Santoniense.

Sedimentológicamente correspondería a una plataforma interna protegida desde un ambiente submareal, donde localmente se puedan desarrollar *patches* de rudistas, evoluciona a techo a una plataforma de mayor energía con barras bioclásticas.

#### 1.2.5. Dolomías tableadas (7). Santoniense

Se independiza cartográficamente esta unidad con respecto a la anterior (6), por su aspecto tableado sobre los bancos métricos de la unidad anterior. Corona la serie cretácica en los parajes de Torrecilla, Los Roblecillos y Coborrón, con una morfología escalonada.

Litológicamente está constituida por dolomías sacaroideas muy recrystalizadas, en capas de 20-50 cm. Tienen estratificación cruzada planar dando morfologías de barras y se observan (con dificultad) *ripples* simétricos. Constituyen secuencias estrato y granocrecientes de *grainstone*, con parches de rudistas (Fig. 3).

Desde el punto de vista sedimentológico pertenecía a una plataforma de alta energía con barras bioclásticas.

Por sus características sedimentológicas y litoestratigráficas, se asimila esta unidad al techo de la Formación caliza de Hontoria del Pinar, que se ha datado como Santoniense.

### 1.3. Terciario

El análisis estratigráfico de los materiales terciarios de la cuenca de Almazán se ve obstaculizado por tres problemas básicos: Monotonía de facies (frecuentemente detríticas), escasez de registro fósil al que recurrir para asignar edades con criterios bioestratigráficos y falta de continuidad de afloramiento entre muchas de las unidades.

Estos hechos condicionan los resultados de dicho análisis, puesto que se carece de criterios cartográficos y bioestratigráficos suficientemente fiables para correlacionar las unidades que se establecen en las diferentes áreas de la cuenca.

Sin embargo, debido al conocimiento que se posee de las unidades tectosedimentarias (UTS) de la fosa de Calatayud-Teruel y a su proximidad geográfica a la cuenca de Almazán, que permite suponer la simultaneidad de sucesos tectónicos y, por tanto, de los dispositivos sedimentarios correlativos a ellos, se ha recurrido a la correlación de las unidades de la cuenca de Almazán con las de la citada fosa, cuya evolución secuencial y temporal es mucho mejor conocida. Por otra parte, se han tenido en cuenta las dataciones efectuadas en la Facies «Páramo» que aportan datos cronoestratigráficos fiables. Otros yacimientos conocidos son el de Cetina (ARENAS *et al.*, 1.987) situado en la Hoja 436 (Alhama de Aragón) y el de Escobosa de Calatañazor (LÓPEZ MARTÍNEZ *et al.*, 1.977) que se encuentra en la Hoja 378 (Quintana Redonda). En ambos casos no se tiene constancia de su verdadera situación, y para el yacimiento de Escobosa de Calatañazor, la bibliografía indica que se trata de un relleno situado en una fisura kárstica, por lo que la edad determinada no necesariamente debe coincidir con la de los materiales suprayacentes.

La correlación llevada a cabo con los criterios expuestos se ha aplicado a la totalidad de las Hojas que componen la cuenca y, en consecuencia, las atribuciones de los materiales a las distintas UTS pueden aparentemente no tener justificación si sólo se considera una Hoja.

Las UTS y sus edades respectivas son:

- UTST<sub>1</sub>: Paleoceno (su base puede pertenecer al Cretácico terminal) (Maastrichtiense).
- UTST<sub>2</sub>: Paleoceno-Oligoceno inferior.
- UTST<sub>3</sub>: Oligoceno (Sueviense-Arveniense).
- UTST<sub>4</sub>: Oligoceno-Mioceno inferior (Arveniense-Ageniense).
- UTST<sub>5</sub> y T<sub>6</sub>: Mioceno medio (Ageniense-Aragoniense). Están constituidas por dos hemicitos cuya separación no es siempre clara. En algunas Hojas de la cuenca se representa como una sola unidad y en otras se separan.
- UTST<sub>7</sub>: No se ha identificado con claridad, aunque probablemente corresponde a los materiales basales de la Facies «Páramo inferior».
- UTST<sub>8</sub>: Mioceno superior-Plioceno (Turolense-Rusciniense). Corresponde a la unidad cuyas facies terminal constituye el Páramo inferior o Páramo 1.

UTS T<sub>9</sub>: Plioceno. Comprende los materiales que componen la secuencia del Páramo superior o Páramo 2.

El terciario representado en la Hoja pertenece casi en su totalidad al Neógeno. Únicamente existe un pequeño afloramiento directamente asociado al Cretácico que se ha atribuido al Paleógeno sin mayor precisión. El resto está constituido por los conglomerados y arcillas rojas del borde SO del mapa y las superficies horizontales que forman los páramos.

### 1.3.1. Brecha calcárea cementada (8). Paleógeno

Aunque esta unidad tiene una escasa representación cartográfica se ha independizado por constituir el único afloramiento paleógeno de la Hoja.

Aflora en un pequeño retazo al Este del Torreón de Melero junto a Riba de Escalote, plegado con el Cretácico y afectado por una falla de dirección E-O que lo limita por el Norte.

Se trata de una brecha de cantos calcáreos cretácicos y, en menor medida, jurásicos, heterométrica, con bloques de hasta 20 cm, fuertemente cementada, con matriz arenosa y algunos cantos silíceos que aparentemente proceden de la Formación Arenas de Utrillas.

Por sus características litológicas y su relación de proximidad al Cretácico, en contacto paraconforme con él, debe corresponder a un proceso de degradación del mismo que originó la sedimentación de facies muy proximales. Por todo lo expuesto se le atribuye una edad de Paleógeno indiferenciado, aunque podría corresponder a la UTS T<sub>1</sub>.

### 1.3.2. Areniscas silíceas, arenas y arcillas (9). Mioceno

Esta unidad aflora al Norte de la Hoja. Su límite inferior no es visible; el superior lo constituyen los niveles carbonatados de la primera superficie tabular que se desarrolla de manera general a partir de la cota  $1.000 \pm 10$  m.

Está constituida por areniscas y arcillas aunque ocasionalmente existan conglomerados mixtos. En la zona Oeste, en los parajes La Muela y El Bernal, son arenas silíceas. Las areniscas son blancas y amarillentas en fresco y grises cuando se alteran. Tienen grano medio a grueso y engloban cantos silíceos de hasta 7 cm de centil que no están dispuestos de manera organizada, aunque a veces se observan alineados.

Presentan estratificación cruzada en surco y planar y pueden ser masivas o en bancos de 1 a 5 metros de espesor. Las bases son netas y erosivas. En ocasiones se observan morfologías de barra o secuencias granocrecientes desde tamaño microconglomerados hasta areniscas de grano medio. Pueden presentar bioturbación que borra las estructuras internas y origina un conjunto masivo de aspecto oqueroso y ruiforme. Las areniscas se engloban en arcillas rojas que suelen contener caliches intercalados y un alto porcentaje de arena.

Hacia el Oeste esta unidad es fundamentalmente arenosa con estratificación cruzada y niveles

arcillosos intercalados. Ocasionalmente presenta un grado de cementación mayor, dando resaltes morfológicos.

Aunque no se ha realizado ninguna serie en la Hoja por no existir buenos afloramientos, se ha caracterizado en la Hoja de Quintana Redonda(378)en el corte parcial de Matamala de Almazán.

Estos depósitos se interpretan como la facies media de un sistema de abanicos aluviales que constituyen la base de una unidad tectosedimentaria que culmina con la sedimentación de los carbonatos de la unidad cartográfica 10.

Los citados carbonatos se han correlacionado con el «Páramo 1» o «Páramo inferior» que representan la UTS T<sub>8</sub> cuya edad es Mioceno superior-Plioceno.

### 1.3.3. Calizas (10). Mioceno superior-Plioceno

Esta unidad constituye el primer plano o superficie estructural carbonatada, con un claro reflejo morfológico y se inicia aproximadamente en la cota 1.000.

Aflora, dentro de la Hoja, en la zona centro-Norte, constituyendo el final del ciclo sedimentario de la unidad anterior y a ella se le superpone en contacto paraconforme una unidad detrítica de carácter regional, aunque no siempre claramente identificable.

Litológicamente son calizas margosas, oquerosas y arcillas calcáreas con tonalidades blanquecinas y grisáceas. Presentan porosidad móldica y fenestral. Tienen mala estratificación, aspecto masivo y potencia media de 60 m, aunque hacia el Sur ésta disminuye progresivamente hasta los 20 m. En algunas zonas, y sobre la superficie del páramo, se desarrollan procesos de karstificación.

Esta facies puede interpretarse como depósitos de tipo lacustre que se implantan progresivamente englobando en la base, en algunas zonas, los depósitos más distales del abanico aluvial.

La unidad que se acaba de describir constituye el final de un ciclo tectosedimentario de carácter regional que se puede identificar con mayor claridad hacia el centro de la cuenca en las Hojas de Arcos de Jalón (435) y Alhama de Aragón (436), y más difusamente hacia el Norte y Oeste, en las Hojas de Burgo de Osma (377) y Quintana Redonda (378).

Se correlaciona con la UTS T<sub>8</sub> por las razones que se han explicado en la unidad cartográfica anterior. Por tanto, su edad es Mioceno superior-Plioceno.

### 1.3.4. Conglomerado calcáreo y arcillas rojas (11). Mioceno medio-Plioceno inferior

Esta unidad aflora en la zona O y constituye probablemente una facies marginal de las unidades antes descritas como denotan las series de Covacha y del Barranco de la Sinoga. En la serie de la Ojaraca se han podido reconocer los principales rasgos de la unidad.

