

LA RIOJA: GEOLOGÍA Y PAISAJE*.

ANTONIO M. CASAS SAINZ'
ANDRÉS GIL IMAZ'
ARSENIO MUÑOZ JIMÉNEZ'

RESUMEN

En el presente artículo se establece una relación entre el modelado existente en las tres principales unidades geológicas de La Rioja (Sierra de la Demanda, Sierra de Cameros y Surco Riojano) con los tipos de roca aflorantes en cada zona, y su estructura (estratos subhorizontales, zonas con pliegues y cabalgamientos). Además, el relieve está en relación con la evolución geológica reciente del área, caracterizada por la colmatación de la Cuenca del Ebro durante el Mioceno superior y el posterior paso de régimen endorreico a exorreico, que trajo consigo la erosión de los materiales, más acentuada en el caso del surco terciario.

In the present paper we analyse the influence of lithology (detrital rocks, limestones, and evaporites) and geological structure (subhorizontal strata, folded beds and thrust systems) in landscape morphology in the three main geological units cropping out in La Rioja: Sierra de la Demanda, Cameros Massif and the Rioja Trough. Moreover, landscape development is closely related to the recent geological evolution of the whole area, characterised by the complete filling of the Ebro Basin during the Late Miocene, and the transition from an internally-drained basin regime to external drainage, that brought about the erosion of rocks, especially in the Rioja Trough.

0. INTRODUCCIÓN

El relieve de una región está condicionado fundamentalmente por la geología y por el clima. Dentro del primer factor se incluyen elementos como los tipos de roca dominantes (litología), historia geológica, la evolución reciente del área, su posición con respecto a los márgenes de placa o principales estructuras geológicas, etc. El clima, en el que se incluyen la distribución y cantidad de precipitaciones, la temperatura media y oscilación térmica a lo largo del año es el otro factor funda-

*. Registrado el 24 de octubre de 2002. Aprobado el 16 de enero de 2003.

1. Departamento de Ciencias de la Tierra. Facultad de Ciencias. Universidad de Zaragoza. 50009 Zaragoza

mental a la hora de establecer el relieve de una zona. Por otra parte, no hay que perder de vista que existe una fuerte interacción entre los dos factores descritos: el clima, tanto a escala planetaria como a escala de placa está fuertemente influido por la evolución geológica, a través de factores que incluyen la distribución de masas continentales, con la apertura o cierre de corrientes ecuatoriales, la superficie de las masas continentales, la creación de orógenos en los bordes de los continentes, que crean zonas de asimetría de lluvias por efecto foehn, y la posición de las placas en cada momento, que determina la latitud a la cuál se situará una determinada zona a lo largo de la historia geológica, y por tanto, en qué tipo de modelado se incluirá de los correspondientes a las distintas zonas climáticas.

La Rioja, situada en el interior de la Península Ibérica, presenta una gran diversidad de paisajes en virtud de las características climáticas cambiantes, de norte a sur y de oeste a este, y de los variados tipos litológicos existentes en la misma, así como las estructuras geológicas en torno a las cuales se disponen. En el presente artículo se describe la relación entre el sustrato geológico y el paisaje en La Rioja. No se pretende hacer una descripción exhaustiva de todos los tipos de modelado existente sino seleccionar los relieves más típicos asociados a los condicionantes, ya descritos, de litología, estructura, evolución reciente del relieve, y clima. Para ello comenzaremos presentando una breve introducción sobre las tres grandes unidades geológicas que aparecen en la Comunidad: la Sierra de la Demanda, la Sierra de Cameros, y el Surco Riojano.

1. BREVE RESUMEN DE LA GEOLOGÍA DE LA RIOJA

Existen dos grandes etapas en la historia geológica de la Península Ibérica, que permiten trazar una divisoria neta en el tiempo geológico: durante el Paleozoico, desde el Cámbrico hasta el Pérmico inferior en la zona que hoy ocupa la península tuvo lugar el depósito de grandes series sedimentarias (hasta 11.000 metros de espesor), probablemente ligadas a zonas de margen de placa en un régimen extensional. A partir del Devónico superior, y sobre todo del Carbonífero, todos estos materiales, y parte de las cortezas profundas del océano y del continente, pasaron a formar el orógeno hercínico, cuyo análogo actual es la cordillera del Himalaya, y que se extendía desde los Apalaches hasta los Urales ocupando prácticamente todo lo que hoy es la Europa Central y Meridional. Como consecuencia de la formación del orógeno se produjo la intrusión de numerosos macizos graníticos (Galicia, Sistema Central, Bretaña, Alpes, Macizo Central francés) en la parte central del mismo, y hacia los márgenes los sedimentos depositados en plataformas y cuencas sedimentarias se plegaron o formaron sistemas de cabalgamientos. En la Península Ibérica se distinguen, entre otras, dos grandes zonas del orógeno hercínico dominadas por pliegues y cabalgamientos: la Zona Asturoccidental-Leonesa y la Zona Cantábrica, ambas correspondientes a los sectores más externos del orógeno. La zona Asturoccidental-Leonesa se extiende desde la parte oriental de Galicia hasta los Picos de Europa y por el sur y este hasta la Sierra de la Demanda y los dos macizos paleozoicos de la Cordillera Ibérica. En todo este sector aparece una potente serie (cerca de los 11.000 metros de espesor conjunto) de materiales paleozoicos, fundamentalmente areniscas y arcillas, estructurados en pliegues tumbados de gran amplitud con esquistosidad de plano axial. Las direcciones de los pliegues principales en esta zona varían desde la N-S en Asturias hasta Este-Oeste en la Sierra de la Demanda y NO-SE en la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica (Liesa y Casas, 1995; Casas et al., 2000). La orogenia hercínica, responsable de la

formación de estos pliegues, terminó en torno al Carbonífero superior, de modo que hacia el final del proceso orogénico tuvo lugar la formación de grandes fallas direccionales (fracturación tardihercínica, Arthaud y Matte, 1975), con dos direcciones preferentes: NO-SE y NE-SW. A favor de estas fallas se produjo la intrusión, durante el Carbonífero superior y Pérmico, de diques y distintos tipos de mineralizaciones.

El Pérmico y comienzo del Mesozoico trajo consigo el arrasamiento de los relieves formados durante los procesos hercínicos, y la sedimentación en las denominadas cuencas Ibéricas (Salas y Casas, 1993), de las cuales la más importante es la cuenca de Cameros. La sedimentación durante el Triásico comenzó con areniscas rojas (facies Buntsandstein) para pasar después a dolomías arenosas (facies Muschelkalk) y finalmente yesos y margas (facies Keuper). La sedimentación de esta última unidad triásica tuvo gran importancia en la evolución posterior del área, ya que estos materiales evaporíticos funcionaron como nivel de despegue en la extensión mesozoica y la compresión durante el Terciario. Durante el Jurásico las plataformas marinas invaden todo el surco Ibérico, con sedimentación predominantemente carbonatada. En el Cretácico comienza la sedimentación más importante de la cuenca de Cameros, ya que llegaron a acumularse 8.000 metros de sedimentos en el centro de la cuenca sedimentaria extensional. Este relleno sedimentario se divide en unidades litoestratigráficas, que son los Grupos de Tera, Oncala, Urbión, Enciso y Oliván (Tischer, 1966). La sedimentación de estas unidades se produjo en ambientes fluviales y lacustres, con escasa influencia marina. Los grupos de Tera, Urbión y Oliván son predominantemente fluviales (formados por secuencias rítmicas de areniscas y arcillas), mientras que los grupos de Oncala y Enciso son fundamentalmente lacustres, con sedimentación de calizas de distinto tipo. El final de la sedimentación cretácica está representada por las Arenas de Utrillas y calizas marinas, del Cretácico superior. Entre la sedimentación del Grupo de Oliván y las Arenas de Utrillas se produjo un calentamiento a escala de la cuenca que a su vez originó la formación de minerales metamórficos de grado bajo (cloritoide) en las partes más profundas de la misma que pueden observarse hoy en día en superficie (y que no eran las partes más profundas de la cuenca en términos absolutos).

