



ABRIR CAPÍTULO 7

8. LOS ELEMENTOS DEL RELIEVE EN LA RESTAURACIÓN DEL PAISAJE. UN EJEMPLO

En este capítulo tratamos la participación geomorfológica en un proyecto de restauración de un espacio afectado por actividades mineras: uno de los ejemplos de 'estudio del medio físico' en que la contribución del conocimiento geomorfológico es más decisiva, en tanto la problemática atañe directamente a la modificación del relieve original.

En el transcurso de la realización de este trabajo de tesis doctoral, implicado en la clarificación del papel de la Geomorfología en los estudios del medio físico (planificación, EIA, restauración), se tuvo la posibilidad de participar en varios proyectos reales de restauración ambiental, lo cual ha permitido dos cosas: por un lado, aplicar la clasificación del relieve propuesta al nivel de proyectos, en realidad el mismo que la planificación de ámbito local (elementos del relieve); y por otro, profundizar en las aportaciones geomorfológicas a los procesos de restauración ecológica y del paisaje.

Habida cuenta de la similitud existente entre las numerosas explotaciones mineras de toda la zona estudiada, el caso que se describe puede servir como proyecto 'directriz' o 'base' para la restauración de estos espacios.

8.1. GENERALIDADES ACERCA DEL PROYECTO

La restauración del medio afectado por explotaciones mineras cuenta en España con escasa tradición; aparece legislada por primera vez a partir del Real Decreto 2994/1982, del 15 de octubre, según el cual los planes de labores mineras presentados con posterioridad a esa fecha han tenido la obligatoriedad de ir acompañados por un preceptivo plan de restauración. Después del año 1982, la legislación ambiental aplicada a la minería ha experimentado un desarrollo importante, añadiéndose a las disposiciones de carácter estatal las elaboradas por las distintas Comunidades Autónomas; a su vez, a partir del año 1986, ha sido completada con otro tipo de regulaciones, tal y como la relativa a los procedimientos de evaluación de impactos ambientales (R.D. 1302/86).

Sin embargo, las explotaciones mineras realizadas con anterioridad a 1982 no presentan obligación alguna de restauración por parte de los organismos y entidades promotores; por esta razón, ciertas Comunidades Autónomas han puesto en marcha iniciativas para la recuperación ambiental de antiguas minas y canteras, muchas de ellas hoy abandonadas. Éste es el caso de Castilla y León, que en el año 1992 estableció un programa destinado a subvencionar proyectos de restauración. Éstos, debían estar promovidos por entidades locales de zonas mineras, y debían tener por objeto la mejora y recuperación de espacios afectados por antiguas explotaciones incluidas en sus territorios.

El Ayuntamiento de Orejana (Segovia), solicitó y obtuvo a través de un estudio elaborado por nosotros una de estas ayudas para la rehabilitación de una antigua mina de arenas silíceas ubicada en su término municipal (denominada 'La Revilla'), cuyo diseño de restauración es el que se detalla.

8.2. CARACTERÍSTICAS DE LA EXPLOTACIÓN MINERA ABANDONADA

La mina de arenas silíceas La Revilla constituyó una pequeña explotación a cielo abierto, desarrollada por banqueo sucesivo de una ladera tipo cantil carbonático-talud arenoso. La actividad extractiva fue intermitente y de escasa intensidad, habiéndose explotado en los años que estuvo abierta (década de 1970) únicamente un total de unos 110.000 m³ de material.

El avance unidireccional de la extracción —subparalelo a las isohipsas de la ladera— generó un frente de explotación longitudinal irregular en talud subvertical único, con un desarrollo de 290 m, una altura media de 20 m, y una pendiente superior a 65°.

La pureza del material extraído condicionó la existencia de una escasa proporción de estériles, de naturaleza heterogénea: arcillas, arenas, materiales coluvionares de composición carbonática, y antiguos suelos. Las escombreras y bancos de esos materiales se dispusieron anárquicamente, dispersos en la plaza e inmediaciones, o adosados al frente; la pendiente de estos taludes oscilaba entre 25° y 40°.

La plaza consistía en una superficie irregular de pendiente inferior a 4°, delimitada por un lado por el frente, y por el otro por las escombreras de estériles. En su interior existían varias zonas encharcadas, rellenas por aguas pluviales, o bien alimentadas a través de pequeños manantiales; éstos se formaron al haber cortado el antiguo frente de explotación niveles con algún grado de permeabilidad dentro de las arenas; en esas áreas encharcadas se desarrollaba una vegetación específica de freatofitas.