Se trata de una alternancia de conglomerados y arcillas en la base y un nivel arcilloso en el techo que intercala canales conglomeráticos. Los conglomerados son fundamentalmente calcáreos (85 %) con algún canto silíceo (15 %), subredondeados, con centilo 15 cm. Las arcillas son marrón-rojizas, algo arenosas, con caliches hacia el techo. Las arcillas rojas de los últimos 30 m intercalan canales de conglomerados y areniscas. Los primeros son calcáreos (80 %) y silíceos (20 %), redondeados y de centil 30 cm; las segundas, de grano grueso a muy grueso, con *lag* de cantos en la base y bioturbadas. Hacia el techo de la unidad se desarrollan caliches y costras calcáreas, dando una tonalidad más blanquecina. Los niveles conglomeráticos presentan bases canalizadas, estratificación cruzada en surco y ligera granoclasificación.

El conjunto totaliza una potencia de 90-100 m.

La génesis de la parte inferior de la unidad corresponde al depósito de una llanura lutítica con canales de escaso desarrollo lateral. La parte superior, es decir, el tramo con desarrollo de carbonatos, puede representar facies marginales a lacustres de un abanico aluvial. A este respecto cabe indicar la presencia de dos fenómenos simultáneos: un cambio lateral de facies dentro de la misma unidad hacia términos más distales y una indentación entre abanicos de distinta procedencia, representado el segundo por la unidad de areniscas silíceas, arenas y arcillas (9). Así, el río Escalote se encaja en la zona de cambio lateral, mientras que la indentación entre abanicos queda cubierta por las facies carbonatadas (10) con que culmina la unidad.

Por su posición estratigráfica y correlación con la UTS T<sub>8</sub>, se da una edad Mioceno medio-Plioceno inferior.

### 1.3.5. Conglomerado mixto (12). Plioceno

Sobre la unidad anterior, y únicamente en el borde SO de la Hoja, se desarrolla un conglomerado mixto acompañado de arcilla que representa una reactivación en la actividad erosiva y la correlativa de sedimentación, causadas por modificaciones tectónicas y/o climáticas. Esta reactivación se pone de manifiesto al desarrollarse, sobre la llanura aluvial con niveles de caliche con que finaliza la unidad anterior, un potente paquete conglomerático de gran continuidad lateral.

Se trata de un conglomerado mixto de 5 m de potencia media, con centil de 60 cm y base erosiva que finaliza con areniscas de grano grueso con estratificación cruzada en surco. Además del conglomerado basal descrito, está compuesta por un conjunto de arcillas rojas que intercalan conglomerados métricos de escaso desarrollo lateral y areniscas silíceas de grano grueso a medio. Ocasionalmente se presentan niveles de caliche con abundante bioturbación y perforaciones de raíces. Tienen colores blancos y rojos, estos últimos como consecuencia de una posterior alteración.

La potencia de esta unidad es de unos 60 m.

Sedimentológicamente corresponde a una reactivación, probablemente de origen climático, de la red de canales que discurren por la llanura lutítica que interrumpe las condiciones de sedimentación en que se estaba depositando la unidad anterior. Hacia el centro de la cuenca (N y NE) evoluciona a facies más distales: arcillas y carbonatos. Por correlación con la UTS T<sub>9</sub>, se atribuye esta unidad al Plioceno.

### 1.3.6. Arcillas rojas con niveles de conglomerados (13). Plioceno

Esta unidad, que se intercala entre los niveles calcáreos de los páramos tiene mayor importancia como nivel de reactivación que como unidad cartográfica; no obstante, se ha independizado como tal por ser el inicio de una unidad tectosedimentaria que finaliza con el Páramo superior.

Ha sido caracterizada en las series de Valdemisindiego al SE de la Hoja, y la Covacha y Rayuela en el centro-Este. Tiene una potencia variable entre 5 y 25 m.

Se deposita sobre la unidad inferior en paraconformidad y pasa hacia el techo a la unidad carbonatada de los Páramos.

Se inicia generalmente con un nivel de areniscas de grano grueso, con envueltas oncolíticas y potencias de 1 a 3 m, le siguen arcillas calcáreas marrones y rojizas con niveles esporádicos de areniscas de grano medio-grueso y cantos calcáreos dispersos. Finaliza con niveles calcáreos con bioturbación, intercalados en las arcillas. La proporción de carbonatos va aumentando paulatinamente hasta pasar a las calizas de la unidad superior.

Sedimentológicamente corresponde a un depósito de llanura aluvial en facies distal. Por las mismas razones que la unidad cartográfica (12), que es cambio lateral de ésta, se le asigna una edad Plioceno al correlacionarse con la UTS T<sub>9</sub>.

### 1.3.7. Calizas (14). Plioceno

Coronando la serie terciaria se encuentra un conjunto carbonatado que constituye el llamado «Páramo superior», que ocupa el centro-Sur de la Hoja y se sitúa a partir de la cota 1.080-1.110 m.

Ha sido caracterizado en las series de Valdemisindiego y la Covacha, donde se han medido entre 70 y 50 m.

Está constituida por margocalizas y calizas arcillosas en la base, nodulosas y lajeadas, calizas nodulosas con óxido de hierro y raíces, calizas oquerosas y margocalizas hacia el techo. En superficie presenta ligera karstificación y en algunas zonas se desarrollan dolinas que posteriormente se rellenan de arcillas de descalcificación.

Sedimentológicamente corresponde a un régimen lacustre y esta unidad carbonatada constituye la culminación de la UTS T<sub>9</sub>, por lo que su edad corresponde al Plioceno.

## 1.4. CUATERNARIO

La mayor parte de los depósitos cuaternarios están representados por los propios de la acción fluvial, y en este caso especial, la derivada del río Duero.

Dominan todo el margen N de la Hoja, predominando las terrazas y otros depósitos como conos de deyección, llanuras aluviales, etc.

También hay que mencionar otro tipo de materiales, no relacionados con la dinámica fluvial, como son: Coluviones, fondos endorreicos y arenas eólicas, que completan el conjunto de elementos cartografiados en la Hoja.

#### 1.4.1. **Glacis (15). Pleistoceno-Holoceno**

No son depósitos representativos en el ámbito de la Hoja, sólo se disponen en algunas vertientes con pendiente suave. Litológicamente están constituidos por arenas de grano medio con algún porcentaje de limos y un contenido en cantos no superior al 25 %.

No se pueden correlacionar con depósitos de edad conocida, por lo que, con criterios morfológicos y de relaciones geométricas con otras unidades, se le atribuye una edad de Pleistoceno-Holoceno.

#### 1.4.2. **Terrazas (16). Pleistoceno-Holoceno**

Aparecen dispuestas en el margen N de la Hoja, constituyendo niveles que quedan colgados a distintas alturas con respecto al cauce actual. Las cotas relativas son: +1-7 m; +10-12 m; +15-18 m; +20-25 m; +30-32 m; +35-40 m y +65-68 m.

Desde el punto de vista litológico existen ligeras diferencias entre los niveles más bajos y los más altos.

Se consideran niveles altos aquellos por encima de los 60 m con respecto al cauce actual, los únicos afloramientos con estas condiciones se localizan en el cuadrante NE, al Sur de la carretera Almazán-Burgo de Osma, en los parajes denominados Carramolinos y Corral de Carralaseña. Están constituidos por cantos fundamentalmente cuarcíticos (>95 %) con algunos elementos de cuarzo. El tamaño medio es de 2-6 cm, con un tamaño máximo de 25 cm. La matriz es arenosa con escaso porcentaje de limo y arcilla.

Las terrazas medias se consideran con alturas entre ++20 y 60 m. Tienen mayor representación en la Hoja, sobre todo en la margen derecha del río Duero (N de la Hoja).

La litología de cantos, gravas y bloques da una mayoría de elementos de cuarcita (aproximadamente 90 %), con un 10 % de cuarzo y algo de areniscas silíceas rojas y microconglomerados. El tamaño medio está comprendido entre 3-7 cm con un tamaño máximo de 30 cm. La matriz es fundamentalmente arenosa, pero aumenta algo el contenido de limo y arcilla, con respecto a las terrazas altas, pero no supera nunca el 15 %. El grado de redondez y esfericidad en los cantos es similar al de las terrazas altas; sin embargo, hay una tendencia al alargamiento e incluso al aplanamiento (sólo ocurre con los cantos cuarcíticos, mientras que los de cuarzo siguen siendo bastante esféricos). El horizonte A del suelo presenta removilizaciones importantes y hacia zonas inferiores, ya en el depósito de terraza, hay acumulación de carbonatos, ya sea alrededor de los cantos o en la base de los canales. Hay que destacar que la carbonatación es un proceso muy acusado en las terrazas de este sector.

Las terrazas bajas son aquellas con alturas inferiores a +20 m y se desarrollan ampliamente en esta Hoja. La litología está constituida por cantos fundamentalmente cuarcíticos, pero hay un aumento de cuarzo y mayor preferencia de areniscas rojas, microconglomerados, pizarras silíceas y cantos negros (de forma esporádica). La matriz es arenosa gruesa con escasa proporción de limos y arcilla (inferior a 10 %). Los cantos muestran gran heterometría. Hay dos medios predominantes, uno entre 3-5 cm y el otro entre 5-7 cm y un tamaño máximo que supera los 30 cm. En lo que se refiere a su forma, los elementos cuarcíticos tienen gran tendencia al aplanamiento, mientras que los de cuarzo son esféricos. Ambos, sin embargo, varían de redondeados a subangulosos. También, como ocurre en las terrazas medias, hay concentración de carbonatos hacia las zonas inferiores, alrededor de los cantos y en la base de los canales. En general, se observan estratificaciones cruzadas de bajo y medio ángulo, canales, barras, imbricación de cantos y llanuras de inundación. Son frecuentes también las intercalaciones arenosas con poca presencia de finos.

Los mejores cortes se encuentran próximos al río y a lo largo de él (Almazán, Santa María del Prado).