Entre finales del Cretácico superior y finales del Eoceno hubo una etapa de tranquilidad tectónica que se rompió en el Eoceno superior, con el comienzo de la inversión tectónica de la cuenca extensional mesozoica y la formación de cabalgamientos, que afectan tanto al paleozoico de la Sierra de la Demanda como a los materiales mesozoicos de la Sierra de Cameros. Estos cabalgamientos, del cual el principal es el cabalgamiento de Cameros, dieron lugar al levantamiento de la antigua cuenca sedimentaria, que funcionó a partir de entonces como área fuente de sedimentos terciarios que se sedimentaron al norte de la misma (Surco Riojano), y en menor medida al sur (Cuenca de Almazán). La actividad tectónica compresiva se extiende hasta el Mioceno superior, momento en que se produce la colmatación de las cuencas sedimentarias. El paso del régimen endorreico a régimen exorreico en la cuenca del Ebro, debido a la apertura del margen oriental de la misma, trajo consigo la erosión del conjunto, más rápida y eficaz en los materiales blandos del surco riojano frente a los más resistentes de las Sierras de Cameros y Demanda.

2. TIPOS DE ROCA Y PAISAJES ASOCIADOS

A continuación se analizan los distintos tipos de paisaje existentes en las tres unidades geológicas existentes en La Rioja (Sierra de la Demanda, Sierra de

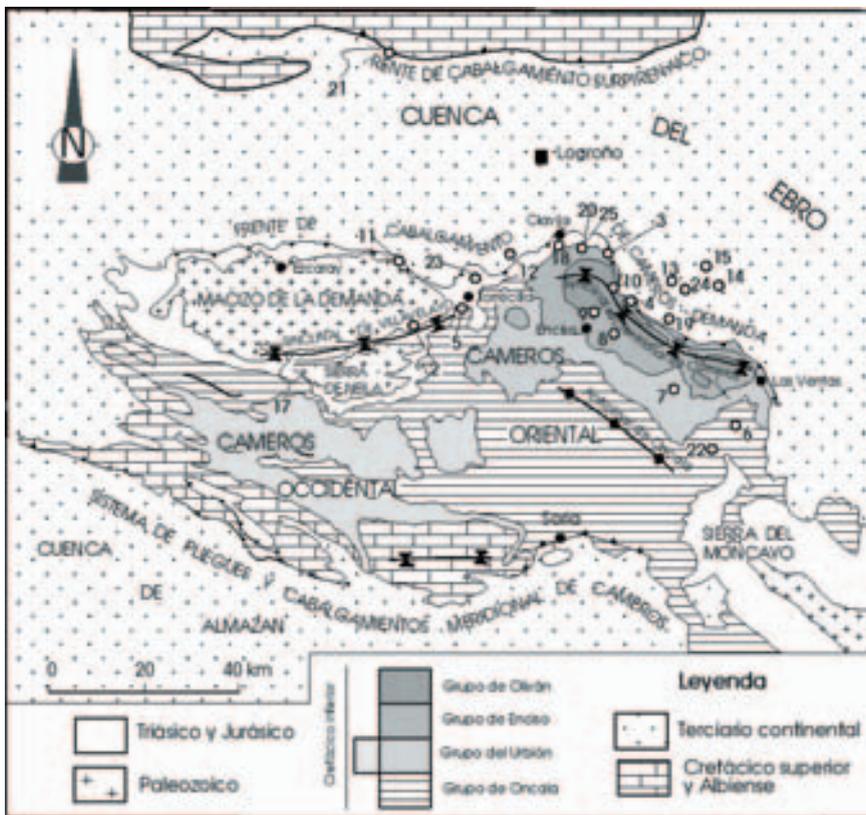


Fig. 1. Mapa geológico resumen de la Rioja con la localización de las figuras.

Cameros y Surco Riojano), en función de los tipos de roca existentes en cada zona (ver figura 1). En cualquier caso hay que tener presente que el clima también es un condicionante del relieve y que una misma litología puede dar lugar a distintos modelados en función del clima. Teniendo en cuenta que en La Rioja existe un fuerte gradiente de precipitaciones de oeste a este, más pronunciado en la Sierra que en el llano, el modelado del relieve varía considerablemente y se suma a las diferencias debidas a litología y estructura.

2.1 El Paleozoico: pizarras y cuarcitas

Las rocas paleozoicas, como se ha comentado en el apartado 1, son fundamentalmente areniscas y lutitas. Las lutitas se encuentran litificadas y compactadas (los británicos utilizan el término *shale* para este tipo de roca), pero no son auténticas pizarras, ya que no se alcanzó el grado metamórfico necesario para formarlas. La principal estructura hercínica existente en la Sierra de la Demanda es el sinclinal del Najerilla, de dirección Este-Oeste y situado al sur del pico San Lorenzo. Los relieves paleozoicos son particularmente diferentes de los existentes en rocas me-

sozoicas y terciarias, debido fundamentalmente a la homogeneidad litológica, ya que prácticamente toda la serie Cambro-ordovícica está formada por alternancias de areniscas y lutitas en estratos de espesor relativamente homogéneo (Fig. 2). Este condicionante, así como la existencia de una fábrica planar o esquistosidad asociada a los pliegues, da lugar a que los relieves paleozoicos sean relativamente redondeados, sin cañones, desfiladeros y barrancos como ocurre en las rocas mesozoicas.

En tratados de geología antiguos se interpreta que los relieves redondeados de los materiales paleozoicos tienen su causa en que son “montañas viejas”, es decir formadas durante las etapas hercínicas, mientras que las formas más abruptas de las rocas mesozoicas y terciarias se deben a que son “montañas nuevas” formadas en ciclos orogénicos más recientes. Sin embargo, analizando la evolución geológica se comprueba la incorrección de esta afirmación: los materiales paleozoicos fueron deformados durante la orogenia hercínica, dando lugar, en el Carbonífero a una cordillera. Pero esta cordillera fue completamente erosionada antes de la sedimentación del Triásico, es decir reducida al estado de penillanura, sobre la cual se comenzaron a formar las cuencas mesozoicas y a sedimentar nuevos materiales. Esto significa que todos los relieves existentes actualmente en rocas paleozoicas (en el caso que nos ocupa, en la Sierra de la Demanda) se formaron en períodos geoló-



Fig. 2. Vista panorámica de la Sierra de la Demanda desde el Alto de Montenegro. (curso alto del Río Najerilla). Los relieves escarpados en primer término corresponden a calizas jurásicas.

gicos posteriores, durante el Terciario y Cuaternario, es decir, al mismo tiempo que los relieves en las rocas mesozoicas caracterizados como “montañas jóvenes”. Las diferencias entre los relieves en rocas paleozoicas y mesozoicas se deben exclusivamente a condiciones litológicas y, como se ha dicho anteriormente, probablemente de fábrica. Las hipótesis que asignan a la Sierra de la Demanda un papel de macizo levantado y sin sedimentación durante todo o gran parte del Mesozoico son fácilmente desmentidas a partir de la observación: gran parte de la Sierra se encuentra cubierta por una delgada cobertera mesozoica cuya envolvente puede reconstruirse desde el borde norte hasta el sinclinal de Villavelayo.

