

Cuadernos I. Geográfica	22-23	pp. 57-79	Logroño	1996-97
-------------------------	-------	-----------	---------	---------

## PROCESOS EROSIVOS INTENSOS EN LAS ÁREAS MARGINALES DE LA DEPRESIÓN DEL EBRO Y EL PIRINEO. INTERPRETACIÓN DE LOS PATRONES DE LA VEGETACIÓN.

JOAQUÍN GUERRERO-CAMPO<sup>1</sup>

*RESUMEN.* En este estudio se revisan los conocimientos sobre los procesos erosivos que se producen en las áreas acarcavadas y fuertemente erosionadas de la mitad norte de Aragón, territorio que comprende desde la Depresión Media del Ebro hasta el Pirineo. Se han seleccionado las cuatro litologías que además de cubrir amplias áreas parecen tener mayores problemas de erosión: yesos puros de la Depresión Central del Ebro, arcillas miocenas de la Hoya de Huesca y los Somontanos, margas eocenas del Prepirineo y flysch eoceno surpirenaico. Se estudia el clima de cada una de ellas, así como las características edáficas y litológicas que más importancia tienen para explicar los procesos erosivos. También se consideran los estudios que tratan sobre tasas erosivas y sobre las características de la vegetación propia de cada zona. Por último, se interpretan los patrones vegetales en estas áreas como respuesta a los procesos erosivos y a otros factores.

Esta revisión pone de manifiesto las grandes diferencias que las distintas litologías presentan en los aspectos estudiados. Los yesos puros tienen una alta infiltración y unas bajas tasas de erosión edáfica, si bien las tasas de denudación química por disolución son elevadas. Ello, junto con la escasez de precipitaciones, hace que la vegetación deba soportar una fuerte aridez, respondiendo de forma uniforme y notable a la topografía.

Por contra, las cárcavas de las margas eocenas se caracterizan por su escasa infiltración y sus altas tasas de erosión, que determinan una gran dinámica erosiva. Estos intensos procesos erosivos generan mosaicos de áreas que se erosionan, se sedimentan o permanecen estables, implicando que la vegetación varíe fuertemente en escalas espaciales muy pequeñas, produciéndose una característica "mezcla de especies".

\* Instituto Pirenaico de Ecología. 50080 Zaragoza.

*En algunas facetas, las arcillas miocenas se comportan de forma intermedia entre yesos puros y margas, mientras que el flysch parece asemejarse a las margas.*

*ABSTRACT. This article reviews the current knowledge about erosion processes in badlands and other strongly eroded areas in the northern half of Aragón (Spain), from the Middle Ebro Basin to the Pyrenees. The four most extensive lithologies with the strongest erosion processes were selected: pure gypsum from the Central Ebro Valley, Miocene clays from Hoya de Huesca and Somontano, Eocen marls from the Prepyrenees and Eocen flysch from the Pyrenees. The climate of each substratum was studied, as well as the most important edaphic and lithological characteristics in order to explain the erosion processes. Some information about erosion rates and vegetation characteristics from each substratum were included. Also vegetation patterns in these areas and their interactions with erosion processes and other factors were interpreted.*

*Very strong differences between the lithologies were found. Pure gypsum has high infiltration and low erosion rates, but the ion exportation by dissolution is high. These characteristics and the low annual rainfall mean that the vegetation has to resist a high water stress. The vegetation pattern is very uniform and topography is the most important factor to explain this.*

*However, in the gullies of eocen marls, infiltration is very low and erosion rates are very high. These strong erosion processes cause formation of a mosaic with stable, depositional and eroded areas in close proximity to each other. This implies that the vegetation is very heterogeneous in small spatial scales, and typically there is a "species mixture".*

*Generally, Miocen clays are characteristic between eocen marls and pure gypsum, and the characteristics of eocen flysch are usually similar to eocen marls.*

**Palabras clave:** Erosión, Vegetación, Cárcavas, Patrones vegetales, Valle del Ebro, Pirineo, España.

**Key words:** Erosion, Vegetation, Gullies, Vegetation patterns, Ebro Valley, Pyrenees, Spain.

## 1. Área de estudio

El área que va a ser tratada en este trabajo, se ubica en el noreste de la Península Ibérica, a lo largo de un amplio sector del Valle del Ebro, incluyendo desde el centro de la Depresión hasta el Pirineo.

Dentro de esta extensa área, esta revisión e interpretación se centra en varios sustratos sometidos a fuertes procesos erosivos. Ordenados de sur a norte son, principalmente: los yesos puros, las arcillas miocenas (con margas y areniscas),

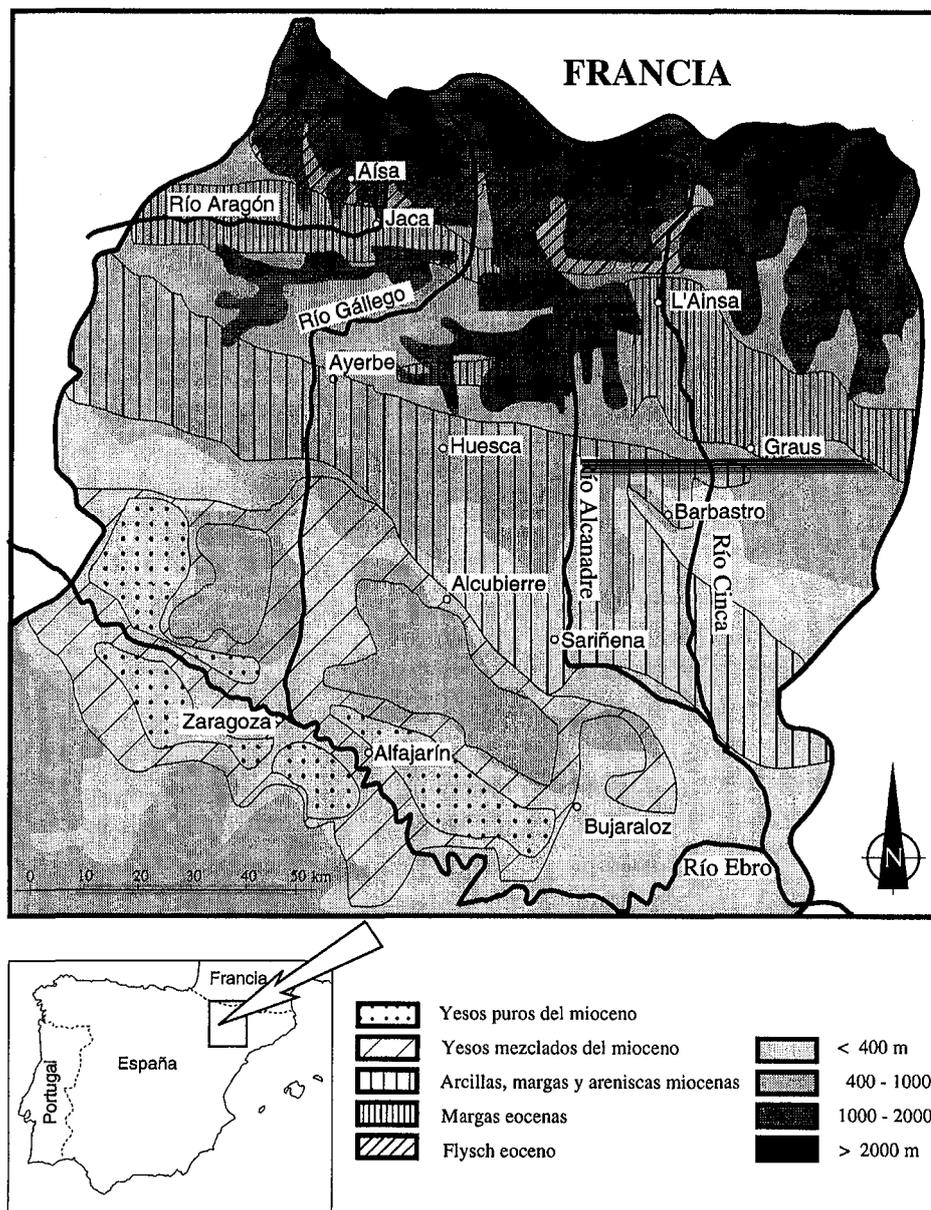


Figura 1. Area de estudio y litologías más importantes analizadas. No se han diferenciado los depósitos cuaternarios y las litologías han sido simplificadas a partir de mapas del IGME a escala 1:200.000 \*

\*Como yesos puros, se han considerado las áreas de los mapas IGME (IGME, 1971; IGME, 1980; IGME, 1980; IGME, 1981) donde aparecen los yesos como principal material constituyente, considerados allí como yesos, margas y limos yesíferos del mioceno. Como yesos mezclados aquellos en los que el yeso era secundario frente a otros materiales: margas, areniscas, calizas y arcillas. Como arcillas miocenas se han considerado las areniscas y margas del mioceno; areniscas, arcillas, margas y calizas del mioceno; margas, arcillas, conglomerados y areniscas del mioceno. Como margas eocenas se han considerado los sustratos que únicamente tenían margas, así como los que estaban constituídos principalmente por margas, mezcladas con calizas y calizas detríticas del eoceno. Las unidades resultantes han tenido así unos límites más claramente definidos, similares a las formaciones señaladas por QUIRANTES (1977) en el Valle del Ebro.

las margas eocenas y el flysch eoceno. Cada uno de estos sustratos, además de su similar litología, tiene a grandes rasgos un régimen climático propio, al menos si lo comparamos con el de otro sustrato. Los tres primeros se sitúan dentro de la Depresión del Ebro, mientras que los dos últimos se ubican en el Prepirineo (Fig. 1).