#### 1.4.3. Coluviones (17). Holoceno

Se disponen en la mayoría de las vertientes de la región. La litología de los mismos depende de la naturaleza del sustrato, normalmente son arcilloso-margosos y calcáreos, con una presencia de finos relativamente alta. Son depósitos poco consolidados y no presentan estructuración interna, en la mayor parte de los casos. Su potencia es pequeña.

Estos depósitos suelen aparecer asociados a conos de deyección, formando una estrecha franja en la margen derecha del río Escalote.

#### 1.4.4. Conos de deyección (18). Holoceno

Generalmente aparecen en la desembocadura de casi todos los arroyos de la Hoja, ya sea cuando llegan a una zona llana o en la confluencia con otro río. La litología dependerá de los materiales que transportan estos arroyos, al erosionar aguas arriba. Así, podemos distinguir diferentes litologías en función de donde procedan: Están los que proceden de facies conglomeráticas cuarcíticas con matriz arenosa y se instalan en la margen derecha del río Duero y los conos procedentes de facies miocenas, constituidos en la base por arcillas y conglomerados, margas y hacia el techo calizas (del Páramo) y se instalan en el valle del Duero y en sus afluentes de la margen izquierda.

Los espesores de estos depósitos son variables, pero siempre máximos en las zonas apicales, aunque no superan los 7-8 m.

#### 1.4.5. **Cauces abandonados (19). Holoceno**

Se trata de antiguos canales de circulación del río que han quedado abandonados, en el proceso de encajamiento.

Existen buenos ejemplos en la Hoja, siempre relacionados con el río Duero, al N de la misma (La Aceña Caída, La Granja, El Soto, La Cueva).

La litología parece ser similar a la de las terrazas donde se instalan, pero con un mayor contenido en finos, sobre todo en el techo de las secuencias. Debido a esto son zonas impermeables y, unido a una morfología ligeramente deprimida, hace que pueda circular agua o se produzcan estancamientos en época de lluvias.

#### 1.4.6. **Llanura de inundación (20). Holoceno**

Estos depósitos se disponen en los principales afluentes del río Duero, que son el Izana por la margen derecha y el Morón y Escalote por la margen izquierda. Litológicamente existen diferencias en los depósitos de llanura de inundación de estos tres ríos. En la del río Morón se observan cantos cuarcíticos y gravas con matriz arenosa, en el techo existen materiales finos (arena y limos). En la del río Escalote, que recorre la Hoja con dirección SE-NO, la distribución de facies es similar a la del río Morón; gravas y cantos en la base y en el techo depósitos finos. Sin embargo, la diferencia es que existe gran cantidad de elementos calcáreos, que el río Escalote arrastra al pasar por las calizas lacustres del Páramo. A su vez, las facies finas son arcillo-limosas.

El río Izana tiene una llanura de inundación constituida por arenas limosas con niveles de cantos y cantos dispersos. Sólo se desarrolla en las proximidades de la desembocadura con el río Duero, ya que desde el Apeadero de Matamala (Hoja de Quintana Redonda), hacia el N, el río sufre un mayor encajamiento y sus depósitos tienen características de aluvial de cantos y gravas, disminuyendo la amplitud de su fondo.

#### 1.4.7. **Fondos del valle (21). Holoceno**

Son depósitos que tapizan las partes más bajas de los valles. Las facies son muy similares a las de las terrazas, pero existen marcadas diferencias litológicas entre los afluentes de la margen izquierda y derecha del Duero, ya que en los fondos del valle de los de la margen izquierda hay mayor proporción de elementos calcáreos, que estos afluentes transportan al erosionar las calizas del Páramo.

#### 1.4.8. **Arenas eólicas y dunas (22). Holoceno**

Sólo existe un pequeño afloramiento, situado a 200 m al N del km 38 de la Carretera Almazán-Burgo de Osma (CN-116). Litológicamente está constituido por arenas cuarcíticas bien clasificadas. La presencia de finos (limos y arcilla) es escasa, no superando el 2 %.

Se trata de un afloramiento de pequeñas dimensiones, 500 m de longitud y una anchura aproximada de 150 m.

#### 1.4.9. Arenas endorréicas (23). Holoceno

Los principales depósitos endorréicos se localizan en el N de la Hoja (El Prado). Tiene un par de arroyos que la drenan y su morfología es ligeramente deprimida. En el techo se originan suelos muy característicos de estas áreas de deficiente drenaje, con tonalidades negruzcas y grisáceas. Son excelentes zonas de cultivos.

## 2. TECTÓNICA

La Hoja de Almazán se sitúa en la parte meridional de la cuenca terciaria del mismo nombre, incluyendo asimismo en su ángulo SO una pequeña extensión de afloramientos mesozoicos pertenecientes ya al ámbito de la Cordillera Ibérica. A continuación describiremos por separado la macroestructura de uno y otro sector.

### 2.1. DESCRIPCIÓN MACROESTRUCTURAL

#### 2.1.1. Sector de la Cuenca de Almazán

Este sector se encuentra ocupado casi exclusivamente por materiales de edad neógena, incluyendo unas unidades detríticas y arcillosas rojas inferiores y otra unidad carbonatada culminante, identificable con las Facies Páramo.

Todo el conjunto se presenta con una disposición horizontal casi perfecta, especialmente en los niveles superiores. Llama especialmente la atención, en ese sentido, la plataforma que se extiende al Norte de Fuentegelmes, cuyo nivel culminante se mantiene a una cota constante en torno a los 1.125 m. Las únicas posibles macroestructuras que cabe destacar afectando a estos tramos superiores del Neógeno son ciertas lineaciones de longitud kilométrica apreciables en la fotografía aérea, y que pueden asimilarse a facturas sin desplazamiento aparente. Las principales aparecen al Sur de Velamazán y en el sector de Fuentegelmes, y llevan direcciones dominantes E a EN y SE.

En niveles bajos de la serie sí se observan localmente algunos leves buzamientos (hasta 15°), concretamente en el área comprendida entre el SO de Almazán y Velamazán. Las direcciones de las capas siempre se sitúan próximas a E-O. Entre Barca y Velamazán (área de Peñas Blancas) llega a dibujarse un sinclinal laxo de esa misma orientación.

Bajo el Neógeno afloran localmente algunos asomos de calizas cretácicas. El más importante aparece en el límite occidental de la Hoja, prolongándose en la contigua de Berlanga y constituyendo el relieve junto al que se levanta dicha localidad. Presenta una grosera estructura anticlinal y se halla cortado por algunas fallas N y NNO. Otro afloramiento importante es el que se encuentra

al Norte de Fuente Tovar, dando también un pliegue anticlinal de dirección entre 100 y 110 cortado por fallas NE. Otros asomos cretácicos que aparecen en diversos puntos de la Hoja tienen dimensiones hectométricas y no ofrecen estructuras bien definidas.

### 2.1.2. Sector del borde de la Cordillera Ibérica

En el ángulo SO de la Hoja (sector de La Riba de Escalote-Arenillas) aparecen materiales jurásicos y cretácicos del borde de la Cordillera Ibérica afectados por pliegues y fallas. Las deformaciones son, en realidad, poco intensas, y no se encuentra una estructura de borde de cadena bien definida. El límite entre ambos dominios geológicos (Cordillera Ibérica y Cuenca de Almazán) en este sector se establece simplemente por el contacto discordante a lo largo de la cual el Neógeno reposa sobre el Mesozoico deformado.

Los pliegues son muy laxos y poco definidos, a excepción de un anticlinal de dirección NE-SO que aparece en el límite Oeste de la Hoja. Se trata de un pliegue recto en el que ambos flancos llegan a buzarse unos 50 a 60°, y cuyo cierre periclinal se sitúa justamente al Norte de la carretera de Arenillas de Lumicas, 1,5 km al N de la primera localidad. En dicho cierre periclinal se observan todavía ligeramente deformadas las capas basales de los conglomerados (probablemente de edad neógena), que buzarse alrededor de 10°.

Las fallas son de direcciones variadas, aunque predominan las SE a ESE. Generalmente tienen escasa longitud (hectométrica), excepto las que aparecen en una línea de fractura importante de dirección aproximada 120 que discurre al Norte de La Riba de Escalote.

Tanto algún pliegue laxo como las fallas mencionadas al Norte de La Riba de Escalote afectan incluso a los materiales neógenos, al menos en sus tramos inferiores. Se observa un esquema panorámico de un débil sinclinal NO-SE que afecta a los conglomerados basales en el área de Peña Carrasca, 1 km al Norte de la localidad mencionada. Una serie de pequeños retazos de esos mismos conglomerados aparecen hundidos en la margen septentrional del río Escalote por efecto de desplazamiento, con componente normal, de una de las fallas de dirección 120. Otra falla, que prácticamente puede considerarse prolongación de la anterior, presenta, sin embargo, componente inversa. Su plano puede observarse en el camino que discurre desde La Riba de Escalote hacia el Norte, a la altura del pico Melero, presentando estrías de deslizamiento que indican una componente principal inversa. La falla afecta claramente a los conglomerados neógenos, y los cantos de éstos se encuentran estriados y disueltos en las proximidades de la misma.

## 2.2. ANÁLISIS MICROESTRUCTURAL

Dentro de esta Hoja se han tomado y analizado datos de microestructuras frágiles (estilolitos y microfallas) en tres estaciones localizadas en calizas mesozoicas, con el fin de reconstruir los estados de paleoesfuerzo que caracterizan la evolución tectónica alpina (estaciones 1, 2 y 3). Para dicho análisis se han utilizado métodos estadísticos tanto de tipo analítico (ETCHECOPAR *et al.*, 1.981), como gráfico (diagrama y-R de SIMÓN GÓMEZ, 1.986). Asimismo, en otras tres

estaciones (4, 5 y 6) se ha procedido a la medición de las fracturas que afectan a los materiales del Neógeno, dos de ellas en sus capas culminantes. Los resultados de todas ellas se recogen en la figura 4.