Todo el espacio afectado presentaba una escasa colonización vegetal, impedida por los procesos erosivos activos de arroyada. Aun cuando la vegetación original (potencial) correspondiera a la de un encinar-sabinar basófilo desarrollado sobre formaciones superficiales de naturaleza carbonática, al haber sido eliminado el coluvión para explotar las arenas, las especies que

aparecían colonizando los bancos de estériles y plaza correspondían, casi con exclusividad, a las series de sustitución de encinares sobre sustrato ácido.

8.2.1. Alteraciones en el medio

La explotación minera La Revilla originó una serie de efectos ambientales, cuya caracterización y valoración fue necesaria (Leopold *et al.*, 1971; González Alonso *et al.*, 1991).

Los estudios de impacto ambiental tienen como objetivo primordial identificar, caracterizar y valorar las consecuencias de determinadas actividades humanas en el territorio, normalmente *a priori*; se trata, por tanto, de una técnica eminentemente predictiva. Para el caso que nos ocupa, el estudio de impactos difería de este planteamiento, pues consistió en su identificación y valoración *a posteriori*, es decir, en una situación de abandono de la actividad.

Sin embargo, el objetivo último de este apartado no era un estudio de impactos; se buscaba únicamente caracterizar las causas y los efectos más importantes de la degradación, al objeto de orientar adecuadamente las medidas de restauración.

Al tratarse de un estudio *a posteriori*, la identificación consistió más en una caracterización de las alteraciones, que en la elaboración de hipótesis de afección (Aguiló *et al.*, 1992). Aún así, la identificación se representó mediante una matriz de doble entrada (tabla 8.1), en la que se relacionaron las acciones parciales de la actividad que ocasionaron los impactos, con los elementos y parámetros del medio que fueron afectados, aplicando para ello la metodología elaborada por Leopold *et al.* (1971). Siguiendo el modelo original propuesto por estos autores, se incluyó en dicha matriz una primera valoración de los impactos, en términos de 'magnitud' e 'importancia'. La magnitud es una medida del grado, extensión o escala del impacto, mientras la importancia evalúa su significado real (Leopold *et al.*, *ibidem*). Así por ejemplo, la magnitud de la alteración producida por el hueco generado por la explotación sobre la dinámica de las aguas subterráneas fue alta; sin embargo, su significado real era mínimo, dada la escasa importancia de los niveles acuíferos desarrollados en estas arenas. Por el contrario, las afecciones relativas a la vegetación, uso forestal y natural, o paisaje, aun siendo medias-altas, su significado real era muy elevado; todo ello, debido a la singularidad de los recursos dañados (ver tabla 8.1).

Acciones que han producido impacto				Infraest.		Modificaciones fisiográficas		Elementos y características del medio afectados por la explotación minera	
				Construcción de accesos y caminos interiores	Creación de huecos por extracción de mineral.	Acomulaciones de estériles y escombreras			
MEDIO ABIÓTICO	Gea	Relieve		1	7	5	13	27	
		Suelos		3	6	5	14	35	
	Agua	Superficial	turbidez	3	3	3	9	15	
		Subterránea	niveles perme.	2	6		6	13	
	Procesos	Erosión		3	7	6	16	42	
		Sedimentación		3	6	5	15		
		Fenómenos gravitacionales		2	6	8	16		
	MEDIO BIÓTICO	Flora	Especies y comun. vegetales		2	6	3	11	23
			Capacidad de regeneración		3	6	3	12	34
Fauna		Especies y poblaciones		1	4	3	8	12	
		Hábitat		1	+	3	4	14	
FACTORES CULTURALES	Usos del suelo	Forestal			3	3	6	26	
		Pastos		1	3	3	7		
		Agricultura		1	4	2	7		
		Recreo y ocio			2	1	4		
	Paisaje	Componentes		+	5	4	9	40	
		Cuenca visual		1	7	5	13	38	
		Calidad visual		1	7	6	13		
	Recursos culturales	Recursos natur. singulares			6	4	10	46	
		Valor histórico y arqueológico			6	4	10	15	
					3	2	5	29	
				22	101	75			
				18	137	105			
				22	176			198	
				18		242		260	

Magnitud del impacto

Importancia

Magnitud del impacto



Importancia

Tabla 8.1. Identificación y valoración de los impactos producidos por la explotación abandonada, siguiendo el modelo de Leopold et al. (1971). Adaptado a partir de Ramos et al. (1979) y López Jimeno et al. (1989).

La identificación y valoración fue completada con una cualificación de los impactos (Leopold *et al.*, *op. cit.*; González Alonso *et al.*, 1991). En general, los efectos que permanecieron en la fase de abandono fueron los producidos por las modificaciones fisiográficas que en su día generó la explotación. Tales impactos fueron caracterizados como adversos (negativos), directos, permanentes, localizados en las inmediaciones de la actividad —excepto su alcance visual—, e irreversibles en tanto la acción de los procesos naturales era incapaz de recuperar las condiciones originales. En todo caso, muchas alteraciones podrían ser reversibles con la aplicación de medidas correctoras; sin embargo, el elevado coste que supondría recuperar algunos aspectos, como la morfología, hacía que llegasen a ser inviables económicamente, y por tanto irrecuperables. La superficie afectada de forma directa por la actividad fue de dos hectáreas, más otra hectárea alterada de forma indirecta por procesos de sedimentación de materiales procedentes de la erosión en la mina.