2.2 Los yesos del Triásico

Las evaporitas son las rocas depositadas por precipitación química por saturación del agua de mares o lagos. En el caso del Triásico las facies evaporíticas (facies Keuper) están asociadas a sedimentación en zonas próximas a la costa, sin contacto directo con mar abierto. Los yesos Triásicos constituyen el principal nivel de despegue entre las rocas paleozoicas y del Triásico inferior-medio y las rocas de la cobertera mesozoica (Jurásico-Cretácicas) y Terciarias, no sólo en la Cordillera Ibérica, sino también en otras cadenas alpinas como los Pirineos o el Jura. En la tectónica de la Sierra de Cameros el Triásico presenta la particularidad de haber funcionado como nivel de despegue también durante el Mesozoico periodo de formación de la cuenca extensional de Cameros, haciendo que la serie Jurásica formara numerosas fallas de pequeña entidad en vez de reproducir directamente la geometría de la falla en el zócalo paleozoico (Casas-Sainz y Gil-Imaz, 1994; Casas-Sainz y Gil-Imaz, 1998).

El hecho de haber funcionado como nivel de despegue posteriormente, durante la compresión terciaria y la formación del cabalgamiento de Cameros, hace que el Triásico superior aflore especialmente en la base del bloque superior de dicho cabalgamiento. La existencia de grandes afloramientos en el valle del Iregua (Viguera-Nalda) y entre el Leza y Jubera hace pensar también en un cierto comportamiento diapírico probablemente previo a la formación de los grandes cabalgamientos. Otros afloramientos, considerablemente menores, de yesos Triásicos, aparecen en los valles del Cidacos y del Alhama. En el entorno de la Sierra de la Demanda en su contacto con los materiales de la cuenca de Cameros, los afloramientos son escasos y su comportamiento como nivel de despegue improbable.

El paisaje asociado a los yesos triásicos es muy particular, ya que la denudación de los mismos se produce en muchos casos por disolución en superficie, dando lugar a regueros y lapiares, o subaérea, que tiene como consecuencia la formación de dolinas o depresiones cerradas. La colonización por parte de la vegetación en general difícil, debido a la propia composición de la roca (sulfato cálcico), por lo que una vez perdida la cobertera vegetal los suelos sobre yesos no suelen regenerarse, al menos en la Rioja (Fig. 3).

2.3 Jurásico marino

Las calizas del Jurásico forman uno de los casos más característicos en que el paisaje está condicionado por la litología, especialmente porque se sitúan sobre los



Fig. 3. Yesos y lutitas rojas y dolomías negras del Triásico inferior. Lagunilla de Jubera.



Fig. 4. Fotografía aérea del contacto entre rocas del Cretácico inferior (al sur) cubierto por vegetación, en tono gris oscuro, y de rocas jurásicas desprovistas de vegetación, en tono claro. Inmediaciones de Préjano. El Cretácico inferior corresponde al Grupo Oliván.

yesos del Triásico, relativamente fáciles de erosionar, y que por tanto, dan relieves bajos. Los materiales situados estratigráficamente por encima de las calizas jurásicas suelen dar relieves menos contrastados, lo que dota de una cierta personalidad a todas las zonas donde aparece rocas jurásicas, que en las Sierras de Cameros-Demanda están limitadas al borde norte de las mismas, próximas a su contacto con el Surco Riojano (Fig. 4). Dentro de la serie jurásica aparecen distintas unidades, al-

gunas consistentes en alternancia de calizas y margas (Toarciense, Bajociense, Calloviense), otras calizas bien estratificadas (Hettangiense-Sinemuriense), y finalmente, las que dan lugar a los relieves más espectaculares, calizas masivas o en estratos de varias decenas de metros de espesor (Bathonniense, y parcialmente el Oxfordiense). En la base de la serie Jurásica aparecen las carniolas de Cortes de Tajuña que son relativamente poco potentes en la Rioja, y sólo localmente dan relieves contrastados.

Los paisajes más característicos de rocas jurásicas aparecen en los valles centrales y orientales (Iregua, Leza, Jubera y Cidacos), con modelados en paredes verticales desarrolladas sobre las calizas del Bathoniense y del Oxfordiense (Fig. 5). Relieves típicos formados por estas calizas son las crestas de Peña Isasa y Peñalmonte, en el valle del Cidacos, los cortados del río Iregua a la altura de Torrecilla en Cameros, el comienzo del desfiladero del valle del Leza (donde el afloramiento de Jurásico ha desaparecido prácticamente y se encuentra fuertemente degradado por las actividades extractivas de una cantera), y en el cortado del río Jubera que enlaza con Peña Tejero. Un caso espectacular, pero difícil de observar debido a la existencia de otra cantera, es el de un salto de agua vertical en las calizas bathonienses, debido a la existencia de un valle “colgado” con origen de erosión fluvial, en el valle del Iregua (zona de Viguera).



Fig. 5. Contacto entre areniscas del Cretácico inferior (izquierda) y calizas jurásicas (derecha). Desfiladero del río Iregua, cerca de Torrecilla en Cameros.

2.4 Cretácico inferior

La mayor parte de la Sierra de Cameros está constituida por rocas de edad Cretácica, formadas durante el relleno de la Cuenca de Cameros (Fig. 1). Esta fue probablemente la cuenca extensional más importante formada en el interior de la placa Ibérica durante todo el Mesozoico. Su contorno estaba delimitado por fallas normales mayores situadas a lo largo de su borde norte, con direcciones E-O a NO-SE, es decir, aproximadamente paralelas a los actuales límites del macizo de Cameros. De las cinco unidades estratigráficas en que se divide la secuencia sedimentada durante la etapa extensiva (Tera, Oncala, Urbión, Enciso y Oliván), en La Rioja afloran de forma apreciable únicamente las cuatro últimas, de las cuales trataremos a continuación.

2.4.1. Grupo de Oncala

Los mayores afloramientos del Grupo de Oncala se sitúan en la provincia de Soria, al sur del desfiladero que el río Cidacos ha excavado en las areniscas y lutitas del Grupo del Urbión, en lo que constituye el flanco sur del sinclinal de Cameros (ver figura 1). Sin embargo, en el flanco norte de este sinclinal también aparecen algunos afloramientos importantes, que constituyen paisajes tan destacados como el desfiladero del río Leza o el del Barranco de San Martín. En estos dos desfiladeros ha tenido lugar erosión lineal y los fondos de valle están fuertemente encajados en estratos calcáreos plegados en dirección perpendicular al curso del río. La litología responsable de este tipo de modelado son las calizas lacustres del Grupo de Oncala, que presentan estructuras algales de tipo oncolítico, y cuya competencia y estratificación relativamente espaciada hacen que su resistencia sea mayor que la de otras rocas cretácicas. Por tanto, los relieves son también más contrastados, como ocurre en toda el área de Zenzano-Soto de Cameros-Trevijano.