La estación 1 (Fuente Tovar) se localiza en las calizas cretácicas del flanco Sur del anticlinal que se extiende al Norte de esa localidad, rodeado por el Neógeno de la Cuenca de Almazán. Las capas buzan débilmente (entre 5 y 10°) hacia el Sur. Se han medido en ella picos estilolíticos horizontales de direcciones entre 000 y 040, y fallas direccionales ENE y N-S de las que tanto el método de Etchecopar como el diagrama y-R permiten inferir una compresión subhorizontal próxima a 030 (compatible, por tanto, con la dirección de los estilolitos).

La estación 2 (La Riba de Escalote) está ubicada en calizas jurásicas ligeramente inclinadas (14°) hacia el Norte. Se ha medido una población de fallas direccionales, en su mayoría próximas a N-S, a partir de la cual se interpretan dos estados de esfuerzo compresivos distintos, ambos en régimen de desgarre ( $\sigma^2$  subvertical); uno presenta un  $\sigma_1$  orientado 149, 05 S y otro 001, 13 S. Existen al menos cinco planos de falla en los que se observan dos familias de estrías distintas compatibles, respectivamente, con estos elipsoides de esfuerzos. En tres de estos planos se ha observado claramente la superposición de unas estrías sobre otras, y en todos ellos las estrías relacionadas con la compresión 149 son más tempranas que las relacionadas con la compresión 001.

La estación 3 (Melero) se sitúa muy cerca de la anterior, en las calizas del Cretácico superior que forman el pico del Melero, 1 km al Norte de La Riba de Escalote. En ella se ha medido únicamente una familia de picos estilolíticos de dirección media 130.

La medición y análisis de ciertos sistemas de fracturas sin síntomas de movimiento que afectan a los materiales neógenos ha sido abordado en las estaciones 4 (Valdelacalera), 5 (Villasayas) y 6 (Cobertelada). Las dos primeras se sitúan en las capas terminales carbonatadas de Facies Páramo que forman las extensas plataformas del centro y Sur de la Hoja. En ambas dominan sendas familias mutuamente perpendiculares de direcciones SSE y ENE, si bien el máximo absoluto no coincide en ambos afloramientos (ver diagramas en rosa de la Fig. 4). La estación 6 corresponde a fracturas que afectan a niveles más bajos de la serie neógena (próximos al contacto entre la unidad detrítico-arcillosa inferior y la unidad carbonatada superior). En este caso se ve una familia dominante ENE y varios picos secundarios subperpendiculares a la misma.

### 2.3. INTERPRETACIÓN TECTÓNICA

La compresión alpina dentro del ámbito de la Hoja de Almazán produjo, como rasgo estructural más destacable, el desarrollo de pliegues E-O a ESE que aparecen en diversos puntos afectando tanto a los enclaves de calizas del Cretácico superior (haciendo aflorar éstas entre los materiales neógenos de la Cuenca de Almazán) como localmente, a los niveles inferiores del Neógeno (sinclinales observados entre Barca y Velamazán y al Norte de La Riba de Escalote). Tales pliegues deben de estar causados por una compresión N a NNE que también ha sido puesta de manifiesto mediante microestructuras frágiles en dos de las estaciones analizadas. También resulta compatible con ese campo de esfuerzos la falla inversa de dirección 100 que se ha observado afectando a

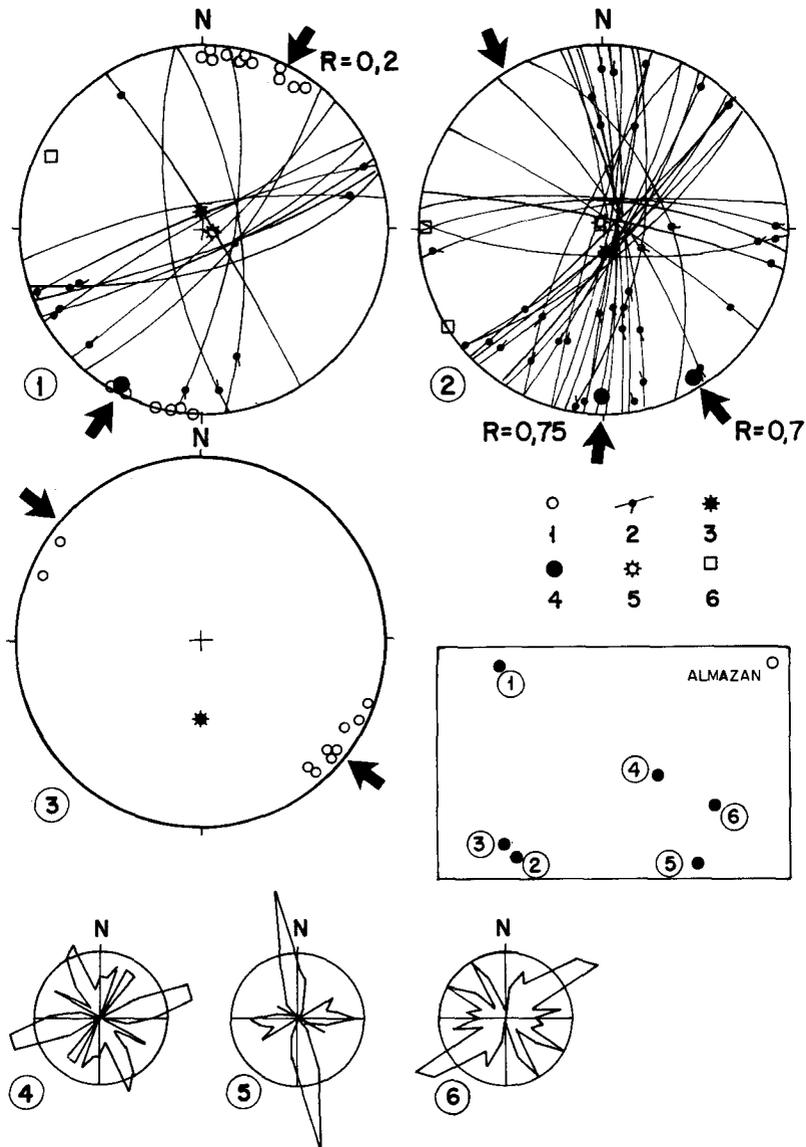


Fig.-4 Resultados del análisis de microestructuras frágiles. Estaciones: 1: Fuente Tobar (Coordenadas UTM: 30 TWL 175928) 2: La Riba de Escalote (30TWL 185779) 3: Mero (30TWL 176793) 4: Valdelacalera (30TWL 299853) 5: Villasayas (30TWL 332769) 6: Cobertelada (30TWL 346823). Símbolos: 1 Pico estilolítico. 2: Ciclo-gráfica y estria de falla, con indicación del sentido de movimiento del labio superior. 3: Polo medio de la estratificación. 4: Eje de esfuerzo máximo  $\sigma_1$  inferido del análisis estadístico de fallas. 5: Eje de esfuerzo intermedio  $\sigma_2$  6: Eje de esfuerzo mínimo  $\sigma_3$ . R. es el valor de la relación de esfuerzos ( $\sigma_2 - \sigma_3$ ) ( $\sigma_1 - \sigma_3$ ). Las flechas indican las direcciones de compresión inferidas tanto a partir de fallas como de estilolitos. Para las estaciones 4, 5 y 6 se representan sendos diagramas en rosa de las fracturas. El radio de la circunferencia representa 5 fracturas.

los conglomerados basales al Norte de La Riba de Escalote. Todo apunta a que la edad de esta compresión, si bien debe de ser esencialmente paleógena a juzgar por los datos regionales, se prolonga todavía en el Neógeno inferior.

Otra dirección de compresión SE a SSE, detectada únicamente por microestructuras frágiles en dos de las estaciones analizadas, parece ser anterior a la N-S. Esta también se halla registrada en hojas vecinas (Quintana Redonda, 378, y Berlanga de Duero 405), presentando la misma relación cronológica, así como en todo el ámbito de la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica (ÁLVARO, 1.975; CAPOTE *et al.*, 1.982).

El pliegue NE que aparece al Norte de Arenillas, que resulta compatible con esta compresión no parece, sin embargo, anterior a los E y ESE (de hecho, ya hemos señalado que llega a afectar igual que ellos a la base de la serie neógena). Su desarrollo puede que haya sido al menos parcialmente sincrónico con el de los pliegues E-O que dominan todo el sector occidental de la Cuenca de Almazán, los cuales, a su vez, también parecen serlo con relación a los pliegues SE a SSE del límite oriental de ésta con la Cordillera Ibérica. Ello indica que durante el Paleógeno, tanto las trayectorias del campo de esfuerzos compresivo como las directrices de los pliegues presentan una variación espacial importante. En la vecina Hoja de Soria llega a producirse el tránsito prácticamente continuo entre estas direcciones estructurales.

Durante, al menos, la mayor parte del Neógeno predomina en la región un ambiente de calma tectónica, dentro del cual tiene lugar el desarrollo de la superficie de erosión que arrasa las estructuras de plegamiento (superficie de erosión fundamental de SOLÉ SABARIS, 1.978), y que es correlativa de los niveles de Facies Páramo que colmatan la Cuenca de Almazán. Éstos, que constituyen las plataformas carbonatadas del sector centro-meridional de la Hoja, aparecen siempre horizontales en toda su extensión. Ello no es óbice para que aparezcan surcadas por posibles lineaciones de fracturas kilométricas, y a escala de afloramiento, por sistemas de diaclasas relativamente densos. Estas fracturas deben de estar sin duda relacionadas con los procesos distensivos que caracterizan la evolución tectónica tardía de la Cordillera Ibérica y la Meseta. El patrón de fracturación que parece apreciarse, conformado por parejas de familias mutuamente perpendiculares, coincide con el que se muestra en otros muchos puntos de la Cordillera Ibérica y de la Depresión del Ebro, y es característico de un régimen de distensión de tipo «radial» o «multidireccional» ( $\sigma_2$   $\sigma_3$ , ambas horizontales). La tendencia general que existe a dar dos familias principales próximas, respectivamente, a N-S y E-O (SSE y ENE en las estaciones de esta Hoja) puede interpretarse como producto de la actuación de un campo distensivo que, al menos en ciertas áreas, presenta unas trayectorias de  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$  bastante precisas según esas mismas direcciones (SIMÓN GÓMEZ, 1.989). Dentro de ese campo de esfuerzos la aparición de fracturas extensivas según dos direcciones distintas y perpendiculares entre sí se explicaría por el intercambio de los ejes  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$ , debido a la similitud de sus valores y a la redistribución de esfuerzos causada por la aparición de la primera familia de discontinuidades.