## **2. Clima, litología y características edáficas**

### **2.1. Yesos**

Los yesos puros aparecen en el sector central de la Depresión del Ebro, en las proximidades de Zaragoza (Fig. 1). Este área se extiende desde los 200 a los 440 m de altitud. El clima es mediterráneo continental, siendo el ombroclima seco (según los criterios de RIVAS-MARTÍNEZ, 1987), con unos 300 a 350 mm de precipitación anual media. Los inviernos son frescos, siendo las medias de las mínimas del mes más frío de 1.5 °C (CASTRO-DÍEZ, 1996). Las heladas son frecuentes, en parte debido a los fenómenos de inversión térmica (BRAUN-BLANQUET y BOLÒS, 1957; TERRADAS, 1986). El piso bioclimático es el mesomediterráneo (RIVAS-MARTÍNEZ, 1987) (Fig. 2).

Los yesos que encontramos en la Depresión del Ebro son miocenos y corresponden a la Formación Zaragoza (QUIRANTES, 1977). Por sus diferentes características litológicas y edáficas, habría que distinguir los yesos puros de los yesos mezclados. En los primeros, el yeso predomina fuertemente en la composición de estos materiales, si bien poseen finas intercalaciones de margas y arcillas. QUIRANTES (1977) les denomina "Conjunto de Yesos de Retuerta". A partir del centro de la Depresión del Ebro, los yesos aparecen cada vez más mezclados, es decir, con mayor contenido de margas y arcillas. Ello ocasiona una diferenciación en las características litológicas y de la vegetación. En ellos, la altitud es ligeramente más elevada y el clima algo menos árido que en el caso de los yesos puros.

En el área de "yesos puros", el paisaje es muy homogéneo, con colinas alomadas y valles anchos de fondo plano -conocidos como vales-, que han sido rellenados con limos yesíferos procedentes de las colinas (GUTIÉRREZ ELORZA et al., 1995; IBÁÑEZ y MENSUA, 1976). Tanto colinas como vales poseen una textura limosa, con una componente arenosa importante y clastos de grava englobados. En las laderas aparecen además muchos cantos de yeso intercalados y afloramientos rocosos, los cuales dan a las colinas su característica coloración blanca (GUTIÉRREZ ELORZA et al., 1995).

La conductividad del suelo es elevada, sin embargo, no parece ser un factor muy limitante para el desarrollo vegetal. Los nutrientes y la materia orgánica son tremendamente escasos en los suelos (GUTIÉRREZ ELORZA et al., 1995). En algunas ocasiones se forman finas costras superficiales como consecuencia de las disoluciones y precipitaciones del yeso. Sin embargo, no son comparables a

las que se encuentran en zonas más áridas, como en algunos desiertos (WATSON, 1979). Generalmente, lo que sí se generan son horizontes duros sub-superficiales -llamados petrogípsicos-, que dificultan notablemente la penetración de las raíces (GLINSKI y LIPIEC, 1990). Los suelos formados en estas áreas no presentan una diferenciación de sus horizontes, teniendo a lo sumo un horizonte superficial que descansa sobre el material litológico (GUERRA y MONTURIOL, 1970).

## 2.2. Arcillas

Se extienden por una amplia banda desde el norte de la Sierra de Alcubierre hasta el pie de las Sierras Exteriores del Pirineo. A lo largo de este extenso terri-

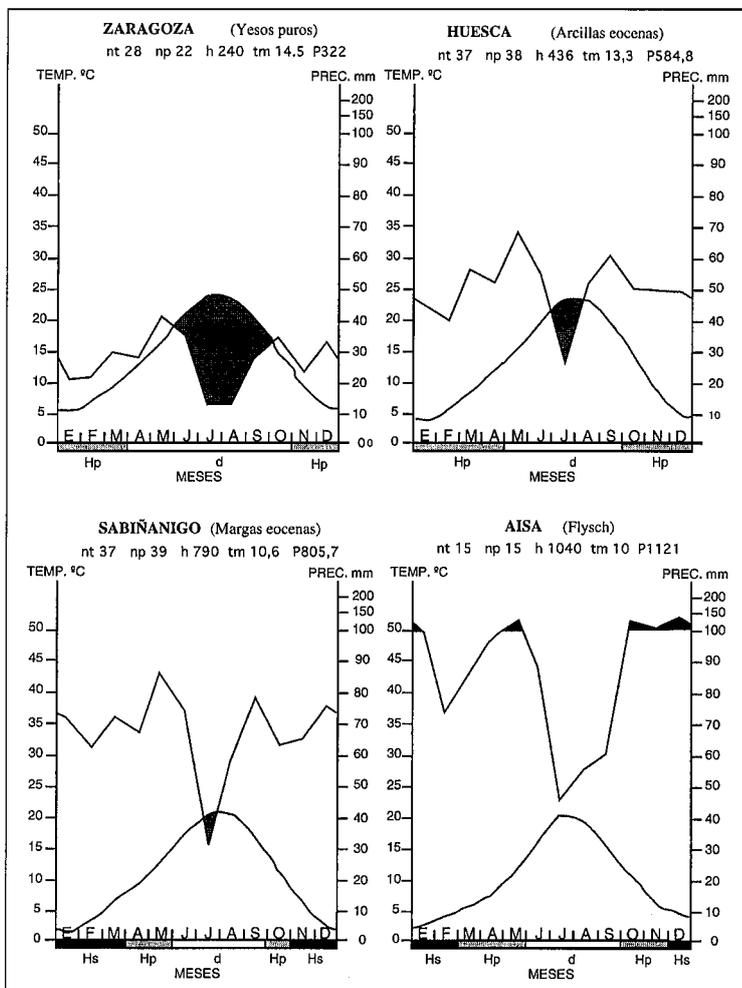


Figura 2. Diagramas climáticos de cuatro estaciones representativas de las diferentes áreas. Zaragoza representa el clima típico donde se ubican los yesos puros. Huesca el de las arcillas miocenas. Sabiñánigo el de las margas eocenas y Aísa el del flysch eoceno\*.

\* Hs= meses de helada segura (media de las mínimas inferior a 0° C), Hp= meses de helada probable (media de las mínimas inferior a 7° C), d= meses sin heladas, nt= número de años de la serie de temperaturas, np= número de años de la serie de pluviometrías, h= altitud, tm= temperatura media anual (°C), P= pluviometría media anual (mm). Los datos han sido tomados de: (MAPA, 1987; MAPA, 1991; DE LA RIVA, 1994).

torio, aparecen de manera discontinua arcillas, margas y areniscas miocenas, mezcladas con diversos materiales arrastrados y depositados por los ríos durante el cuaternario.

La altitud media es de unos 500 m y la precipitación media de unos 500 mm, siendo el ombroclima medio subhúmedo, si bien algunas áreas se enclavan en ombroclima seco. Los inviernos son frescos, con medias de las mínimas del mes más frío entorno a 0 °C. El piso bioclimático es el mesomediterráneo (CASTRO-DÍEZ, 1996) (Fig. 2).

**TABLA 1: CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS, HIDROLÓGICAS Y EROSIVAS DE LA LITOLÓGÍAS EN LAS QUE SE HA LLEVADO A CABO ESTE ESTUDIO**

	Yesos puros	Arcillas miocenas	Margas eocenas	Flysch
Precipitación	Muy baja +330mm/año	Baja + 550mm/año	Media + 730mm/año	Alta + 930mm/año
Infiltración	Muy alta (GUTIÉRREZ ELORZA et al., 1995)	Baja (CERDÀ, 1995) Muy baja (GUTIÉRREZ ELORZA et al., 1995)	Baja, generalmente menor que en las arcillas (CERDÀ, 1995)	Baja
Coefficiente de escorrentía	30-35% (desde 16 a 43%) (GUTIÉRREZ ELORZA et al., 1995)	75% de media (GUTIÉRREZ ELORZA et al., 1995)	+50% (CERVERA et al., 1991)	+63% (RUIZ-FLAÑO et al. inedito) con 62mm/h durante 50min
Frente de humedad	± 20 cm (GUTIÉRREZ ELORZA et al., 1995)	1.7 cm (GUTIÉRREZ ELORZA et al., 1995)		7 cm en suelos con erosión difusa fuerte (RUIZ-FLAÑO et al. inedito) (RUIZ-FLAÑO, 1993)
Erosión de partículas	Baja	Alta y variable	Alta (CERVERA et al., 1991)	Alta
Estimación por colectores	5 tm/Ha/año (GUTIÉRREZ ELORZA et al., 1995)	102-258 tm/ha/año (GUTIÉRREZ ELORZA et al., 1995)		
Rebajamientos superficiales		8-22mm/año (BENITO et al., 1991)		
Dispersividad	Nula índice de dispersividad 0	Muy alta 0.5-1	Media (ALBERTO, 1989)	Media-alta (ALBERTO, 1989)
límite líquido	---	26.5-43.2 22.7-40.5		
límite plástico	---	19.5-32.8 16.5-24.5 (GUTIÉRREZ ELORZA et al., 1995)		
Textura	Limoso-arenosa (GUTIÉRREZ ELORZA et al., 1995)	Arcillosa o limosa-arcillosa (GUTIÉRREZ ELORZA et al., 1995)	Franco-limosa (ALBERTO, 1989). En ocasiones franca (RUIZ-FLAÑO, 1993) o limoso-arcillosa (GUERRA y MONTURIOL, 1970)	Franco-arcillosa (ALBERTO, 1989).