También en el valle del Alhama en torno a Aguilar del río Alhama e Inestrillas aparecen afloramientos del Grupo de Oncala con variaciones en la litología de los materiales que lo componen, lo que da lugar a zonas de fuerte relieve (calizas) sobre áreas deprimidas con relieves más redondeados (lutitas, y en algunos casos, yesos, ver figura 6). En esta zona la estructura geológica, determinada por pliegues de gran amplitud como el anticlinal del Pégado y en sinclinal de Valdeprado, hace que en buena parte el relieve esté condicionado por la estructura, como comentaremos más adelante.

2.4.2. Grupo del Urbión

Los afloramientos del Grupo del Urbión forman las zonas más elevadas del relieve de la Rioja, alcanzando más de 2.200 metros de altitud en el pico Urbión, y superando los 2.000 metros en la alineación de dirección aproximada Este-Oeste que va desde la Sierra de Urbión hasta el Hayedo de Santiago. Los estratos que conforman el Grupo del Urbión son generalmente areniscas y conglomerados con alto contenido en cuarzo, tanto en clastos como matriz y cemento, lo que hace que las rocas presenten una alta resistencia a la erosión, formando las mayores alturas de la Sierra (Fig. 7). Los ríos Cidacos y Mayor (afluente del Alhama que pasa por San Pedro Manrique) atraviesan la serie del Grupo del Urbión en su zona oriental



Fig. 6. Paisaje acarcavado desarrollado sobre lutitas y yesos del Grupo de Oncala. Valle del Río Alhama, sector de Aguilar-Inestrillas.



Fig. 7. Vista panorámica del flanco Norte del sinclinal de Buimancos (Sierra de Alcarama) afectando a estratos de areniscas y limolitas del Grupo del Urbión.

(con 2.500 metros de espesor y buzamientos más o menos homogéneos en torno a los 30°N), dando lugar a desfiladeros de laderas con fuertes pendientes pero no verticales como en el caso de las calizas del Jurásico y del Grupo de Oncala, donde pueden apreciarse las características sedimentológicas de las secuencias fluviales.

2.4.3. Grupo de Enciso. El elemento antrópico

El Grupo de Enciso es una unidad litológica de origen fundamentalmente lacustre, con cierta influencia marina, formada por limolitas, con mayor o menor contenido en carbonato, y calizas. Aflora en todo el flanco sur del sinclinal de Cameros, y con mucha menor extensión en el flanco norte (Figs. 1 y 8).

El Grupo de Enciso proporciona uno de los ejemplos más espectaculares de relación entre geología y acción humana. Ello se debe a los métodos de cultivo empleados durante los últimos siglos en todo el sector oriental de las sierras riojanas, consistentes en la construcción de aterrazamientos mediante muros de piedra que permitían la existencia de pequeños espacios horizontales que preservaban el suelo de los procesos erosivos y permitían el cultivo de cereal. Desde hace 50 años, con el abandono de la sierra los muros de piedra se encuentran en proceso de degradación y la erosión va haciendo retroceder los escarpes de las terrazas. El Grupo de Enciso, en general constituido por calizas, margas y limolitas, presenta alternancias de materiales con mayor y menor resistencia a la erosión. Los estratos más competentes como las calizas dan resaltes resistentes a la erosión, mientras que los más blandos situados entre ellos permitían la excavación y relleno de las terrazas de cultivo (Fig. 9). De esta forma las alternancias litológicas están marcadas también por una diferencia de uso del suelo, que se mantiene hasta nuestros días.

2.4.4. Grupo de Oliván: las montañas de terciopelo

El Grupo de Oliván, que ocupa la parte central de la Sierra de Cameros, entre los valles del Leza, Jubera y Cidacos, presenta un tipo de relieve y vegetación particular, que le dan un aspecto inconfundible tanto en el campo (Fig. 10) como sobre la fotografía aérea (ver figura 4). Su composición litológica es de areniscas y lutitas, de origen fluvial, con una potencia conservada de más de 1.600 m (Guiraud, 1984; Guiraud y Séguret, 1987). La erosión ha producido sobre estos materiales relieves redondeados y formas suaves, que solamente se acentúan en caso de que los barrancos incidan paralelamente a la dirección de las capas. La presencia de una cobertura vegetal de escasa altura, formada principalmente por jaras y rebollos o quejigos, produce la impresión de estar cubierta por una extensa pelusa, que únicamente desaparece en aquellas zonas en que la degradación del suelo impide el asentamiento de vegetación. El hecho de que los afloramientos del Grupo Oliván se sitúen en cotas más altas que los del Grupo Enciso, así como el condicionante litológico de una alternancia más fina, han contribuido a que las terrazas de cultivo existentes sobre aquel sean prácticamente inexistentes en el Grupo de Oliván. La visión aérea más espectacular del Grupo de Oliván, donde puede apreciarse su espesor es la del flanco sur del sinclinal de Cameros donde puede distinguirse, gracias a las alternancias típicas de las secuencias fluviales, prácticamente a escala de capa la sucesión sedimentaria.

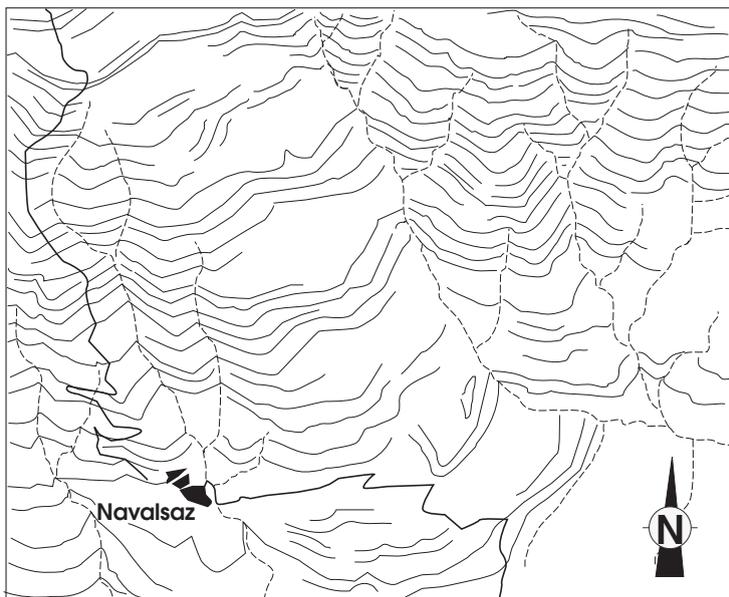


Fig. 8. A) Fotografía aérea de la parte superior del Grupo de Enciso en las proximidades de Navalsaz. B) Esquema fotogeológico. Los trazos discontinuos corresponden a la red fluvial. Cada línea continua corresponde a una capa.