### 3. GEOMORFOLOGÍA

#### 3.1. DESCRIPCIÓN FISIOGRAFICA

La Hoja de Almazán se encuentra situada en el centro de la cuenca terciaria del mismo nombre que constituye el extremo más oriental de la Cuenca del Duero.

La extensión de la zona de estudio es 516 km<sup>2</sup>. La altitud media es 1.033 m, las cotas más altas se localizan en la zona centro y extremos SO y SE, con valores en torno a 1.129 m (proximidades del Alto de Valdelacalera), 1.117 m (Alberca, Muela) y 1.127 m (Torrecilla SO). Las zonas más bajas, por el contrario, se sitúan en el N de la Hoja, que es por donde discurre el río Duero, con valores alrededor de 914 m (La Poza).

El análisis del esquema de distribución de pendientes, teniendo en cuenta los diferentes rangos separados (esquema de pendientes a escala 1:250.000 del margen derecho de la Hoja), permite diferenciar tres regiones con características bien definidas:

A. Zona con rangos de pendientes superiores a 9°. Se localizan al Sur de la diagonal NO-SE del mapa, en el borde de los «páramos» y se originan al encajarse la red de drenaje en la superficie del páramo. También se observan en las proximidades de los relieves residuales del Mesozoico.

B. Zona intermedia con rangos entre 2° y 9°. Corresponden a las zonas de tránsito entre las pendientes más fuertes y las llanas. Por lo general se disponen adosadas normalmente a las anteriores (+9°).

C. Valle del río Duero. Ocupa la franja N de la Hoja y se caracteriza por rangos de pendientes entre 0-2°, por lo que el relieve es muy suave. Corresponde a la zona donde dominan los depósitos cuaternarios (terrazas del río Duero).

La climatología es relativamente uniforme en toda la zona, ya que no cabe esperar grandes variaciones en un área reducida y de relieve monótono. En función de los datos obtenidos en la Estación de Almazán (tabla 1), y según la clasificación que realiza PAPADAKIS (1.961, 1.966) de los tipos climáticos en relación con el tipo de cultivos, se engloba a la zona de estudio en un tipo climático mediterráneo templado. El régimen térmico es templado cálido y se caracteriza por una temperatura media de 11,9°C, siendo la temperatura máxima 35,8°C y la mínima 5,7°C. El régimen de humedad corresponde dentro de la clasificación a un clima mediterráneo húmedo, con una precipitación media de unos 560 mm/año.

En su totalidad la Hoja de Almazán, pertenece a la cuenca hidrográfica del Duero. Los principales valles, además del ya mencionado del río Duero, son los de sus afluentes por la margen derecha e izquierda, que son, respectivamente, los del río Izana y río Escalote. Como relieve positivo destaca la Sierra de Hontalbilla en el extremo SO de la Hoja.



### 3.2. ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO

En primer lugar se trata de situar la Hoja de Almazán dentro de los grandes conjuntos morfoestructurales regionales. (Esquema morfoestructural del margen derecho de la Hoja). En la región se han diferenciado cuatro dominios:

A. Relieves de la Sierra de la Demanda que limitan por el borde N a la Cuenca de Almazán. En esta Hoja no afloran, pero hay que citarlos debido a la influencia de los materiales que de allí proceden. Estos relieves se desarrollan sobre materiales de edad Paleozoica y Mesozoica. Son bastante abruptos, con pendientes fuertes y cotas que en algunos casos llegan a los 2.260 m. La existencia de estos relieves puede ser debida a que la superficie de erosión finimiocena no los truncó totalmente o bien a que existía una tectónica de zócalo de gran importancia que provocó un levantamiento posterior.

B. Relieves Mesozoicos de la Cordillera Ibérica Occidental. Constituyen el borde Sur de la Cuenca de Almazán y afloran en el extremo SO de la Hoja. Se diferencian de los anteriores en que son relieves mucho más suaves, con valles generalmente bastante encajados, que se desarrollan al incidir la red de drenaje sobre los materiales mesozoicos.

C. Cuenca Terciaria de Almazán. Este dominio ocupa prácticamente la totalidad de la Hoja de Almazán. Los materiales más antiguos son de edad paleógena; se encuentran adosados a los bordes de la cuenca y plegados siguiendo las directrices generales de la Ibérica. Dan lugar a relieves suaves, con capas duras que resaltan entre los materiales menos resistentes a la erosión. Los materiales neógenos dan también relieves alomados, suaves, relieves tabulares y en ocasiones, como consecuencia de la erosión diferencial, algún cerro testigo.

D. Depósitos cuaternarios del río Duero. Se disponen en una franja que ocupa el N de la Hoja. Los principales depósitos son los sistemas de terrazas escalonadas que se desarrollan en ambos márgenes del cauce actual del río Duero y la presencia de numerosos conos de deyección en la desembocadura de sus afluentes. Dan una morfología típica con relieves prácticamente llanos, en la que destacan los escarpes de terrazas que en muchos casos están degradados.

#### **Sustrato litológico**

El control de la litología es importante, por ello es necesario analizar brevemente las características de los distintos materiales que afloran en la Hoja (la distribución se observa en el esquema litológico del margen derecho de la Hoja).

A. Mesozoico carbonatado. Está constituido por calizas, margas y dolomías. Las calizas generalmente presentan estratificación nodulosa, dispuestas en finos bancos y masivas con bioturbación. Las dolomías en la mayor parte de los casos son sacaroideas y están estratificadas en bancos de diferente espesor. Estos materiales, al ser más resistentes a la erosión, dan un cierto relieve con escarpes más o menos acusados. Pueden aparecer recristalizados y, en general, presentan una intensa karstificación en algunos tramos.

B. Formación Arenas de Utrillas. Las arenas son materiales permeables que dan vertientes en muchos casos sin cohesión.

C. Detríticos terciarios. Este grupo está constituido por conglomerados, areniscas, arenas y arcillas. Los conglomerados y areniscas constituyen los materiales más resistentes a la erosión, dando niveles de capas duras. Las arcillas al ser impermeables facilitan procesos de escorrentía superficial, pudiendo dar procesos de acarreamiento en algunos puntos.

D. Carbonatos terciarios. Están constituidos por calizas y margas. Sobre estos materiales que constituyen los «Páramos» se observan procesos de karstificación, que se demuestran por la presencia de dolinas que tienen una distribución aleatoria. Corresponden en parte a hundimientos en las redes subterráneas y en parte a la simple acumulación de aguas en depresiones locales, donde se amortigua el proceso de erosión y sedimentación. También se observan arcillas rojas de descalcificación, ligadas a los fondos de las dolinas.

## **Descripción del modelado**

### *Formas estructurales*

Entre la superficie del páramo y el valle del Duero existen una serie de formas que caracterizan a las vertientes. Destacan por sus dimensiones los replanos estructurales, debidos a la presencia de niveles carbonatados más resistentes o conglomerados en la serie Neógena. Estos replanos constituyen un nivel más o menos continuo entre 980 y 1.000 m (posible superficie del páramo). Sus escarpes son claros y destacan en el terreno.

Otras formas son los pequeños cerros testigo. Hay buenos ejemplos a lo largo del valle del río Escalote y también relieves residuales de materiales mesozoicos cubiertos por sedimentos neógenos y que posteriormente han sido descubiertos por la erosión. Aparecen a lo largo del valle del río Duero, en el valle del río Escalote y en el extremo SO de la Hoja.

Además de estas formas debidas al modelado estructural, se observa la influencia de la tectónica en la morfología. Las direcciones rectilíneas de algunos ríos, el cambio brusco de dirección en otros y la asimetría de los grandes valles ponen de manifiesto esta influencia. La asimetría se observa en la disposición de las terrazas, ya que éstas se desarrollan en una margen de los ríos, mientras que en la otra no existen o tienen menor desarrollo.

### *Formas fluviales*

En esta zona los procesos fluviales dominan sobre el resto. Dentro de las formas resultantes las de mayor interés son el sistema de valles y terrazas del río Duero. El número de niveles de terraza que se han cartografiado asciende a siete. Sin embargo, se han diferenciado un mayor número de niveles en Hojas próximas.

La influencia de la tectónica de basculamiento se pone de manifiesto en que el río Duero tiende a desplazarse hacia el Sur. Esto se traduce en la asimetría del valle, con un mayor desarrollo de

terrazas y más suaves pendientes al N que al Sur, donde por el contrario el encajamiento parece ser claro.

Los valles de los afluentes del Duero no desarrollan niveles de terraza en esta zona, lo que indica un carácter erosivo. Algunos de ellos presentan en su fondo depósitos aluviales de pequeño desarrollo. Sólo en el caso del río Escalote (afluente por la margen izquierda) se observa una llanura de inundación de una cierta entidad (anchura entre 500 m y 1 km).

También llama la atención la existencia de una cierta orientación en arroyos y barrancos, con dos direcciones preferentes NE-SO y SE-NO y otras dos subordinadas: N-S y NNE-SSO.