Los terrenos arcillosos pertenecen a la Formación Sariñena (QUIRANTES, 1977). Se depositaron fundamentalmente durante el Mioceno (IGME, 1971) y están constituídos principalmente por materiales blandos de arcillas y margas, que alternan con estratos de arenisca duros y de espesor variable (IGME, 1971; IGME, 1980). Estos materiales tan lábiles se erosionaron durante el Cuaternario hasta formar grandes acumulaciones aluviales, las cuales han rellenado amplias extensiones de las áreas más bajas (GUTIÉRREZ ELORZA et al., 1995).

Este sustrato posee un alto contenido en arcillas (Tabla 1) y bajo contenido en gravas y cantos. Generalmente son suelos que presentan un horizonte húmico muy fino o que carecen de él. Poseen un elevado contenido de carbonato cálcico (hasta el 40 %) y un pH alto. Los suelos están constituídos por sedimentos

recientes y se hallan escasamente transformados. Pueden originar suelos de rendsina parda, con textura limo-arcillosa, de buena retención hídrica pero pobres en materia orgánica (HIGUERAS, 1981).

El sustrato puede poseer elevados contenidos de sodio (LEBRÓN HERNANDO, 1988) que le dan unas propiedades de gran dispersión. Sus límites líquido y plástico son muy pequeños (GUTIÉRREZ ELORZA et al., 1995), y la salinidad es también elevada en algunas áreas, llegando incluso a formarse suelos salinos que, en ocasiones, poseen costras superficiales. Sin embargo, lo más frecuente es la formación de horizontes duros a varios decímetros de profundidad, los cuales dificultan el desarrollo radicular de las plantas, especialmente durante las épocas secas (GLINSKI y LIPIEC, 1990).

### 2.3. Margas

Se disponen en una gran franja a lo largo del Prepirineo, ocupando especialmente la Depresión Media o Intrapirenaica (Fig. 1) (IGME, 1980). La altitud media es de unos 730 m y la precipitación media se sitúa entorno a 730 mm, correspondiendo a un ombroclima subhúmedo. Los inviernos son fríos y en algunas ocasiones frescos, pues la media de las mínimas del mes más frío suele situarse entre  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El piso bioclimático corresponde al colino y en algunas ocasiones al mesomediterráneo (RIVAS-MARTÍNEZ, 1987) (Fig. 2).

Las margas gris-azuladas, formadas durante el Eoceno Luteciense, ocupan generalmente la Depresión Intrapirenaica. La composición y estructura de estas margas parece mantenerse bastante constante a lo largo de la larga banda Prepirenaica en la que aparecen.

La roca madre es muy blanda y deleznable, formando generalmente suelos franco-limosos (ALBERTO, 1989), en ocasiones limosos o limoarcillosos (GUERRA y MONTURIOL, 1970), con gran capacidad de retención hídrica (ALBERTO, 1989). Cuando están bien conformados, constituyen suelos de tierra parda caliza en ocasiones explotados por la agricultura (HIGUERAS, 1981). Sin embargo, en muchas ocasiones el desarrollo del perfil es escaso, siendo el horizonte húmico de reducido espesor. En algunas zonas frágiles, estos suelos se encuentran fuertemente degradados por erosión hídrica, aflorando la deleznable roca madre. Son suelos extraordinariamente cálcicos, sin lavado y poco permeables, que presentan gran hinchamiento en las épocas lluviosas y agrietamiento en las secas (GUERRA y MONTURIOL, 1970).

### 2.4. Flysch

Estos materiales aparecen principalmente a lo largo de las Sierras Interiores Pirenaicas, inmediatamente al norte de la Depresión Intrapirenaica y ocupando

una larga banda. Una altitud media orientativa podría ser 900 m y la precipitación media anual es de 950 mm, correspondiendo a un ombroclima subhúmedo, cercano ya al ombroclima húmedo. Los inviernos son fríos, con una media de las mínimas del mes más frío de -2 °C, siendo el colino el piso bioclimático (RIVAS-MARTÍNEZ, 1987) (Fig. 2).

Estos materiales se formaron principalmente durante el Eoceno y están compuestos de areniscas carbonatadas y margas o arcillas (IGME, 1980). Estas últimas se disponen en finas bandas estratificadas entre las delgadas lajas de arenisca o caliza, dando una peculiar estructura muy plástica ante los plegamientos.

El flysch suele formar suelos pardo calizos forestales, aunque en las zonas más denudadas aparecen rendsinas y, en ocasiones, la roca madre subyacente. El horizonte de humus generalmente presenta un espesor medio de 25 cm, siendo también más rico en materia orgánica que los horizontes superficiales formados sobre margas (GUERRA y MONTURIOL, 1970). Sin embargo, comparados con los suelos procedentes de calizas y materiales paleozoicos del Pirineo, los formados sobre flysch son pobres en materia orgánica y muy susceptibles a la erosión (GUTIÁN-OJEA et al., 1973). El lavado es escaso y el suelo poco permeable, siendo cálcico en todo su perfil (GUERRA y MONTURIOL, 1970).

Los suelos desarrollados sobre esta litología suelen ser franco-arcillosos (ALBERTO, 1989) y en ocasiones francos (RUIZ-FLAÑO, 1993). Tienen buena estabilidad, aunque carecen del limo suficiente para un uso agrícola óptimo.

### 3. Usos del suelo

La erosión y degradación que hoy encontramos en todo este territorio, tiene su principal origen en la explotación humana, producida durante siglos por frecuentes incendios, pastoreo y talas de madera para leña (SUÁREZ CARDONA et al., 1992). Actualmente, con la despoblación del campo y el desarrollo tecnológico, estas actividades están decreciendo. En algunos lugares habría que hacer excepción al pastoreo, ya que persiste en numerosas zonas, especialmente en la Depresión del Ebro. Pero si bien en las últimas décadas la presión humana ha disminuído sobre las tierras de vocación pastoral y forestal, los fenómenos erosivos han continuado, especialmente en las zonas acarcavadas más activas.

En los yesos la ganadería afecta poco al paisaje vegetal natural, ya que los animales sedentarios pastan principalmente los rastrojos de los campos de labor. En las arcillas, el pastoreo y especialmente el paso de los animales son tal vez los principales factores de perturbación sobre la vegetación, ya que en algunas de estas áreas, la cabaña ganadera es importante. Hoy en día, son principalmente los campos de regadío los que sustentan a los ganados que, sin embargo, utili-

zan en ocasiones las tierras marginales y acarcavadas. Los sustratos de margas y de flysch soportaron una fuerte carga ganadera que desde las pasadas décadas ha disminuído fuertemente (GARCÍA-RUIZ y LASANTA-MARTÍNEZ, 1990). El mayor poder de recuperación de la vegetación en estas zonas más húmedas, propicia que la presión ganadera no sea tan evidente como en otras zonas.

#### 4. Características y procesos erosivos

##### 4.1. Yesos puros

Los sustratos ricos en yeso suelen ser muy infiltrables y permeables, hecho que origina que la escorrentía del agua de lluvia sea baja (DESIR et al., 1992; GUTIÉRREZ ELORZA et al., 1995). Esta escasa escorrentía es un factor que condiciona las bajas tasas de erosión medidas sobre estos sustratos. Así, se han cuantificado pérdidas de 10.4 tm/ha/año en laderas solanas de 22° de pendiente y con 30% de cobertura vegetal (DESIR et al., 1992), si bien en años normales estas tasas no suelen sobrepasar los 0.8 tm/ha/año (GUTIÉRREZ ELORZA et al., 1995) (Tabla 1).