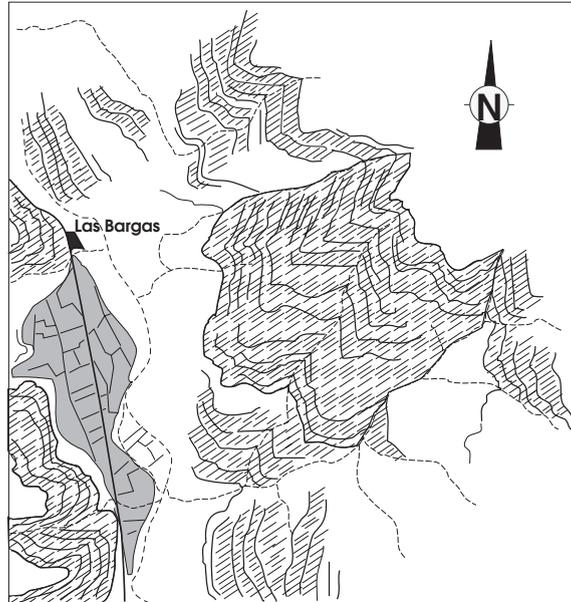


Fig. 9. A) Aspecto fotogeológico del Grupo de Enciso en las proximidades de Las Bargas (Valle del Cidacos). B) Esquema fotogeológico donde se muestra el aterrazamiento con fines agrícolas relacionado con la alternancia de capas de distinta dureza (calizas y margas). Las zonas rayadas corresponden a campos de cultivo sobre capas de marga. Los trazos negros son capas de calizas que constituyen límites naturales entre campos.



Fig. 10. Vista panorámica del Grupo de Oliván en las inmediaciones de Antoñanzas (al Oeste de Arnedillo).



Fig. 11. Los “mallos” de Matute. En segundo plano las calizas jurásicas plegadas de cerro Peñalba.

2.5. El Surco Riojano: arcillas, areniscas y conglomerados

El Surco Riojano es la unidad compuesta por rocas más modernas, de las tres que afloran en La Rioja. Se sitúa en el extremo occidental de la Cuenca del Ebro, con la cual existe continuidad física y de facies, especialmente para los sedimentos más modernos. Se caracteriza por ser una cuenca de antepaís simétrica (Fig. 1), limitada por el cabalgamiento sur-pirenaico al norte, y el cabalgamiento de Cameros, al sur (Muñoz-Jiménez y Casas-Sainz, 1998). El Surco Riojano se formó durante el Terciario como consecuencia del levantamiento de las Sierras de Cameros y Demanda, a favor del cabalgamiento más importante de la Cordillera Ibérica, con más de 100 km de continuidad lateral, un máximo de desplazamiento horizontal de 30 km hacia el norte y un salto en la vertical que supera en algunos casos los 4 km. El proceso de formación del surco Riojano comienza durante el Eoceno, cuando comienzan a levantarse tanto el borde meridional pirenaico, y termina hacia el Mioceno superior, con los últimos movimientos de los cabalgamientos de Cameros y de la Sierra de Cantabria (Muñoz Jiménez, 1992).

Los paisajes del Surco Riojano son evidentemente distintos a todos los descritos hasta el momento para las Sierras de la Rioja. Los materiales no se encuentran tan litificados como los anteriores y son en general más fácilmente erosionables, por lo que dan relieves de menor altitud. Otra causa de esta menor entidad de los relieves radica en el origen de los materiales: puesto que proceden de la erosión de los macizos de Demanda y Cameros, se sedimentaron a cota más baja que los relieves de los cuales procedían. De esta forma, las máximas cotas alcanzadas por los sedimentos terciarios están en torno a los 1.400 m, considerablemente inferiores a los 2.200 metros para las rocas paleozoicas y mesozoicas del bloque superior del cabalgamiento de Cameros.

Existen variaciones, de norte a sur y de este a oeste, en el tipo de materiales terciarios aflorantes en el Surco Riojano: adosados a las Sierras de Cameros y Demanda aparecen grandes volúmenes de conglomerados correspondientes a las partes proximales de los abanicos aluviales de edad Terciaria que partían de los macizos levantados. Estos conglomerados dan relieves de tipo "mallo" (Fig. 11), conocidos también en el borde sur Pirenaico y en el margen oriental de la Cuenca del Ebro (límite con las cadenas costeras catalanas). En los conglomerados cementados fuertemente incididos por la red fluvial (caso del Iregua y Najerilla) el paisaje está dominado por paredes verticales y fuertes incisiones, debidas estas últimas a la erosión de barrancos sobre fallas y fracturas existentes en los conglomerados (figs. 12 y 13). En cambio, cuando el grado de cementación de los conglomerados es más débil, o no existe cemento, los relieves son suaves y aparece una red fluvial de tipo dendrítico (caso de Sierra la Hez, figura 13, o la unidad más alta de los Montes del Serradero).

El paisaje de la Rioja Alta está dominado por la presencia de areniscas (facies de Haro y Nájera de Riba, 1964), que dan lugar a cerros aislados con superficie plana (mesas), normalmente separados por valles de fondo plano. Un caso particular viene dado por las fuertes incisiones realizadas por los ríos Ebro y Najerilla, que originan escarpes verticales en las areniscas y presentan un fuerte encajamiento en algunos tramos más resistentes. Lo mismo ocurre en la Depresión de Arnedo, donde el río Cidacos se encaja entre 50 y 100 m en las areniscas y conglomerados de la Formación de Arnedo (Figs 12 y 14).

En cambio, en la Rioja Baja dominan los materiales lutíticos y los relieves no son tan contrastados. Las cimas de los cerros planos no suelen estar coronadas por

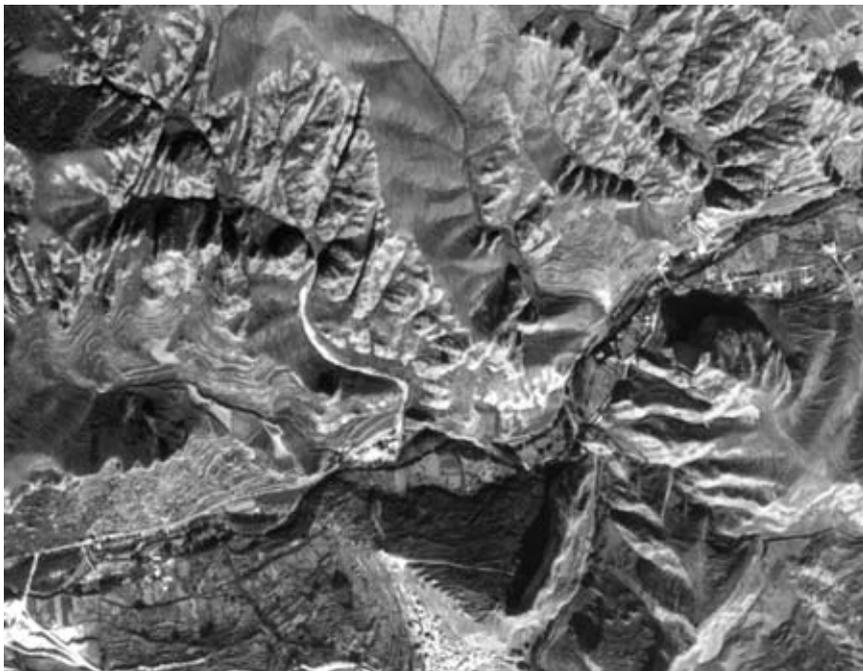


Fig. 12. Fotografía aérea (A) y esquema fotogeológico (B) de los conglomerados terciarios del área de Viguera. La presencia o no de fracturas que afectan a estas rocas condiciona tanto el tipo de red fluvial, como el paisaje. En gris claro una red fluvial rectilínea relacionada con la red de fracturas (líneas gruesas). En gris oscuro una típica red dendrítica en conglomerados no fracturados.



Fig. 13. Aspecto del modelado diferencial de los conglomerados en relación a sus características litológicas (composición) y estructural (presencia o no de fracturas). Santa Eulalia. La topografía más alta corresponde a la de los conglomerados no cementados de Sierra Lahez, mientras que la parte inferior son conglomerados cementados y areniscas de la Formación de Arnedo.