Dentro del modelado fluvial hay una serie de formas menores, como los cauces abandonados y los conos de deyección. Los primeros se suelen desarrollar en los niveles más bajos de terrazas y dan idea de la evolución que ha sufrido el río Duero en sus últimas etapas de encajamiento. En los conos de deyección se pueden diferenciar dos tipos morfológicos:

— Conos de pequeño tamaño y pendiente acusada, como los que se forman a lo largo del valle del río Escalote y afluentes.

— Conos de gran tamaño y bastante planos, son los que se observan en el valle del río Duero originados por los arroyos que tienen su cabecera en la superficie del «Páramo» y que con direcciones S-N y SSO-NNE desembocan en el río Duero, dejando estas formas. Buenos ejemplos de este tipo pueden verse a lo largo de la carretera que va desde Almazán al Burgo de Osma.

La morfología de los valles originados por los pequeños arroyos puede ser de dos tipos: valles muy planos, son los que desembocan directamente en el Duero, y valles en «V», en los que la incisión vertical es acusada y son los que erosionan los materiales miocenos de la mitad Sur de la Hoja.

### *Formas poligénicas*

Las más importantes son las superficies del páramo, que se caracterizan por una morfología extremadamente plana, con escarpes netos y acusados. La altura está comprendida entre 1.080 y 1.140 m, y existen una serie de formas y procesos que se imponen, modelando y caracterizando este relieve. Estas formas menores se han generado por procesos kársticos y eólicos.

MOLINA y ARMENTEROS (1.986) distinguen dos superficies del páramo: inferior y superior. La descrita en este capítulo sería la superior y se distinguen en ella una serie de procesos de disolución kárstica que afectan al menos a los 5 m superiores. El perfil elegido para la descripción ha sido el de los altos de Radona, unos kilómetros al Sur de esta Hoja y con una altura de 1.150 m. Caracteriza a esta superficie elaborada sobre las calizas terciarias de la «Unidad Superior» de GARCÍA DEL CURA (1.974) que aparecen suavemente onduladas a nivel regional. El escarpe estructural continuo, desarrollado también sobre calizas terciarias, descrito en el apartado de formas estructurales, se podría relacionar con la superficie de páramo inferior.

### *Formas kársticas*

Se disponen sobre la superficie del páramo. Se trata de formas de disolución como dolinas, uvalas, con tamaños y desarrollos muy diferentes. En unas tienen lugar fenómenos de endorreísmo y en otras hay acumulación de arcillas rojas procedentes de la descalcificación. En detalle estas arcillas rojas tienen poco contenido en arena y limo. El análisis del relleno kárstico da un 2 % de arena y un 98 % de limo y arcilla. Esta última fracción está compuesta por illita, mica y caolinita, en proporciones semejantes. Es posible que muchas de las dolinas hayan tenido en un principio un origen mixto kárstico-eólico.

### *Formas eólicas*

Sobre la superficie del páramo existen otras formas menores debidas al viento y son las cubetas de deflación que son semejantes a las dolinas, pero presentan un lado abierto y una tendencia al alargamiento. La acción del viento no sólo ha dejado formas erosivas, sino que también ha dado lugar a depósitos, aunque de pequeño desarrollo. En la Laguna, cerca del km 38 de la carretera Almazán-Burgo de Osma, se encuentra un pequeño campo de dunas.

### *Formas de gravedad*

En este punto se analizan formas tales como coluviones, que son muy numerosos en esta zona y aparecen al pie de la mayoría de las vertientes de la región. Son depósitos poco consolidados y aparecen a lo largo del valle del río Escalote asociados a los conos de deyección y formando junto a ellos una estrecha franja en la margen derecha.

## 3.3. EVOLUCIÓN DINÁMICA

El rasgo geomorfológico de mayor antigüedad es la presencia de una superficie de erosión que arrasa las estructuras plegadas y que es correlativa con los niveles calcáreos de facies páramo que colmatan la cuenca de Almazán (superficie de erosión fundamental, finimiocena de SOLÉ SABARIS, 1.978). Según ARMENTEROS (1.984), indica la existencia de una superficie morfológica (1.060-1.040 m), que se reconoce sobre las calizas de Mioceno superior y que se indica hacia el NO.

Sincrónicamente con la elaboración de este gran arrasamiento se desarrolla en la Cordillera Ibérica una importante etapa de karstificación que se facilita debido a la topografía plana del terreno. Así, se desarrollan sobre la superficie del páramo campos de dolinas que pueden tener rellenos de arcillas rojas de descalcificación. Estos páramos constituyen plataformas carbonatadas en el sector centro-meridional de la Hoja y aparecen siempre horizontales en toda su extensión. Ello no es obstáculo para que estén surcadas por fracturas kilométricas y a escala de afloramiento por sistemas de diaclasas relativamente densas. Estas fracturas deben estar relacionadas con los procesos distensivos que caracterizan la evolución tectónica tardía de la Cordillera Ibérica y de la Meseta.

Asimismo, como resultado de la importante fase diastrófica que tuvo lugar al final del Neógeno se produjeron levantamientos, y como consecuencia de las diferencias de relieve creadas, se generan importantes glacis, que, sin embargo, en esta Hoja no están muy desarrollados, pero al N, en la Hoja de Quintana Redonda (378) alcanzan mayor significado. El encajamiento de la red fluvial cuaternaria produce erosión diferencial que origina diversos tipos de modelados estructurales. Así, se pueden generar las diferentes morfologías de valles en función de los materiales sobre los que se producen y la presencia de capas duras en los materiales del neógeno (como consecuencia de su diferente comportamiento frente a la erosión). La principal arteria fluvial, el Duero, en su proceso de encajamiento, desarrolla sucesivos niveles de terrazas en ambas márgenes. Las terrazas más antiguas aparecen colgadas, con escarpes bastante degradados por la erosión, observándose alrededor de las mismas el sustrato sobre el que se apoyan.

Correlativamente con los depósitos más modernos fluviales se desarrollan otros de diferente naturaleza: eólica, kárstica, etc.

### 3.4. MORFOLOGÍA ACTUAL-SUBACTUAL Y TENDENCIAS FUTURAS

Un estudio tectónico más concreto y detallado podría determinar si existen movimientos actuales, rejuegos de accidentes antiguos o si por el contrario la morfología actual es sólo un reflejo de los accidentes profundos.

Como fenómenos que están ocurriendo actualmente, la acción fluvial domina sobre el resto, con erosión lateral en el río Duero, formación de barras, incisión vertical en los arroyos menores, y formación de cárcavas y retroceso de cabeceras.

El endorreísmo que se observa en algunas dolinas da lugar a encharcamientos estacionales, y la acción de la gravedad en los escarpes del páramo da lugar a caída de bloques y desprendimientos de cierta importancia. Por último, el viento da lugar a erosión en cubetas, formación de arenas eólicas y pulimento de ventifactos.

## 4. HISTORIA GEOLÓGICA

Los ambientes sedimentarios descritos para las distintas unidades y las condiciones tectónicas que afectaron a los distintos materiales y que se comentan en el capítulo correspondiente configuran la historia geológica de la región. Los datos recogidos en la realización de una Hoja no son suficientes para definir su historia geológica, por lo que necesariamente hay que tener en cuenta las informaciones procedentes de las Hojas vecinas.

Los afloramientos jurásicos de la Hoja, pertenecientes al Lías, forman parte de la primera secuencia transgresiva del Jurásico. La tectónica y la regresión fini-jurásica impiden la deposición de las siguientes secuencias.

El Cretácico se inicia en un ambiente continental con un sistema de abanicos aluviales en un régimen trenzado a meandriforme, en una zona de relieve poco acusado, y están originados por

torrentes de poca pendiente. Los materiales depositados constituyen la Facies Utrillas.

A partir del Cenomaniense medio se desarrolla una extensa plataforma somera carbonatada, al mismo tiempo progresivamente los aportes terrígenos del continente. Se inicia un ciclo transgresivo en el que se conocen facies litorales con ostreidos y facies de llanura de marea que culminan, en el Turoniense, con facies submareales de plataforma interna. Hay procesos de dolomitización y costras ferruginosas con concentración de fauna que indican emersiones locales e interrupciones en la sedimentación.

A continuación se inicia un ciclo de tendencia con instalación de organismos constructores que colonizan la plataforma, dando lugar a verdaderos Biohermos. A partir de este momento (Coniense) la plataforma es somera y restringida, existiendo facies de *lagoon*, en ocasiones con tendencia lacustre.

Durante el Santoniense se desarrollan barras y canales continuando el ciclo regresivo con depósitos de *lagoon* restringido.

A finales del Cretácico se produce ya la retirada definitiva del mar. A partir de este momento la sedimentación tiene carácter continental.

Se inicia entonces un plegamiento y estructuración de toda la Cadena Ibérica con movimientos compresivos, sincrónicamente a la sedimentación molásico-continental del Terciario.

Una serie de plegamientos durante el Paleógeno condicionan la actividad erosiva y sedimentaria originando megasecuencias deposicionales (unidades tectosedimentarias) identificables en áreas próximas. Tales megasecuencias componen los materiales que se depositan en ambiente continental y en los que pueden reconocerse las distintas facies que constituyen los abanicos aluviales.

La distensión, que comienza en el Aragoniense, es la que estructura finalmente la cuenca que se colmata con facies de abanico aluvial, y lacustre.

Parece existir con carácter general una suave discordancia (impulso distensivo y/o cambio climático) en el Mioceno superior-Plioceno inferior que se manifiesta con la presencia de facies terrígenas de origen fluvial, que dan paso al conjunto carbonatado conocido como «Unidad Páramo I».

Sobre esta unidad, una pulsación preludio de la fase Iberomanchega (Aguirre *et al*; 1.976) ocasionará una reactivación y posterior sedimentación carbonática del nivel «Calizas del segundo Páramo.»

Finalmente la fase tectónica distensiva Iberomanchega I reactiva las fallas y crea las condiciones para la formación de los glaciares, terrazas, conos de deyección y demás depósitos cuaternarios.