Frente a la escasa erosión de partículas, la denudación química por disolución es muy elevada (NAVAS, 1988; NAVAS, 1990). Ello se debe a la alta permeabilidad y conductividad hidráulica de estos sustratos, junto a la facilidad de disolución del sulfato cálcico. En su recorrido a través del suelo, las aguas infiltradas se van saturando en yeso, intercambiando el calcio por otros cationes retenidos en el complejo de cambio. Ello produce un total barrido de los mis-

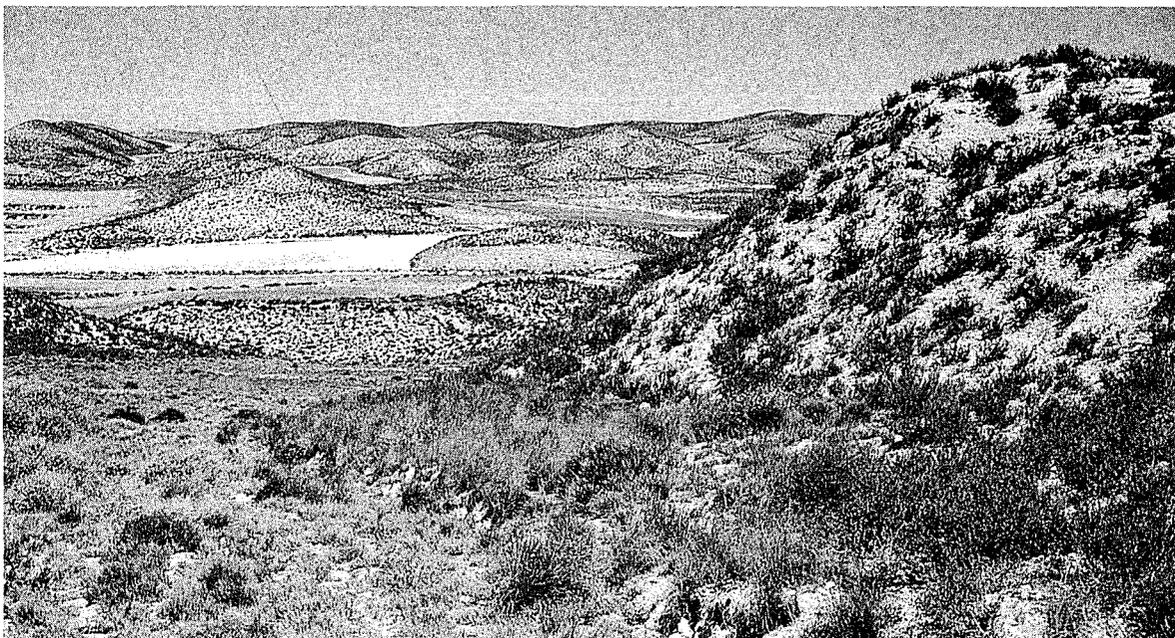


Foto 1. Una vista de los yesos puros miocenos de la Depresión del Ebro, Alfajarín (Zaragoza).

mos, con el consiguiente empobrecimiento nutricional del suelo. De esta manera, se origina un importante lavado en profundidad de sales y nutrientes que, junto con el agua, son exportados fuera de los horizontes superficiales. Estas soluciones salinas descenden por el fondo de las vales hasta alcanzar el río Ebro, contribuyendo al aumento de su salinidad (ALBERTO y LEBRÓN, 1984; ALBERTO et al., 1984).

De esta manera, podemos hablar de una importante erosión química y una escasa erosión de partículas. La segunda se produce por erosión superficial laminar en los interregueros y, de manera menos importante en los regueros, mientras que los movimientos en masa y las cárcavas están poco extendidas.

Los fenómenos erosivos comentados hasta ahora, se han referido a los yesos puros. Pero los procesos erosivos en los yesos mezclados pueden ser muy diferentes. La diferente proporción de yeso en estos sustratos propicia unos comportamientos geomorfológicos distintos, siendo más parecidos a los que se producen sobre las arcillas miocenas cuanto menor es la proporción de yeso.

#### 4.2. Arcillas miocenas

En general, las arcillas miocenas del Valle del Ebro son sustratos que poseen baja capacidad de infiltración de agua, lo cual origina una fuerte escorrentía ante los eventos lluviosos. En experimentos de lluvia simulada, el coeficiente de escorrentía alcanza el 70-80%, mientras que en los yesos puros del centro de la Depresión del Ebro no suele superar el 35% (GUTIÉRREZ ELORZA et al., 1995). En estas mismas experiencias, el frente de humedad solamente suele alcanzar

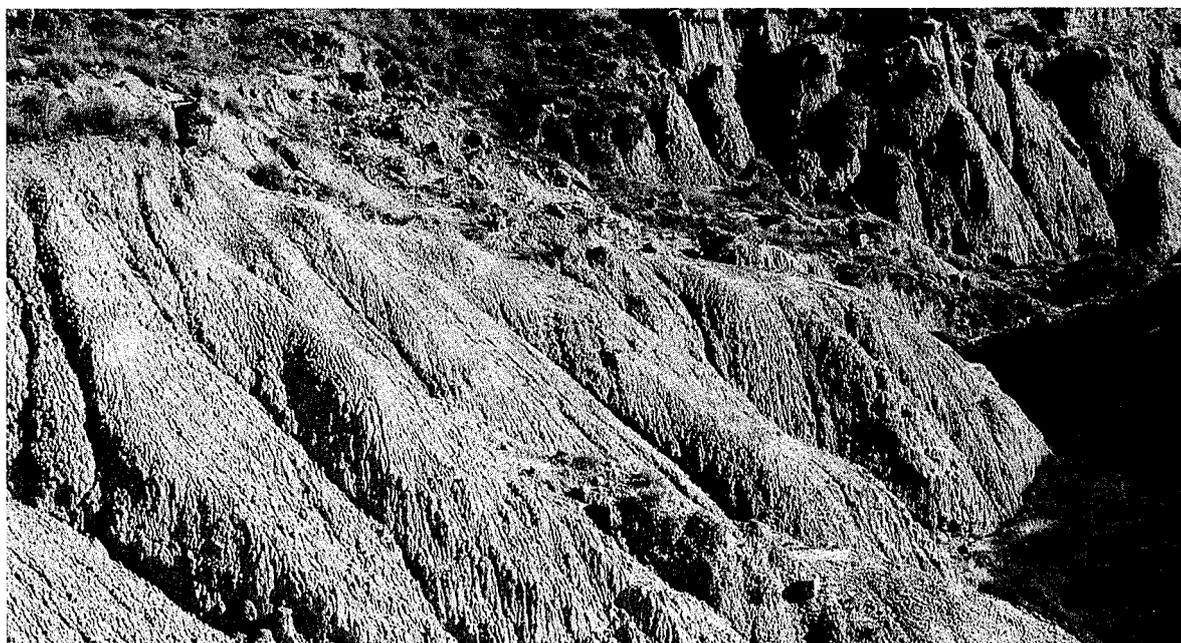


Foto 2. Áreas acarcavadas en las arcillas miocenas, Ayerbe (Huesca).

1.7 cm de profundidad, frente a los más de 20 cm que alcanza en los yesos (Tabla 1). En lo que respecta a la comparación con las margas eocenas, CERDÀ (1995) ha observado que generalmente las margas todavía poseen menor capacidad de infiltración que las arcillas.

En los suelos arcillosos, la erosión y el transporte de partículas pueden llegar a ser muy importantes, sobre todo cuanto más alto es el pH y el contenido en sodio en el complejo de cambio, factores que hacen aumentar la dispersividad de estos materiales (LEBRÓN HERNANDO, 1988). Así, la erosión sobre las arcillas ricas en sodio se produce en cualquier tipo de evento lluvioso, mientras que sobre las arcillas con bajo contenido en sodio, tan sólo las lluvias considerables producen sedimentos (BENITO et al., 1991). Además, el alto contenido en sodio provoca importantes fenómenos de erosión subsuperficial o "piping" (GUTIÉRREZ et al., 1988; GUTIÉRREZ et al., 1994). Los "pipes" llegan a colapsarse, formando regueros que ocasionan un aumento de la erosión en las zonas interregueros. Como consecuencia de ello, la erosión en las laderas es tan elevada en los regueros como en las zonas entre éstos. Sin embargo, en los fondos de valle, la mayor parte de la pérdida de suelo se produce por procesos de arroyada que actúan sobre las zonas de interregueros (BENITO et al., 1991).

En la Tabla 1 se resumen algunos de los resultados de los trabajos realizados sobre estos temas. BENITO et al. (1991) midieron unos rebajamientos superficiales de 14 a 22 mm/año en laderas con alto contenido en sodio, mientras que las tasas son de 8 a 20 mm/año en laderas con bajo contenido en sodio. Por el método de los colectores, se obtienen entre 102 y 258 tm/ha/año en las parcelas situadas en Lanaja, una de las zonas comprendidas en el área de este estudio (GUTIÉRREZ ELORZA et al., 1995). Estos resultados ponen de manifiesto la extrema diferencia en tasas de erosión que se dan en las arcillas respecto a los yesos puros, diferencias que llegan a alcanzar dos órdenes de magnitud.