Fig. 14. El Picuezo y la Picueza de Autol. Ejemplo de erosión en capas inclinadas de areniscas y conglomerados.



Fig. 15. Las cárcavas de Los Agudos, al Sur de Calahorra, desarrolladas en arcillas terciarias. La cubierta superior corresponde al glacis Cuaternario de la Muga.

areniscas (es decir, no son superficies estructurales), sino por materiales cuaternarios (glacis) formados durante la etapa exorreica de la Cuenca del Ebro (Fig. 15). Estos glacis alcanzan gran desarrollo al este del meridiano de Logroño, y presentan fuertes pendientes, que normalmente disminuyen conforme la edad de estos glacis es más moderna. Las terrazas fluviales del Ebro también son mucho más extensas en la Rioja Baja, probablemente condicionadas por la menor resistencia a la erosión de las arcillas terciarias.

3. RELIEVES CONDICIONADOS POR LA ESTRUCTURA

3.1. Estructura subhorizontal

Los materiales horizontales dominan en todo el Surco Riojano, excepto en la Depresión de Arnedo y dos franjas estrechas de dirección Este-Oeste correspondientes a los monoclinales de Nájera y Baños del Río Tobía. Este hecho condiciona que los relieves de gran parte del Surco Riojano, en particular de la Rioja Alta, sean de tipo tabular, con cerros coronados por superficies estructurales, normalmente formadas por estratos de arenisca. En la Rioja Baja no existe un condicionante estructural en el paisaje ya que, como hemos comentado en el apartado anterior, las partes más resistentes y que coronan los cerros planos son depósitos cuaternarios.

En los conglomerados del borde sur de la cuenca sí que existe un fuerte condicionante de la estructura sobre el modelado (Fig. 16), ya que únicamente los conglomerados con estratificación subhorizontal dan relieves de tipo “mallo” (Benito, 1989). Cuando las capas aparecen inclinadas, las fracturas responsables del aislamiento de los bloques no ejercen tanta influencia y no aparece el relieve característico.

3.2. Capas inclinadas

Los relieves correspondientes a capas inclinadas son los característicos de cuestas y crestas morfológicas. A pesar de que el flanco sur del sinclinal de Cameros, con capas de buzamiento homogéneo de unos 30°N ocupa prácticamente la mitad del Camero riojano, este tipo de relieve no es muy abundante en la Rioja, debido probablemente a los grandes contrastes de relieve y la fuerte erosión lineal debida a ríos y barrancos. Sin embargo, la morfología de gran parte de las cuencas del Jubera y del Cidacos recuerda de alguna forma al tipo de relieve citado: las laderas inclinadas hacia el norte se corresponden en muchos casos con superficies de estratificación y aparecen cubiertas por robledales (ver figura 10). Por el contrario, las laderas de orientación sur muestran las series estratigráficas cortadas de forma perpendicular y con vegetación más escasa o nula. Esto es especialmente evidente en los Grupos de Enciso y Oliván (Fig. 8).



Fig. 16. Aspecto de campo de un relieve tipo “mallo”, los Mallos de Viguera.

3.3. Zonas plegadas

A diferencia de otros sectores de la Cordillera Ibérica, en la Sierra de Cameros no existen grandes zonas donde pueda delimitarse un relieve de tipo “jurásico”, en parte debido a la escasez de pliegues de mediana escala y en parte a la escasa entidad superficial de los afloramientos de calizas marinas del Jurásico. Por ejemplo, toda la zona central de la Sierra de Cameros, entre los ríos Leza y Jubera, es una gran estructura monoclinal, sin pliegues en su interior

Relieves condicionados por el plegamiento se encuentran muy localizados, por ejemplo, en la zona de Nieva de Cameros, donde aparecen un anticlinal y un sinclinal asociados, de dirección NE-SO, de los cuales únicamente se preservan los flancos y las terminaciones periclinales (tipo de relieve jurásico invertido en el caso del anticlinal y normal en el caso del sinclinal). En el sinclinal de Villavelayo, situado al sur de la Sierra de la Demanda (Fig. 1) también puede reconocerse un tipo de relieve conforme, definido por las calizas jurásicas (Fig. 17). Un caso particular es el de Monte Laturce, que presenta un relieve en cresta o hog-back debido a la presencia de capas verticales (Fig. 18). El contraste existente entre los distintos tipos de roca y la presencia de interestratos blandos en las series detríticas da lugar a ese paisaje espectacular de paredes verticales de roca que quedan aisladas en algunos casos, y en otros han sido aprovechadas en las construcciones humanas. Lo mismo ocurre en Turruncún, donde las capas de conglomerados verticales de dirección E-O se confunden con la orientación de las paredes de las casas (Fig. 19).

La zona en la que se observa de forma más clara la relación del relieve con estructuras de plegamiento es la de la cuenca alta del río Alhama, donde el anticlinal



Fig. 17. Vista panorámica del sinclinal de Villavelayo (zona meridional de la Sierra de la Demanda) afectando a calizas jurásicas.



Fig. 18. Capas verticales del Grupo de Oncala en Monte Laturce.



Fig. 19. Alternancia de verticales de conglomerados y areniscas terciarios. Turruncún.

del Pégado y el sinclinal de Valdeprado presentan dimensiones de varios km. El relieve general es de tipo jurásico conforme, ya que los núcleos anticlinales aparecen elevados y los sinclinales hundidos, debido a la presencia de materiales blandos en los núcleos sinclinales, pertenecientes en su mayor parte al Grupo de Oncala. La alternancia de rocas blandas y duras en los flancos de los pliegues da lugar también a vistosas cuestras en la terminación periclinal del anticlinal del Pégado (Fig. 6). Finalmente, los pequeños barrancos que cortan perpendicularmente a la dirección de las capas han dado lugar a morfologías en chevron, al igual que ocurre en los alrededores de Zenzano (Fig. 20).

3.4. El cabalgamiento de Cameros

Aunque no da lugar a un tipo de relieve caracterizable como “estructural”, el cabalgamiento de Cameros es responsable de los principales contrastes de relieve existentes en la región, ya que durante su movimiento se levantó el conjunto de las Sierras frente al Surco Riojano. Por otra parte, su trazado marca también el contraste de resistencia entre las rocas paleozoicas y mesozoicas de las sierras frente a las más lábiles de la cuenca Terciaria (Fig. 1). Y además su traza suele venir jalonada por los afloramientos de rocas triásicas (yesos) y Jurásicas (calizas) con un fuerte contraste de resistencia a la erosión. Todo ello hace que actualmente el trazado del cabalgamiento de Cameros sea uno de los controles dominantes del paisaje de la Rioja, y el que, salvo en los casos en que existen potentes masas de los conglomerados post-tectónicos no cementados (Sierra Lahez y Serradero) define el límite topográfico y geológico entre la Sierra y el valle.