## 5. GEOLOGÍA ECONÓMICA

### 5.1. MINERÍA Y CANTERAS

Para evaluar el potencial minero del área comprendida en esta Hoja se consultó inicialmente la documentación bibliográfica pertinente y ante la falta de datos mineros se comprobó a través de las visitas de campo la inexistencia de indicios y labores mineras de minerales metálicos y no metálicos.

El sector de las rocas industriales es el que reúne todas las expectativas mineras, y aunque falta tradición minera en la zona, las labores existentes son de materiales industriales. La mayor parte de ellas son labores de arranque, activas según imponga el mercado.

Las canteras reconocidas son las de rocas carbonatadas de la unidad de Dolomías en bancos (6), situadas en la Sierra de la Solana y en Los Corrales de las Pedrizas, identificadas con los números 1 y 2, respectivamente. También se identifican, repartidas por la Hoja, pequeñas labores de yacimientos granulares que por sus pequeñas dimensiones y por funcionar esporádicamente no se identifican en el plano.

Si se analizan los diversos tipos de rocas que hay en el ámbito de esta Hoja, susceptibles de emplearse industrialmente, se establecen los siguientes grupos de materiales.

- Carbonatados.
- Granulares.
- Arcillosos y silíceos.

#### **Materiales carbonatados**

Dentro de estos materiales se diferencian las rocas dolomíticas, las rocas calcáreas y los conjuntos de calizas y margas.

#### *Dolomías*

Se incluyen las unidades de Dolomías en bancos (6) y la de Dolomías tableadas (7).

Afloran fundamentalmente en el ángulo SO de la Hoja además de los pequeños retazos que se identifican en las proximidades de Villajoyas, en la Sierra de la Solana y en la Sierra de Coborrón, en los que los afloramientos son fundamentalmente de Dolomías en bancos (6).

La unidad de Dolomías en bancos la constituyen unos 200 m de paquetes métricos de dolomías duras, algo oquerosas y recristalizadas que dan resalte morfológico notable.

La unidad de dolomías tableadas (7) aflora en la zona de Riba de Escalote, Torrecillas, Los

Roblecillos y en la Sierra de Coborrón, diferenciándose de las dolomías anteriores morfológicamente por estar tableadas en capas de entre 20 y 50 cm y por presentar una alta recristalización.

Ambas unidades presentan suaves buzamientos y están fracturadas en volúmenes que generalmente facilitarían su explotación.

### *Calizas*

Se incluyen en este conjunto las siguientes unidades: Formación Calizas bioclásticas de Barahona (1); Calizas nodulosas y bioclásticas (5); Brecha calcárea cementada (8); Calizas del primer páramo (10) y las Calizas del segundo páramo (14).

Las dos primeras unidades se caracterizan por su carácter fragmentado, que hace que sean rocas de baja compactación y fácilmente triturables, por constituir agregados carbonatados de distinta, pero generalmente débil, compactación. Su potencia varía entre los 20 m de las Calizas bioclásticas de Barahona y los 200 m de las nodulosas y bioclásticas.

Las Brechas calcáreas cementadas afloran muy localmente y no tienen entidad como para ser explotadas.

Las calizas de los páramos (10) y (14) tienen una potencia entre 50 y 70 m. Presentan contenidos arcillosos, son oquerosas, con karstificación incipiente y aspecto masivo. Se disponen horizontalmente.

### *Calizas y margas*

Se incluye la Formación Alternancia de margas y calizas de Turmiel que, debido a sus escasos afloramientos, está mal representada en la Hoja, si bien en la Hoja meridional de Barahona (434) aflora más extensamente.

Son niveles margosos de entre 3 y 5 m de potencia que alternan con niveles carbonatados de menor espesor en capas centimétricas y cierto aspecto noduloso.

También se incluye la unidad de margas grises que con un espesor de entre 20-25 m intercala niveles carbonatados que se hacen más groseros hacia el techo.

### **Materiales granulares**

Dentro de este conjunto se incluye el mayor número de las unidades aflorantes en el ámbito de esta Hoja, como son: conglomerados calcáreos y arcillas (11); conglomerados mixtos (12); arcillas rojas y niveles conglomeráticos (13); glaciés (15); gravas y cantos de cuarcita y cuarzo (16); arcillas, arenas con gravas y cantos angulosos (17); arenas con cantos, gravas y arcillas (18); limos, arenas y gravas (19); limos y arenas con gravas y cantos dispersos (20); arenas, gravas y arcillas (21); y limos y arcillas grises con gravas (23).

Las dos primeras unidades tienen potencias entre los 60 y 100 m de espesor, se disponen horizontalmente y son conjuntos detríticos donde las arcillas y conglomerados son los elementos constitutivos.

La unidad de arcillas rojas con niveles conglomeráticos está formada por arcillas con niveles intercalados arenosos en la base que hacia el techo son carbonatados. Su espesor es de 25 a 30 m.

El resto de las unidades se diferencian por su génesis morfológica diferenciada y en general constituyen masas arcillo-limosas que engloban cantos o niveles de cantos cuarcíticos y carbonatados, y niveles arenosos.

### **Materiales arcillosos y silíceos**

Se incluyen la Formación Arenas de Utrillas (3) y la unidad de Arenas de Cuarzo (Dunas) (22).

Esta última unidad aflora en un área muy restringida, por lo que no parece presentar buenas expectativas para su utilización como material industrial.

La Formación de Arenas de Utrillas se explota tradicionalmente para su aplicación como caolín en las industrias cerámicas, papeleras, cementeras, metalúrgicas, petroquímicas y otras en función de las especificaciones que se requieran. En muchos casos los «subproductos», como pueden ser las arenas silíceas de esta unidad, reportan beneficios tan interesantes como puede representar el caolín, al aplicarlas en la industria del vidrio o como material para fundiciones.

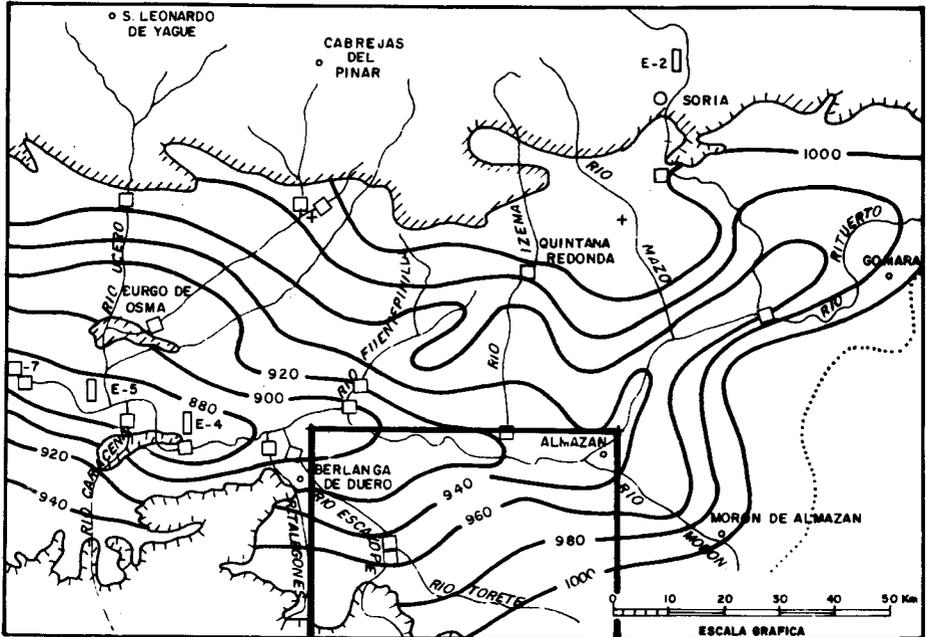
En esta Hoja, esta unidad tienen un espesor de unos 100 m y se caracteriza por incluir frecuentes niveles conglomeráticos.

## **5.2. HIDROGEOLOGÍA**

La Hoja pertenece en su totalidad a la cuenca hidrográfica del Duero, río que discurre de Este a Oeste por la parte Norte de la Hoja. Otros cauces superficiales de importancia son el río Escalote con su afluente el Torete, el río Izana, y el canal de Almazán. Este último deriva del río Duero en la Hoja de Gómara y abastece a los regadíos existentes en dicha Hoja y en las de Morón (407) y Almazán (406) (Figs. 5 y 6).

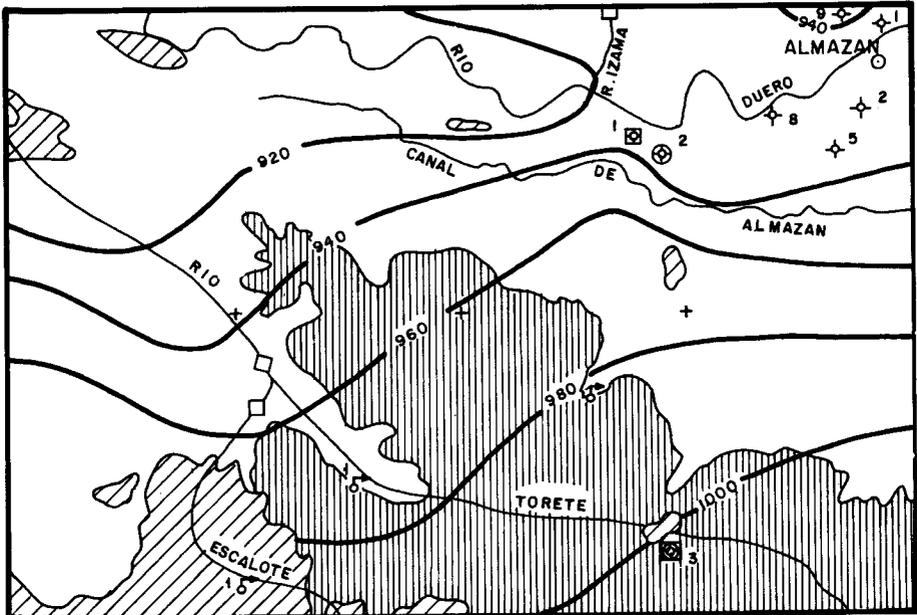
Desde el punto de vista hidrogeológico se pueden distinguir las formaciones acuíferas constituidas por los materiales calcáreos del Mesozoico, las formaciones detríticas del Terciario y las calizas de los páramos que se sitúan sobre las formaciones anteriores en la parte Sur de la Hoja.