La topografía suave y la baja pluviosidad del territorio, condicionan unos procesos erosivos con escasos movimientos en masa. La erosión en cárcavas es en ocasiones importante, pero no tanto como en las margas eocenas. Sin embargo, se trata de un sustrato con características muy variables, dependiendo no sólo de la topografía y el contenido en sodio, sino también de la existencia y grosor de las bandas de arenisca intercaladas entre las arcillas.

### 4.3. Margas eocenas

Los sustratos de margas suelen ser altamente impermeables cuando están desnudos de vegetación (CERDÀ, 1995). No se poseen muchos datos acerca de la erosión en las margas eocenas del Prepirineo, exceptuando algún trabajo realizado en la alta cuenca del Llobregat, en el Pirineo Catalán. CERVERA et al. (1991) midieron una tasa media de escorrentía del 50% en lluvia simulada de 20 mm/h

durante 2 h. La tasa de escorrentía calculada sobre las arcillas miocenas por GUTIÉRREZ ELORZA et al. (1995) alcanza valores en ocasiones superiores al 75 u 80% de la lluvia caída. No obstante, estos datos no son directamente comparables debido a que la lluvia simulada en el segundo caso tenía doble intensidad que en el primero.

Estas margas eocenas, además de poseer una roca madre muy deleznable y presentar un alto coeficiente de escorrentía, se ubican en zonas de relieve pronunciado y alta pluviosidad (730 mm anuales de media), lo cual origina que las tasas de erosión sean muy elevadas en algunos lugares (CERVERA et al., 1991). De hecho, se ha constatado que las margas eocenas del Pirineo aportan muchos materiales a los ríos, especialmente gravas (CLOTET PERARNAU, 1984). Los sustratos margosos han sido considerados generalmente como los más proclives a la erosión (LÓPEZ-BERMÚDEZ y ALBALADEJO, 1990).

Los procesos de erosión suelen ser bastante diferentes a los que se dan en los dos sustratos ya comentados. Aquí, la erosión por cárcavas ("gullies") es muy importante, y se produce como consecuencia directa de procesos como la erosión remontante, el encajamiento de la red de drenaje, el aumento del caudal medio de las corrientes de agua o el de sus caudales punta. Por ello, podemos decir que las cárcavas tienen su origen directo en la acción fluvial. Estos cambios en el comportamiento de la red de drenaje se han originado -entre otros- por los efectos hidrológicos de la deforestación del territorio (HUDSON, 1982), que se produjo principalmente en el siglo pasado y comienzos de éste, pues desde mitad de nuestro siglo la vegetación se ha recuperado espontáneamente (GARCÍA-RUIZ, 1996). A pesar de ello, muchas áreas permanecen con grandes cárcavas, debido a que cuando se abre una "herida" en el paisaje, los procesos erosivos se autoalimentan e impiden la colonización vegetal (HUDSON, 1982; MORGAN et al., 1990; THORNES, 1985). De este modo, la erosión iniciada en el pasado se perpetúa en el tiempo, pudiendo extenderse en el espacio mientras no se estabilicen las laderas y disminuya la pendiente. Estos procesos de autoalimentación parecen ser muy comunes en las margas eocenas, si bien tampoco son raros en las arcillas de la Depresión del Ebro.

En un estudio llevado a cabo en los "badlands" margosos del sureste español (desde Valencia hasta Almería), CALVO-CASES et al. (1991) observan que el proceso erosivo dominante en este tipo de sustrato suele ser el "rilling" (o erosión en los regueros y barranquillos), que se produce especialmente durante el otoño e invierno. Sin embargo, durante el verano los procesos de humectación y secado son responsables de la destrucción de los regueros, ya que estos sustratos presentan un fuerte hinchamiento. Al formarse de nuevo éstos, se desestabilizan las áreas interregueros y se originan pequeños movimientos en masa. Estos fenómenos se producen a pequeña escala, y su intensidad depende de las tormentas



Foto 3. Cárcavas en las margas eocenas, Foradada del Toscar (Huesca).

anuales. Así, se encuentran cambios en la evolución geomorfológica que son debidos tanto a procesos intrínsecos (ya que debe producirse un equilibrio interno de los “badlands”), como extrínsecos (debido a cambios en los usos del suelo, en la climatología o en la tectónica) (CALVO-CASES et al., 1991).

Es posible que en las margas eocenas del Prepirineo, la dinámica erosiva presente similitudes con la descrita en el párrafo anterior, sin embargo, los mecanismos que desencadenen estos fenómenos serán probablemente diferentes debido en parte a las diferencias climáticas entre unas y otras cárcavas margosas. En este contexto cabría señalar un estudio llevado a cabo en la cabecera del Llobregat (Pirineo catalán), con un clima más húmedo y frío que el de las margas objeto de este trabajo, y una litología predominante de arcillas garumnianas (CLOTET-PERARNAU et al., 1988). Bajo estas condiciones, los autores sugieren que los procesos y tasas de erosión están controlados por la meteorización, que se produce durante el invierno gracias a las heladas. El transporte de sedimentos, sin embargo, está más controlado por los eventos lluviosos (CLOTET-PERARNAU et al., 1988).

#### 4.4. Flysch

En las áreas de flysch, la tasa de infiltración suele ser baja en zonas con escasa cobertura vegetal, como muestran los altos coeficientes de escorrentía -del 63% de media-, y los 6 cm de profundidad media del frente de humedad (Ruiz-

Flaño et al., datos inéditos). Estas medidas se han llevado a cabo con lluvia simulada en campos abandonados.

Estos materiales poseen una textura con un alto contenido en arcillas, que le dan una buena cohesión, mayor que la que poseen las margas eocenas. Dicha cohesión, unida a la mayor densidad que suele tener la vegetación de estas áreas, determinan que la tasa de liberación de sedimentos a la red hidrográfica sea menor que en el caso de las margas, concretamente se calcula que es de un 25 % en las margas y depósitos cuaternarios y 18.3 % en el flysch (ver: RUIZ-FLAÑO, 1993).

El flysch reacciona muy homogéneamente a la erosión, de modo que la estructura desempeña un papel poco destacado a la hora de explicar los diferentes procesos erosivos que en este sustrato se producen, a excepción de algunos, principalmente de los movimientos en masa (GARCÍA-RUIZ y PUIGDEFÁBREGAS-TOMÁS, 1982). Los problemas erosivos están menos extendidos que en las margas eocenas, apareciendo tan sólo en lugares especialmente proclives, como los que tienen una elevada pendiente o están cerca de corrientes de agua, lugares que generalmente también han sido sometidos a una fuerte explotación humana (GARCÍA-RUIZ y LASANTA-MARTÍNEZ, 1990; RUIZ-FLAÑO, 1993).

Los procesos más espectaculares se producen como consecuencia de erosión remontante o movimientos en masa (RUIZ-FLAÑO, 1993) y la evolución de las vertientes responde también a estos movimientos y a la acción fluvial (GARCÍA-RUIZ y PUIGDEFÁBREGAS-TOMÁS, 1982). Los movimientos en masa son importantes por ser elevadas la precipitación, las pendientes y su inestabilidad. Dicha inestabilidad viene generada por la estructura de los materiales, ya que su fina estratificación en lajas duras y capas blandas alternativas facilita los deslizamientos, siempre dependiendo de la pendiente y del buzamiento de los estratos. Estos movimientos en masa, así como la reptación lenta y los desprendimientos locales profundos, se producen habitualmente en lugares donde la acción del hombre no ha sido muy elevada y donde existe una buena cubierta vegetal que favorece la infiltración (GARCÍA-RUIZ y PUIGDEFÁBREGAS-TOMÁS, 1982).

Sin embargo, los campos abandonados, especialmente los situados en fuertes pendientes, presentan una escorrentía superficial y un arroyamiento difuso elevado, que puede dar lugar a enlosados de piedra por lavado de materiales finos o bien a ríoglas y desprendimientos (GARCÍA-RUIZ y PUIGDEFÁBREGAS-TOMÁS, 1982). Así, en diversos campos abandonados del área de estudio, RUIZ-FLAÑO (1993) encuentra una extendida erosión difusa sobre el 46% de la superficie total, mientras que las incisiones, situaciones de enlosado de piedras y movimientos en masa son menos abundantes en estas áreas.

En las redes de drenaje los procesos erosivos y de ladera son importantes, el encajamiento de la red fluvial causa desprendimientos en los márgenes y cabezas, reactivando a otros cauces mediante erosión remontante (GARCÍA-RUIZ y PUIGDEFÁBREGAS-TOMÁS, 1982).

## 5. Vegetación

### 5.1. Yesos

La vegetación natural que hoy encontramos en las áreas ricas en yeso, carece casi por completo de árboles. Las comunidades originales eran formaciones arbóreas muy poco densas de sabina albar (*Juniperus thurifera*), acompañada de *Rhamnus lycioides*, *Juniperus phoenicea* y *Ephedra nebrodensis*, formaciones que hoy en día son escasas en estas áreas (BOLÒS I CAPDEVILA, 1987; BRAUN-BLANQUET y BOLÒS, 1957).