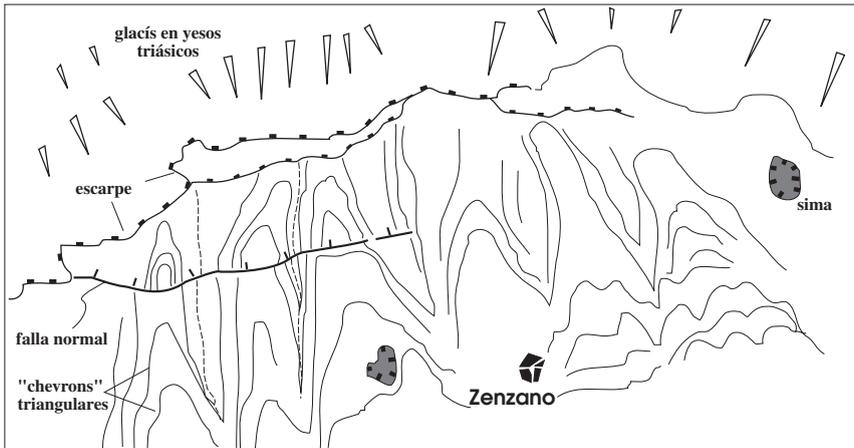


Fig. 20. Fotografía aérea (A) y esquema fotogeológico (B) de los alrededores de Zenzano. En esta zona resulta espectacular el modelado en "Chevrons" desarrollado como consecuencia de la incisión de pequeños cursos fluviales sobre capas del Grupo de Enciso, inclinadas hacia el Sur. Un escarpe bien desarrollado aparece en la zona norte limitando con los yesos triásicos. Otros aspectos geológicos de interés observables en fotografía aérea son las simas desarrolladas en capas de caliza y la falla de Zenzano que afecta a la red fluvial cuaternaria, mostrada en la Figura 25.

3.5. El cabalgamiento de la Sierra de Cantabria

La Sierra de Cantabria puede considerarse como un caso particular de relieve de tipo jurásico, debido fundamentalmente al fuerte contraste de resistencia entre las calizas cretácicas que aparecen en el bloque superior del cabalgamiento que constituye el frente de la Sierra de Cantabria y los sedimentos detríticos de la cuenca del Ebro. En conjunto, la práctica totalidad de la Sierra de Cantabria se puede considerar como un gran relieve en cuesta, con la cresta en la cara sur y la cuesta

morfológica en la cara norte. Esta cuesta llega a convertirse en un relieve de tipo hog-back en las zonas de fuerte buzamiento de las calizas (Fig. 21). El contraste de precipitaciones entre las dos vertientes acentúa más aún las diferencias debidas al sustrato geológico.



Fig. 21. Calizas verticales del Cretácico superior en el contacto entre la sierra de Cantabria y la Cuenca del Ebro. Cellorigo.

4. EVOLUCIÓN RECIENTE Y RELIEVE DE LA RIOJA. GEOLOGÍA Y CLIMA.

Desde el Mioceno superior hasta la actualidad la evolución geológica de la Cordillera Ibérica, margen sur pirenaico y cuenca del Ebro está caracterizado por la colmatación de las cuencas terciarias (en este caso Ebro, Duero y Almazán, que son las que rodean los macizos de Cameros y Demanda), y posteriormente por el cambio de drenaje de endorreico a exorreico en las mismas. Este cambio de drenaje fue la consecuencia de eventos tectónicos (apertura del Golfo de Valencia, caso de la cuenca del Ebro) o simplemente geomorfológicos (casos del Duero y Tajo, causados por erosión remontante). Por otra parte, a lo largo del Terciario se desarrollaron en la Cordillera Ibérica una serie de superficies planas escalonadas denominadas superficies de erosión (Casas-Sainz y Cortés-Gracia, 2002) que arrasaron parte de los relieves anteriores. El desarrollo de estas superficies de erosión (pediplanuras) es contemporáneo con el relleno de las cuencas terciarias y su rango de edades se extiende desde el Eoceno hasta el Mioceno superior. El desarrollo de superficies de erosión en la Cordillera Ibérica tiene un fuerte condicionante (aunque no determinante) litológico, ya que se desarrollan preferentemente sobre calizas (Fig. 22).

En las sierras riojanas las superficies de erosión no son muy habituales, en comparación con otras zonas de la Cordillera Ibérica, debido fundamentalmente a



Fig. 22. Aspecto de una superficie de erosión en la Sierra del Pégado (curso medio del Río Alhama). En esta zona la superficie es especialmente llamativa al haberse desarrollado sobre un anticlinal previo que afecta a rocas del Jurásico y Cretácico inferior. Su altitud media es de 1.000 m., destacando sobre ella algún relieve residual (Alto del Pégado) con más de 1.200 m. de altitud.

los condicionantes litológicos: la mayor parte de las Sierras de Cameros y Demanda está formada por areniscas y lutitas, con limolitas, conglomerados, y en menor medida, calizas. Las rocas paleozoicas son muy poco favorables al desarrollo de superficies de erosión, y por ello durante las etapas de pediplanación del Terciario quedaron como relieves residuales sin aplanar (este caso podría aplicarse a las partes altas de la Sierra de la Demanda). En cambio, debido a su composición litológica, las rocas paleozoicas son muy propensas a la erosión lineal por parte de ríos y barrancos, de modo que a partir del Plioceno, y el cambio de régimen de la cuenca del Ebro, sufrieron fuertes procesos de erosión y rebajamiento de su topografía, en muchos casos de forma más pronunciada que los materiales mesozoicos. Por otra parte, las rocas mesozoicas que se depositaron en la Cuenca de Cameros no son mayoritariamente calizas y por ello tanto el desarrollo como la preservación de superficies es escaso. Las más espectaculares son las desarrolladas en las montañas del Serradero, en lo que se conoce como plataforma de los Gamellones, situada a 1400 m de altitud sobre el nivel del mar (Fig. 23). Esta superficie subhorizontal se encuentra karstificada y enrasa con sedimentos de edad Aragoniense-Vallesiense hacia la cuenca del Ebro. En el extremo oriental de la Sierra aparece otro retazo importante de superficie de erosión, en la Sierra del Pégado, elaborada sobre materiales plegados, sobre la cual destaca el relieve residual de la Sierra del Moncayo (ver figura 22).

El paso del régimen endorreico a exorreico de la Cuenca del Ebro trajo consigo el comienzo de la erosión de los materiales sedimentados en la misma durante el Terciario, y el progresivo encajamiento de la red fluvial en la Sierra de Cameros. La etapa erosiva se ha mantenido durante todo el Cuaternario, con episodios breves de sedimentación ligados a la formación de glaciares y terrazas, asociadas al Ebro y sus afluentes (Fig. 24). La principal consecuencia del proceso erosivo ha sido el rebajamiento de la topografía de finales del Terciario del Surco Riojano (situada probablemente a una cota entre 1000 y 1200 m de altitud sobre el nivel del mar, y una superficie más o menos plana), a la cota actual, que presenta una media de menos de 500 m sobre el nivel del mar y un relieve mucho más irregular.

La configuración final del relieve durante los procesos orogénicos, así como la colocación latitudinal de la Península, en relación a las grandes bandas climáticas, son los principales condicionantes del clima regional, en conexión con la evolución geológica. A pesar de la escasa distancia de la Rioja al océano Atlántico el clima tiene una marcada influencia continental, debida al levantamiento de la Cordillera Pirenaica, que la aísla de la influencia oceánica. En cambio, el hecho de que en el conjunto del Pirineo el macizo Vasco represente la zona de menor altitud (apenas supera los 1500 m, frente a los 2500 de la zona Cantábrica y los más de 3000 del Pirineo ístmico) permite que algunos frentes húmedos de la zona templada penetren hasta la Sierra de Cameros dando lugar a precipitaciones, que son más escasas en la Meseta Norte o en la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica. La elevación de las Sierras de Cameros y Demanda hasta más de 2000 m aumenta también el efecto de las precipitaciones, por gradiente altitudinal. El sentido de penetración de los frentes nubosos es de oeste a este y de norte a sur, como ocurre en general en la zona templada, lo cual hace que dentro del Surco Riojano y la Sierra de Cameros exista un gradiente de precipitaciones (mayores al oeste y progresivamente de menor importancia hacia el sector oriental), que influye también sobre relieve y paisaje.