Los materiales calcáreos de los últimos tramos del Cretácico constituyen formaciones acuíferas importantes por su permeabilidad secundaria favorecida por fenómenos de karstificación. El acuífero no está muy estudiado y su funcionamiento hidráulico está muy influido por la tectónica. Su drenaje se realiza a través de fracturas o bien en contacto con los materiales margosos inferiores, dando lugar a manantiales que en ocasiones tienen caudales importantes.



- |                       |   |               |  |
|-----------------------|---|---------------|--|
| — (thick wavy line)   | Límite de Cuenca Terciaria de Almazán                   | □ (square)    | Punto de aforo (Red foronómica I.T.G.E.) |
| — (thin wavy line)    | Línea isopieza en ocuifero terciario (Cota en m.s.n.m.) | ▭ (rectangle) | Punto de aforo (Red foronómica MOPU)     |
| ..... (dotted line)   | División Hidrográfica                                   | + (plus sign) | Límite de Hojas 1:50.000                 |
| — (line with V-shape) | Rio   |               |  |

Fig - 5 Esquema Hidrogeológico General



ESCALA 1 : 200.000

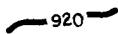
**LEYENDA**



Páramo calcáreo



Materiales Mesozoicos



Línea isopieza en acuífero terciario (m.s.n.m.)



Principales sondeos inventariados (con última cifra significativa del n° de registro)



Manantiales



Punto de Aforo (Red foronómica del I.T.G.E.)



Punto de la red de control piezométrico



Punto de la red de vigilancia de calidad



División de la hoja por octantes

Fig.-6 Esquema Hidrogeológico

Los materiales del Jurásico inferior constituyen igualmente una formación acuífera muy interesante, aunque, de momento, tampoco se conocen sus características hidráulicas.

Tanto los afloramientos del Suroeste, como los que aparecen diseminados por la Hoja, se encuentran en contacto con los materiales terciarios, con los que están relacionados hidráulicamente. Se desconoce el grado de dicha conexión hidráulica, que lógicamente depende de la naturaleza y permeabilidad de los materiales en contacto.

Los materiales detríticos del Terciario forman parte de una unidad hidrogeológica más extensa que, de acuerdo con el ITGE, se denomina Sistema número 88 «Terciario de la Cubeta de Almazán». El acuífero detrítico está constituido por las formaciones permeables de arenas, areniscas y conglomerados englobados en una matriz arcillosa y arcillo-arenosa de naturaleza semi-permeable. El conjunto de materiales que rellenan la cubeta se considera, a nivel regional, como un acuífero único heterogéneo y anisótropo, que se encuentra relacionado hidráulicamente con los materiales mesozoicos de los bordes y del zócalo de la cubeta. Sus características hidrogeológicas son muy variables según zonas (como ya se ha indicado en las Hojas de Gómara, 379, y Morón de Almazán, 407) y depende de la proporción y clasificación de los materiales permeables.

En la Hoja de Almazán predominan los materiales arcillosos y los sondeos inventariados presentan características más bien modestas. Con profundidades que oscilan de los 35 a 112 m, se obtienen caudales comprendidos entre los 0,3 y 10 l/s, siendo el valor más normal de 2 a 3 l/s. Las líneas isopiezas indican un flujo subterráneo de componente S-N y E-O, constituyendo el río Duero la principal vía de drenaje.

Las calizas terciarias que se extienden desde la zona central hasta el Sureste de la Hoja, forman el Páramo calcáreo de Rello. Dichas calizas constituyen un acuífero libre y aislado, ya que la conexión con el Terciario detrítico subyacente, aunque se desconoce, no debe ser importante dada la poca permeabilidad de este último. El acuífero calizo es drenado por manantiales de borde de no mucho caudal, que además sufren variaciones estacionales importantes debido a que la escasa superficie y espesor del acuífero limitan su capacidad de almacenamiento.

Las características hidráulicas son superiores a las del Terciario detrítico, existiendo sondeos que dan caudales de 7 a 11 l/s.

La explotación de las aguas subterráneas en la Hoja es escasa. Las características de los acuíferos terciarios no permiten la obtención de caudales importantes ni una concentración geográfica de las extracciones. Los escasos sondeos se utilizan para el abastecimiento de pequeños núcleos de población, explotaciones ganaderas y regadíos familiares. Los sondeos situados entre el canal de Almazán y el río Duero, así como los pozos de pequeña profundidad existentes en el aluvial del río, se utilizan para el regadío de pequeñas parcelas en las épocas en que debido al estiaje los caudales del río y del canal no son suficientes. En esa zona en ocasiones existen condiciones de surgencia.

Tanto las aguas de los acuíferos terciarios detríticos y calcáreos como las del mesozoico son de excelente calidad para abastecimiento y regadío. En los datos de análisis existentes, obtenidos

bien en la red de vigilancia de calidad del ITGE, con controles semestrales, como en otros análisis aislados, se observa que las aguas tienen un bajo contenido en sales con conductividades que raramente superan los 500 micro S/cm.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- AGUIRRE, E.; DÍAZ MOLINA, M. y PÉREZ-GONZÁLEZ, A. (1.976): «Datos paleomastológicos y fases tectónicas en el Neógeno de la Meseta Sur española». *Trab. Neóg. Cuaternario*, 5, págs. 7-29.
- ALONSO, A. (1.981): «El Cretácico de la provincia de Segovia (Borde Norte del Sistema Central)». *Seminarios de Estratigrafía, Series Monográficas*, núm. 7, 271 págs.
- ÁLVARO, M. (1.975): «Estilolitos tectónicos y fases de plegamiento en el área de Sigüenza (borde del Sistema Central y la Cordillera Ibérica)». *Estudios Geol.*, 31(3-4), págs. 241-247.
- ARENAS ABAD, C. *et al.* (1.987): «Memoria explicativa del sector de Alhama de Aragón (provincia de Zaragoza)». *Excma. Diputación Provincial de Zaragoza*, págs. 1-135 (en prensa).
- ARMENTEROS ARMENTEROS, I. (1.984): «Estratigrafía y sedimentología del Neógeno del sector suroccidental de la Depresión del Duero (Aranda de Duero-Peñañiel)». *Tesis doctoral. Universidad de Salamanca*.
- CAPOTE, R.; DÍAZ, M.; GABALDÓN, V.; GÓMEZ, J. J.; SÁNCHEZ DE LA TORRE, L.; RUIZ, P.; ROSELL, J.; SOPEÑA, A.; YÉBENES, A. (1.982): «Evolución Sedimentológica y tectónica del Ciclo Alpino en el tercio noroccidental de la Rama Castilla de la Cordillera Ibérica.» *Temas Geológico-Mineros*, IGME, Madrid, 290 págs.
- ETCHECOPAR, A.; VASSEUR, G.; DAIGNIERES, M. (1.981): «An inverse problem in microtectonics for the determination of stress tensors from fault population analysis». *J. Struct. Geol.*, 3(1), págs. 51-65.
- FLOQUET, M.; ALONSO, A. y MELÉNDEZ, A. (1.982): «Camereros-Castilla. El Cretácico superior». In: *El Cretácico de España*, págs. 387-453, Ed. *Universidad Complutense, Madrid*.
- GARCÍA DEL CURA, M. A. (1.974): «Estudio sedimentológico de los materiales terciarios de la zona centro-oriental de la cuenca del Duero (Aranda de Duero)». *Estudios Geológicos*, 30, págs. 579-597.
- GOY, A.; GÓMEZ, J. J. y YÉBENES, A. (1.976): «El Jurásico de la Rama castellana de la Cordillera Ibérica (Mitad N): I. Unidades litoestratigráficas». *Estudios Geológicos* 32, págs. 391-423.
- IGME (1.971): «Mapa de síntesis a escala 1:200.000». Hoja número 31: Soria.
- LÓPEZ MARTÍNEZ, N.; SESE BENITO, C. y SANZ GARCÍA, J. L. (1.977): «La microfauna (Rodentia, insectivora, lagomorpha y reptilia) de las fisuras del Mioceno medio de Escobosa de Calatañazor (Soria, España)». *Trabajos N/Q*, 8, págs. 47-73.
- MOLINA, E. y ARMENTEROS ARMENTEROS, I. (1.986): «Los arrasamientos Plioceno y Plio-Pleistoceno en el sector suroccidental de la cuenca del Duero». *Studia Geológica Salmanticensis*, XXII, págs. 243-307.
- PAPADAKIS, J. (1.961): «Climatic tables for the world». *Buenos Aires*.

- PAPADAKIS, J. (1.966): «Climates of the world and their agricultural potentialities». *Editado por el autor*. Av. de Córdoba 4564. Buenos Aires.
- SIMÓN GÓMEZ, J. L. (1.986): «Analysis of a gradual change in stress regime (example from the eastern Iberian Chain, Spain)». *Tectonophysics*, 124, págs. 37-53.
- SIMÓN GÓMEZ, J. L. (1.988): «Late Cenozoic stress field and fracturing in the Iberian Chain and Ebro Basin (Spain)». *J. Struct. Geol.*, 11(3), págs. 285-294.
- SOLE SABARIS, L. (1.978): «La Meseta». En: De Terán, M. (ed). *Geografía de España Ariel*. Madrid, págs. 42-62.