La acción del hombre ha favorecido otras comunidades herbáceas y arbustivas. Así, las laderas y partes altas de las colinas están cubiertas por matorrales bajos, de poca densidad y con fisonomía bastante uniforme, aunque florísticamente variados. Son comunidades de la clase *Ononido-Rosmarinetea*, que generalmente corresponden a la alianza *Rosmarino-Ericion*. En las zonas altas de las colinas de yeso, predominan especies como: *Rosmarinus officinalis*, *Koeleria vallesiana*, *Linum suffruticosum*, *Fumana ericoides*, *Helianthemum syriacum*, *Thymus vulgaris*, etc. (BRAUN-BLANQUET y BOLÒS, 1957). Además, en estas áreas aparecen especies características de los yesos. BRAUN-BLANQUET y BOLÒS (1957) conjugan en la alianza *Gypsophilion* las comunidades de estas áreas, que han sido investigadas fitosociológicamente por otros autores (MOLINA et al., 1993). Entre las plantas exclusivas de los yesos cabe destacar a: *Helianthemum squamatum*, *Herniaria fruticosa* y *Gypsophila hispanica*.

Los suelos profundos y bien drenados de estas áreas, están ocupados generalmente por dos órdenes: *Thero-Brachypodietalia* y *Lygeo-Stipetalia*. El primero suele ocupar las laderas umbrías u otras zonas relativamente húmedas, en ocasiones bajo cubierta de pinar. Las especies más representativas son: *Brachypodium ramosum*, *Dactylis glomerata* y *Phlomis lychnitis* (BRAUN-BLANQUET y BOLÒS, 1957). El segundo orden está dominado por grandes graminéas xéricas: *Lygeum spartum*, *Agropiron cristatum* y, en ocasiones *Stipa parviflora*, constituyendo los conocidos espartales del centro de la Depresión. Bajo su cubierta crecen en los años húmedos gran cantidad de especies vegetales de vida efímera (BRAUN-BLANQUET y BOLÒS, 1957; HODGSON et al., 1994).

En las zonas más bajas, con suelos todavía más profundos, y sometidos generalmente a pastoreo, dominan arbustos como el sisallo (*Salsola vermiculata*) y,

si hay más humedad en el suelo: *Atriplex halimus* y *Camporosma monspeliaca*. En estas zonas también abundan multitud de pequeñas plantas anuales.

Los campos abandonados y otras zonas que han sufrido fuertes perturbaciones, se caracterizan por el dominio de *Artemisia herba-alba* y *Plantago albicans*.

## 5.2. Arcillas

Las amplias áreas que se extienden desde el norte de la Sierra de Alcubierre hasta las Sierras Exteriores del Pirineo, se encuentran principalmente en el dominio de la carrasca (*Quercus ilex* subsp. *ballota*), excepto en las áreas más meridionales, donde se sitúa el dominio del pino carrasco (*Pinus halepensis*). El paisaje vegetal natural se circunscribe a algunos retazos de carrascales que sobreviven entre los campos de cultivo (MONTSERRAT RECORDER et al., 1988).

Las colinas y elevaciones están cubiertas por pastos xerófitos donde abundan algunos arbustos; son zonas bastante pastoreadas y fuertemente erosionadas. Aquí también se encuentran las altas gramíneas xéricas que aparecían en el centro de la Depresión, sin embargo, comienzan a penetrar especies propias de los pastos de la Alianza *Aphyllanthion*, principalmente en las zonas más húmedas. Entre las especies abundantes se encuentran: *Avenula bromoides*, *Aphyllantes monspeliensis*, *Bupleurum fruticosum* o *Eryngium campestre*. En las áreas más degradadas sobreviven: *Salsola vermiculata*, *Artemisia herba-alba*, *Genista scorpius*, *Atractylis humilis* y algunas gramíneas como *Brachypodium ramosum*, *Festuca* gr. *indigesta* y *Koeleria vallesiana*.

En las depresiones y zonas bajas, junto a los abundantes campos de cultivo, dominan arbustos como *Retama sphaerocarpa*, *Atriplex halimus*, *Salsola vermiculata*, *Artemisia herba-alba*, etc.

## 5.3. Margas eocenas

En las Sierras Exteriores del Pirineo y en la Depresión Intrapirenaica, el piso de la carrasca (*Quercus ilex* subsp. *ballota*) va siendo sustituido por el del quejigo. *Quercus faginea* domina en las zonas más secas y meridionales, siendo reemplazado más al norte por la estirpe *Quercus x subpyrenaica*, constituida por diversos híbridos de *Quercus faginea* con *Q. pubescens*.

Sobre los pesados suelos de las margas eocenas, de gran retención hídrica, la comunidad climática corresponde a los quejigares de *Quercus x subpyrenaica*. Sin embargo, la actividad antrópica ha transformado fuertemente el paisaje y ha favorecido la dominancia de especies como *Pinus nigra* subsp. *salzmannii*, que crece sobre los suelos más pobres y degradados. A este pino le acompañan *Buxus sempervirens*, *Arctostaphylos uva-ursi*, *Juniperus oxycedrus* y *J. phoe-*

*nicea*, especies capaces de soportar un fuerte estrés hídrico y térmico (MONTSERRAT RECORDER et al., 1988).

La importante degradación del suelo ha abierto grandes cárcavas sobre las margas grises. Las especies arbóreas dominantes (*Pinus nigra* subsp. *salzmannii* y *Quercus x subpirenaica*) apenas pueden sobrevivir y ceden el terreno a arbustos como: *Genista scorpius*, *Thymus vulgaris*, *Globularia vulgaris*, *Lithodora fruticosa* o *Linum suffruticosum* var. *milleti*. Entre las herbáceas destacan: *Brachypodium ramosum*, *Avenula pratensis* subsp. *iberica*, *Festuca gr. indigesta* y *Erucastrum nasturtiifolium*.

#### 5.4. Flysch

Los aproximadamente 1000 m de altitud y 1000 mm de precipitación anual de estas áreas, determinan un fuerte cambio en la vegetación respecto a la que aparece en las margas. Estos ambientes corresponden al dominio del pino albar o rojo (*Pinus sylvestris*).

En las áreas degradadas y con suelos pobres, pueden dominar el paisaje *Echinopartum horridum* y *Arctostaphylos uva-ursi*, especies que también aparecen en las margas de mayor altitud. Las áreas degradadas suelen estar expuestas al sur, siendo lugares desfavorables para la vida vegetal. En verano son cálidas y secas por recibir fuerte insolación, mientras que en invierno deben soportar temperaturas muy bajas, con fuertes heladas primaverales y otoñales. Sobre estas zonas crecen ejemplares de *Pinus sylvestris*, pero no se sabe si estos pinares constituyen la comunidad climática de estas áreas o bien correspondería ésta a los quejigares, cuyas especies están excluidas debido a la pobreza del suelo (VIGO y NINOT, 1987). Hoy, en las zonas más degradadas encontramos mayoritariamente pastos xerófitos con pequeños arbustos, siendo las especies más abundantes: *Genista scorpius*, *Linum apperessum*, *Teucrium chamaedrys*, *Buxus sempervirens* y *Dorycnium pentaphyllum*. Entre las herbáceas aparecen: *Koeleria vallesiana*, *Bromus erectus* y *Carex flacca*.

### 6. Patrones de la vegetación en las áreas más erosionadas.

#### Interpretación general y conclusiones.

Las grandes diferencias climáticas y litológicas que se encuentran en el área estudiada, originan que los procesos erosivos en las diferentes áreas sean también muy diversos y distintos entre sí. La vegetación y los patrones y características de las especies en las áreas erosionadas responden y son en parte explicados por los procesos erosivos, así como por el clima y la litología.

En las colinas y zonas altas de los yesos casi puros, la escasa precipitación (especialmente en verano), se une a la elevada infiltración de los suelos, hacien-

do que la vegetación se vea sometida a un fuerte estrés (sensu GRIME, 1979), determinado en primer lugar por la carencia de agua. Esta carencia se ve incrementada por la alta concentración de sales que tienen estas litologías, que produce en las plantas una sequedad fisiológica añadida. Además, hay una gran pobreza de nutrientes, debido en gran parte a que son lavados y exportados a los horizontes profundos y a las zonas bajas. Este fuerte estrés hídrico y nutricional está unido a una alta estabilidad física del suelo (baja perturbación sensu GRIME, 1979), debida a los escasos fenómenos de perturbación extrínseca (pastoreo, pisoteo...) y a las bajas tasas de erosión. Todos estos factores implican que los patrones de distribución de las plantas respondan claramente a la topografía (GUERRERO-CAMPO y MONTSERRAT MARTÍ, 1996). Este claro patrón espacial está determinado en primer lugar por los gradientes de ladera y secundariamente por los de exposición, causando fuertes diferencias en la composición florística, mayores que las que se dan en ambientes más dinámicos como por ejemplo en las margas eocenas (GUERRERO-CAMPO y MONTSERRAT MARTÍ, 1996). De esta manera, las zonas más degradadas de estos ambientes parecen poseer una serie de especies más o menos propias de las zonas más erosionadas, algo que no se observa tan claramente en las margas (GUERRERO-CAMPO y MONTSERRAT MARTÍ, 1997 b).