Este efecto climático sobre el modelado es especialmente evidente en rocas blandas, mientras que en las unidades competentes (las calizas oolíticas del



Fig. 23. Aspecto de la superficie de erosión de los Gamellones, Torrecilla en Cameros).



Fig. 24. Terrazas cuaternarias encajadas en materiales terciarios de la Formación de Arnedo, en el curso medio del Cidacos. Monasterio de Vico.

Bathonense, dentro del Jurásico marino o las calizas con oncolitos del Grupo de Enciso) las diferencias no son tan acusadas, ya que el efecto litológico domina sobre el climático. Los mismos tipos de roca pueden dar lugar, pues, a diferentes modelados. Por ejemplo, conforme aumenta la aridez del clima la morfología de las laderas pasa de ser convexa a ser cóncava. Lo mismo sucede con el modelado en cárcavas, que raramente aparecen en la zona occidental de La Rioja, debido a su clima más húmedo. La erosión no fluvial suele ser de mayor importancia en las zonas áridas, debido a la menor frecuencia, pero en general mayor intensidad de las precipitaciones, y a la ausencia de una cobertera vegetal continua.

Finalmente, el relieve está también condicionado por los eventos tectónicos recientes. En la Rioja no son abundantes las estructuras formadas durante el Cuaternario, frente a lo que ocurre en áreas activas del Mediterráneo como Grecia, Turquía o la península italiana. Sin embargo, aparece un ejemplo espectacular de una falla normal (de edad todavía desconocida, pero en cualquier caso originada probablemente durante el Holoceno) en los alrededores de Zenzano (Fig. 20). Esta falla normal desplaza a la superficie topográfica y ha cortado la red de drenaje (que presenta caída hacia el sur), dando lugar a una zona encharcada actualmente rellena de sedimento (Fig. 25). Su origen puede ser tectónico, o bien ligado a la evolución del escarpe topográfico que dan los conglomerados, areniscas y calizas del Grupo de Oncala situados sobre los yesos del Keuper en toda la zona situada en el frente norte de la Sierra de Cameros entre los ríos Leza y Jubera.



Fig. 25. Aspecto de la falla normal de Zenzano desplazando la red de drenaje. En el bloque hundido aparece una pequeña zona encharcada actualmente colmatada.

5. CONCLUSIONES

Los distintos tipos de paisaje descritos en este artículo muestran que el paisaje riojano está fuertemente condicionado por las características geológicas, entre las que domina sobre todo la composición litológica. La estructura tiene influencia algo menor, o no destacan tanto los modelados estructurales. Finalmente, la evolución durante el Terciario y Cuaternario de la Sierra de Cameros y el Surco Riojano tuvo una influencia destacada en los paisajes actuales, dentro de una evolución relativamente lenta del modelado como corresponde a zonas situadas en el interior de las placas tectónicas.

AGRADECIMIENTOS

Las observaciones reflejadas en este artículo parten de distintos trabajos financiados con proyectos del Ministerio de Ciencia y Tecnología, siendo el más reciente de ellos el BTE-2002-4168

BIBLIOGRAFÍA

- ARTHAUD, F., MATTE, P. (1975) Les décrochements tardi-herciniens du Sud-Ouest de l'Europe: Géométrie et essai de reconstruction des conditions de la déformation. *Tectonophysics*, 25, 139-171.
- BENITO, G. (1989). Geomorfología de la cuenca baja del río Gállego. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 764 p.
- CASAS, A.M., CORTÉS, A. L., MAESTRO, A. (2000) Intra-plate deformation and basin formation in the northern Iberian plate: origin and evolution of the Almazán Basin. *Tectonics*, 19, 258-289.
- CASAS-SÁINZ A. M. (1993) Oblique tectonic inversion and basement thrusting in the Cameros Massif (Northern Spain). *Geodinamica Acta*, 6, 202-216.
- CASAS-SÁINZ, A. M. (1990) *El frente norte de las Sierras de Cameros: estructuras cabalgantes y campo de esfuerzos*. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza, 382 pp. Publicada en 1992, revista Zubía, monográfico, Instituto de Estudios Riojanos.
- CASAS-SÁINZ, A. M., GIL-IMAZ, A. (1994). Evolución tectonosedimentaria de una cuenca extensional intraplaca: la cuenca finijurásica-eocretácica de los Cameros (La Rioja-Soria): Discusión. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 7 (3-4): 337-347
- CASAS-SÁINZ, A.M., GIL-IMAZ, A. (1998) Extensional subsidence, contractional folding and thrust inversion of the Eastern Cameros Massif, northern Spain. *Geologische Rundschau*, 86, 802-818.
- GUIRAUD, M., SÉGURET, M. (1984) Releasing solitary overstep model for the Late Jurassic-Early Cretaceous (Wealdien) Soria strike-slip basin (North Spain) In: *Strike-slip deformation, basin formation and sedimentation* (Ed. por K.T. Biddle and N. Crithie-Blick). SEPM Special Publication 37, 159-175.

- GUIRAUD, M. (1983) *Evolution tectono sédimentaire du bassin wealdien (Crétacé inférieur) en relais de décrochement de Logroño-Soria (NW Espagne)*. Tesis de Tercer Ciclo. Universidad of Montpellier.
- LIESA-CARRERA, C., CASAS-SÁINZ, A.M. (1995). Reactivación alpina de pliegues y fallas del zócalo hercínico de la Cordillera Ibérica: ejemplos de la Sierra de la Demanda y la Serranía de Cuenca. *Cuadernos del Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, 19, págs 119-135.
- MUÑOZ, A., SORIA, A.R., CANUDO, J.I., CASAS, A.M., GIL, A., MATA, M.P. (1997) Caracterización estratigráfica y sedimentológica del Albiense marino del borde Norte de la Sierra de Cameros. Implicaciones paleogeográficas. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 22, 139-163.
- MUÑOZ-JIMÉNEZ, A. y CASAS-SÁINZ, A. M. (1996) The Rioja Trough (NSpain): tectono-sedimentary evolution of a symmetric foreland basin. *Basin Research*, 9, 65-85.
- MUÑOZ-JIMÉNEZ, A. (1992) *Análisis tectosedimentario del Terciario del sector occidental de la Cuenca del Ebro (Comunidad de La Rioja)*. Ciencias de la Tierra, 15, 347 pp. Instituto de Estudios Riojanos, Logroño.
- RIBA, O. (1964) Estructura sedimentaria del Terciario continental de la Depresión del Ebro en su parte riojana y navarra. In: *Aportación Esp. al XX Congr. Geogr. Int.*, 127-138.
- SALAS, R., CASAS, A. (1993) Mesozoic extensional tectonics, stratigraphy and crustal evolution during the Alpine cycle of the eastern Iberian basin. *Tectonophysics*, 228, págs. 33-35.
- TISCHER, G. (1966) El delta Weáldico de las montañas Ibéricas Occidentales y sus enlaces tectónicos. *Notas y Comunicaciones de Instituto Geológico y Minero de España*, 81, 53-78.