En las áreas más desnudas de vegetación de los yesos puros, las plantas se distribuyen uniformemente, denotando la fuerte carencia de recursos, tal como ocurre en zonas muy áridas. Esta carencia generalizada de recursos hace que las plantas capaces de resistir en las zonas con menor cubierta vegetal tengan las características típicas de las estrés tolerantes (HODGSON et al., 1994).

Parece pues tratarse de un paisaje con escasa evolución actual de relieves. La denudación que originó los profundos horizontes de las vales (valles de fondo llano) es muy débil en la actualidad, y esta misma imagen de la dinámica geomorfológica podría ser aplicada al paisaje vegetal: sin apenas dinamismo, las plantas colonizan a un ritmo lentísimo las áreas que en un tiempo fueron despojadas de vegetación.

Conforme nos alejamos del Centro de la Depresión, los yesos aparecen mezclados con las arcillas miocenas. Ello hace que el comportamiento sea intermedio entre uno y otro sustrato, e incluso que tenga más parecidos a los patrones vegetales que se dan en las arcillas. En esta última litología, la vegetación presenta patrones bastante heterogéneos por la gran diversidad en la estructura y comportamiento de estos materiales litológicos. En muchos aspectos, podemos considerar que el comportamiento de la vegetación y los patrones de ésta son intermedios entre los que ocurren en los yesos puros y en las margas.

En las margas eocenas, los patrones vegetales son completamente distintos de los que se dan en los yesos puros. Los intensos fenómenos erosivos conllevan un gran efecto perturbador sobre la vegetación, que se vé sometida a descalza-

mientos y enterramientos. La distancia entre las áreas que se erosionan y se sedimentan es muy pequeña, puesto que los dinámicos procesos de erosión que ocurren en estas áreas crean un micro y macromosaico de zonas que se erosionan y que se sedimentan, áreas que en un corto periodo de tiempo pueden pasar de exportar a recibir sedimentos y viceversa. Siguiendo ese patrón geomorfológico, la vegetación también se estructura en forma de mosaicos complejos. Junto a zonas cubiertas completamente de vegetación, e incluso ocupadas por bosque, aparecen otras completamente desnudas. Esta heterogeneidad vegetal a pequeña escala, se traduce en el hecho de que las comunidades aparezcan muy mezcladas florísticamente, siendo difícil separar y aislar las especies características. Además, existen menos especies propias de áreas erosionadas que en ambientes como los yesos puros (GUERRERO-CAMPO y MONTSERRAT MARTÍ, 1996; GUERRERO-CAMPO y MONTSERRAT MARTÍ, 1997 b).

Las especies más resistentes en las zonas intensamente erosionadas y acarcavadas presentan habitualmente la capacidad de reproducirse vegetativamente. Ello les permite sobrevivir al fuerte dinamismo existente en estos medios, así como poder colonizar áreas desnudas muy pobres en recursos a partir de zonas fértiles (GUERRERO-CAMPO y MONTSERRAT MARTÍ, 1997 a).

Así, las cárcavas de las margas eocenas parecen responder a una evolución rápida del paisaje. Un continuo dinamismo en la denudación las distingue claramente de los yesos. En las margas, la vegetación tiene tantos o más problemas para colonizar las zonas acarcavadas, ya que las perturbaciones se unen al estrés hídrico y nutricional. Sólo un cambio de las condiciones ambientales puede hacer posible la colonización vegetal. Este cambio puede ser una estabilización del área, por ejemplo el afloramiento de la roca madre subyacente estable, lo que permitirá la colonización de una serie de plantas especializadas (GUERRERO-CAMPO y MONTSERRAT MARTÍ, 1997 b). Un cambio en las condiciones de la dinámica erosiva o una mejora del suelo, produciría una respuesta mucho más rápida de la vegetación que en los yesos, pues el clima es mucho más favorable que en ellos.

En el flysch, estos patrones vegetales son menos conocidos, pero podemos pensar que en las zonas acarcavadas, la vegetación se comportará de manera más parecida a la de las margas que a la de cualquier otro de los sustratos estudiados.

Así, parece que el fuerte gradiente ambiental existente entre el Valle del Ebro y el Pirineo, unido a las grandes diferencias entre las distintas litologías, ocasiona unos procesos erosivos muy variados, condicionando a su vez unos patrones vegetales muy diversos entre los distintos sustratos.

### **Agradecimientos**

El autor agradece a Mónica Bardají, Constanza González, Duncan Saunders y Blas Valero las correcciones realizadas, así como a Carmen Pérez la elaboración

gráfica y a Jose María García-Ruiz por su información. Gracias especialmente a Gabriel Montserrat y Francisco Alberto por las correcciones y las valiosas ideas aportadas. Este estudio se ha realizado gracias a una beca del Gobierno de Aragón, BMA 15 / 93 concedida al autor, así como al proyecto de la CICYT: *Erosión de suelos tras el abandono de explotaciones agrícolas en montaña media*, AMB93-0806.

### Referencias bibliográficas

- ALBERTO, F. (1989). Consideraciones edáficas sobre la reforestación en el Pirineo Aragonés. En: PUIGDEFÁBREGAS TOMÁS, J. (eds.). *Evolución ecológica de las áreas reforestadas en el Pirineo Aragonés*. Informe para la Diputación General de Aragón., Zaragoza.
- ALBERTO, F. y LEBRÓN, I. (1984). Balance hidrosalino del río Ebro entre Tudela y Zaragoza. I. Usos del agua y balance salino e iónico. *Anales Est. Exp. Aula Dei*, 17, 88-101.
- ALBERTO, F., LEBRÓN, I. y MACHÍN, J. (1984). Balance hidrosalino del río Ebro entre Tudela y Zaragoza. II. Identificación, localización y mecanismos de incorporación de aportes salinos naturales. *Anales Est. Exp. Aula Dei*, 17, 102-114.
- BENITO, G., GUTIÉRREZ, M. y SANCHO, C. (1991). Erosion patterns in rill and interrill areas in badland zones of the middle Ebro basin, (NE-Spain). En: SALA, M., RUBIO, J. L. & GARCÍA-RUIZ, J. M. (eds.). *Soil Erosion Studies in Spain*. Geofoma Ediciones, 41-54, Logroño.
- BOLÒS I CAPDEVILA, O.D. (1987). Cataluña y la Depresión del Ebro. En: PEINADO LORCA, M. & RIVAS-MARTÍNEZ, S. (eds.). *La vegetación de España. Colección Aula Abierta*. Universidad de Alcalá de Henares, 309-347, Alcalá de Henares.
- BRAUN-BLANQUET, J. y BOLÒS, O. (1957). Les groupements vegetaux du Bassin Moyen de l'Ebre et leur dynamisme. *Ann. Est. Exp. Aula Dei*, 5, 1-266.
- CALVO-CASES, A., HARVEY, A.M. y PAYA-SERRANO, J. (1991). Process interactions and badland development in SE Spain. En: SALA, M., RUBIO, J. L. & GARCÍA-RUIZ, J. M. (eds.). *Soil Erosion Studies in Spain*. Geofoma Ediciones, 75-90, Logroño.
- CASTRO-DÍEZ, P. (1996). *Variaciones estructurales y funcionales de los fanerófitos dominantes en las comunidades de encinar a lo largo de un gradiente climático atlántico-mediterráneo*. Tesis Doctoral. Universidad de León.
- CERDÀ, A. (1995). *Factores y variaciones espacio-temporales de la infiltración en los ecosistemas mediterráneos*. Geofoma Ediciones, 151, Logroño.

- CERVERA, M., CLOTET, N., GUARDIA, R. y SOLE-SUGRAÑES, L. (1991). Response to rainfall simulation from scarcely vegetated and non-vegetated badlands. *Catena suppl.*, 19, 39-56.
- CLOTET PERARNAU, N. (1984). La Conca de la Baells (Alt Llobregat): Els processos geomorfològics actuals responsables del subministrament de sòlids i balanc previ de sediments. *Acta Geològica Hispànica*, 19, 177-191.
- CLOTET-PERARNAU, N., GALLART, F. y BALASCH, C. (1988). Medium-term erosion rates in a small scarcely vegetated catchment in the Pyrenees. *Catena Suppl.*, 13, 37-47.
- DE LA RIVA, J. (1994). *Los montes de la Jacetania: caracterización física y explotación*. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza.
- DESIR, G., SIRVENT MIRA, J., GUTIÉRREZ ELORZA, M. y SANCHO MARCÉN, C. (1992). Primeros datos sobre procesos y tasas de erosión en laderas sobre materiales yesíferos, sector central de la Depresión del Ebro. *Estudios de Geomorfología en España*, Sociedad Española de Geomorfología, 45-54.
- GARCÍA-RUIZ, J.M. (1996). Marginación de tierras y erosión en áreas de montaña. En: LASANTA, T. & GARCÍA-RUIZ, J. M. (eds.). *Erosión y recuperación de tierras en áreas marginales*. Instituto de Estudios Riojanos. Sociedad Española de Geomorfología, 33-50, Logroño.
- GARCÍA-RUIZ, J.M. y LASANTA-MARTÍNEZ, T. (1990). Land-use in the Spanish Pyrenees. *Mountain Research and Development*, 50, 266-279.
- GARCÍA-RUIZ, J.M. y PUIGDEFÁBREGAS-TOMÁS, J. (1982). Formas de erosión en el flysch eoceno surpirenaico. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 8, 83-126.
- GLINSKI, J. y LIPIEC, J. (1990). *Soil physical conditions and plant roots*. CRC Press., 250, Boca Raton, Florida.
- GRIME, J.P. (1979). *Plant strategies and vegetation processes*. John Wiley, 222, Chichester.
- GUERRA, D.A. y MONTURIOL, D.F. (1970). *Mapas de suelos de las provincias de Zaragoza, Huesca y Logroño. Memoria explicativa*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 68, Madrid.
- GUERRERO-CAMPO, J. y MONTSERRAT MARTÍ, G. (1996). La vegetación de zonas erosionadas en la Depresión Media del Ebro y en el Prepirineo. Influencia de factores climáticos, topográficos y geomorfológicos en la composición florística de las comunidades vegetales. En: GRANDAL D'ANGLADE, A. & PAGÉS VALCARLOS, J. (eds.). *IV Reunión de Geomorfología*. Sociedad Española de Geomorfología, 749-761, O Castro, A Coruña.
- GUERRERO-CAMPO, J. y MONTSERRAT MARTÍ, G. (1997 a). Importancia de la reproducción vegetativa para la supervivencia de las plantas en zonas muy erosionadas del NE de la Península Ibérica. En: PUERTAS TRICAS, F. RIVAS, M. (eds.). *II Congreso Forestal Español. Irati 97 Vol 2*. Gobierno de Navarra, 379-384, Pamplona.

- GUERRERO-CAMPO, J. y MONTSERRAT MARTÍ, G. (1997 b). Patrones de distribución de las plantas en relación con los procesos erosivos intensos de los yesos de la Depresión del Ebro y de las margas del Prepirineo. En: PUERTAS TRICAS, F. RIVAS, M. (eds.). *II Congreso Forestal Español. Irati 97. Vol. 2.* Gobierno de Navarra, 373-378, Pamplona.
- GUTIÁN-OJEA, F., CARBALLAS, T. y DÍAZ-FIERROS, F. (1973). Suelos de la zona húmeda española: VII. Suelos naturales del Pirineo Oscense. *Pirineos*, 108, 5-40.
- GUTIÉRREZ, M., BENITO, G. y RODRÍGUEZ, J. (1988). Piping in badlands areas of the middle Ebro Basin, Spain. *Catena Suppl.*, 13, 49-60.
- GUTIÉRREZ, M., SANCHO, C., BENITO, G., SIRVENT, J. y DESIR, G. (1994). Procesos generadores de piping en zonas de badlands de la Depresión del Ebro. En: ARNÁEZ, J., GARCÍA RUIZ, J. M. & GÓMEZ VILLAR, A. (eds.). *Geomorfología en España.* Sociedad Española de Geomorfología, 277-285, Logroño.
- GUTIÉRREZ, M., SANCHO MARCÉN, C., DESIR VALEN, G., SIRVENT MIRA, J., BENITO FERRÁNDEZ, G. y CALVO CASES, A. (1995). *Erosión hídrica en terrenos arcillosos y yesíferos de la Depresión del Ebro.* Universidad de Zaragoza. ICONA., 375, Zaragoza.
- HIGUERAS, A. (1981). Los suelos. En: HIGUERAS ARNAL, A. (ed.). *Geografía de Aragón. Tomo 1.* Guara Editorial, 185-203, Zaragoza.
- HODGSON, J., MONTSERRAT, G., ALBERTO, F., GARCÍA RUIZ, J.M., GUERRERO, J. y COLASANTI, R. (1994). A comparison of the functional characteristics of plants from sedimenting and eroded areas with particular reference to the gypsum hills of the Ebro Depression. En: ARNÁEZ, J., GARCÍA RUIZ, J. M. & GÓMEZ VILLAR, A. (eds.). *Geomorfología en España.* Sociedad Española de Geomorfología, 239-251, Logroño.
- HUDSON, N. (1982). *Conservación del suelo.* Editorial Reverté, 335, Barcelona.
- IBÁÑEZ, M.J. y MENSUA, S. (1976). Contribución al estudio de vertientes en condiciones semiáridas. Tipos de vertientes sobre yesos en el valle del Ebro. *BoL. Real Soc. Geográfica*, 112, 381-394.
- IGME (1971). *Mapa Geológico de España 1:200.000. Lérida. n° 33.* Instituto Geológico y Minero de España, 31, Madrid.
- IGME (1980). *Mapa Geológico de España 1:200.000. Huesca n°23.* Instituto Geológico y Minero de España, 54, Madrid.
- IGME (1980). *Mapa Geológico de España 1:200.000. Zaragoza n° 32.* Instituto Geológico y Minero de España, 33, Madrid.
- IGME (1981). *Mapa Geológico de España 1:200.000. Tudela n°22.* Instituto Geológico y Minero de España, 16, Madrid.
- LEBRÓN HERNANDO, I. (1988). *Suelos salino-sódico-alcalinos de la Depresión Media del Ebro. Condicionantes de formación, características y propiedades.* Universidad de Zaragoza. Facultad de Ciencias.

- LÓPEZ-BERMÚDEZ, F. y ALBALADEJO, J. (1990). Factores ambientales de la degradación del suelo en el área mediterránea. En: ALBALADEJO, J., STOCKING, M. A. & DÍAZ, E. (eds.). *Degradación y regeneración del suelo en condiciones ambientales mediterráneas*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas., 15-46, Murcia.
- MAPA (1987). *Clasificación agroclimática de la provincia de Zaragoza*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 195, Madrid.
- MAPA (1991). *Clasificación agroclimática de la provincia de Huesca*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 183, Madrid.
- MOLINA, A., LOIDI, J. y FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, F. (1993). Sobre las comunidades de matorral de la Depresión del Ebro (España). *Botánica Complutensis*, 18, 11-50.
- MONTSERRAT RECORDER, P., GASTÓN NICOLAS, R., GÓMEZ GARCÍA, D., MONTSERRAT MARTÍ, G. y VILLAR PÉREZ, L. (1988). *Enciclopedia Temática de Aragón. Tomo 6. Flora*. Ediciones Moncayo, 325, Zaragoza.
- MORGAN, R.P.C., RICKSON, R.J. y WRIGHT, E. (1990). Regeneration of degraded soils. En: ALBALADEJO, J., STOCKING, M. A. & DÍAZ, E. (eds.). *Degradación y regeneración del suelo en condiciones ambientales mediterráneas*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas., 69-86, Murcia.
- NAVAS, A. (1988). *La participación de los yesos en la salinización de las aguas superficiales de la Cuenca del Ebro*. Facultad de Ciencias. Universidad de Zaragoza.
- NAVAS, A. (1990). The effect of selected physiographic factors on dissolved gypsum transport by simulated runoff on gypsiferous soils. *Catena*, 17, 409-416.
- QUIRANTES, J. (1977). *Estudio sedimentológico y estratigráfico del Terciario continental de los Monegros*. Institución Fernando el Católico. C.S.I.C., 200, Zaragoza.
- RIVAS-MARTÍNEZ, S. (1987). *Memoria del mapa de series de vegetación de España*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. ICONA., Madrid.
- RUIZ-FLAÑO, P. (1993). *Procesos de erosión en campos abandonados del Pirineo*. Geofoma Ediciones, 191, Logroño.
- SUÁREZ CARDONA, F., SAINZ OLLERO, H., SANTOS MARTÍNEZ, T. y GONZÁLEZ BERNÁLDEZ, F. (1992). *Las estepas ibéricas*. Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 160, Madrid.
- TERRADAS, J. (1986). El paisatge vegetal dels Monegros: assaig d'interpretació. *Orsis*, 2, 71-95.
- THORNES, J.B. (1985). The ecology of erosion. *Geography*, 70, 222-235.
- VIGO, J. y NINOT, J.M. (1987). Los Pirineos. En: PEINADO LORCA, M. y RIVAS-MARTÍNEZ, S. (eds.). *La vegetación de España. Colección Aula Abierta*. Universidad de Alcalá de Henares, 350-384, Alcalá de Henares.
- WATSON, A. (1979). Gypsum crusts in deserts. *J. Arid Environ.*, 2, 3-20.