De carácter crítico se estimaron los efectos sobre el relieve y el paisaje, ya que el volumen de material extraído, y con ello la nueva morfología del terreno, imposibilitaban una restitución o restauración de las condiciones de partida.

El impacto sobre el paisaje fue significativo, al haber modificado profundamente la morfología y vegetación originales, e introducido contrastes y desajustes con los elementos del entorno. Dicho efecto aparecía como uno de los más singulares, al insertarse en un medio con una alta calidad paisajística.

Se consideraron impactos severos los generados: sobre las aguas superficiales, por alteración de su dinámica y red de drenaje, así como por un incremento en la escorrentía y en la producción de sedimentos, aumentando la turbidez aguas abajo de la explotación; sobre el suelo, al eliminar la cubierta edáfica original e inducir su erosión y degradación en las inmediaciones del área afectada; sobre la vegetación y los usos del suelo, al destruir la cubierta original (pastizal, matorral de sustitución, y arbolado) y disminuir la superficie forestal y pascícola, así como las posibilidades de uso como espacio natural.

La modificación de la topografía original del terreno produjo además una afección a la dinámica de las aguas subterráneas, al disectar pequeños niveles permeables, y originar flujos difusos en el antiguo frente de explotación. La alteración nunca fue significativa en cuanto a los recursos hídricos, por ser éstos de muy escaso interés; fue considerable, sin embargo, en tanto la formación de estos manantiales, al horadar las arenas, indujo procesos gravitacionales en los materiales suprayacentes. Este origen tuvo un importante deslizamiento traslacional ocurrido en el frente de explotación, el cual movilizó una masa de roca de 800 m³, dejándola en una posición inestable y con evidente riesgo de deslizarse o caer de nuevo (foto 8.3). Otros procesos gravitacionales inducidos en el frente fueron desprendimientos de bloques y avalanchas de rocas, que formaron conos y taludes de derrubios al pie del frente (foto 8.5).

Como severos fueron evaluados también los efectos que indujeron intensos fenómenos de erosión hídrica en toda la superficie afectada directamente por las labores mineras (frente de explotación, plaza y bancos de estériles), con la formación de regueros, acarcavamientos y sufusión, así como la sedimentación producida en los terrenos situados vertiente abajo de la antigua mina.

8.3. OBJETIVOS Y FACTORES CONDICIONANTES DE LA REHABILITACIÓN

La actividad extractiva constituyó una ocupación del territorio de carácter temporal, por lo que la reparación del terreno para instaurar nuevos usos fue el objetivo principal. A la hora de establecer el uso potencial adecuado, se consideró de manera determinante la realidad biofísica (aptitud o capacidad del territorio) y socioeconómica (que fuera aceptado por la población, susceptible de tener utilidad), determinando como uso más idóneo el 'natural', el cual podría simultanearse sin ningún conflicto con actividades de ocio y recreo de baja densidad, incluso silvopastoriles. La elección de este uso final iba a condicionar todo el diseño (morfológico, tipo de suelo, especies a utilizar en la revegetación, etc.).

En base a estas premisas, el objetivo último consistía en sentar las bases para la regeneración de un sistema natural capaz de reemplazar las funciones de las formaciones vegetales originales (masa forestal de encinar-sabinar sobre sustratos carbonáticos). Para ello, se hacía necesario:

- generar una morfología acorde con la de su entorno, capaz de reestablecer los procesos geomorfológicos naturales, y adaptarse a la dinámica morfológica regional;
- instaurar un nuevo equilibrio hidrológico, muy alterado ya con anterioridad a la explotación, y exagerado por ésta;
- favorecer los procesos de formación y evolución de suelo (edafogénesis, biostasia) como sustrato de la actividad biótica;
- establecer una cubierta vegetal inicial, creando las condiciones para que pudiera evolucionar por sí misma, bien de forma natural, bien dentro de un sistema silvopascícola, para llegar a configurar una formación de características similares a la original.

En el momento de abordar el diseño definitivo hubo que atenerse además a otros condicionantes, que pueden resumirse en un presupuesto económico muy reducido (4.800.000 ptas), y un escaso volumen de estériles disponible para utilizar en la rehabilitación.

8.4. EL DISEÑO GEOMORFOLÓGICO

Con todas las premisas señaladas, se trataba de diseñar con los estériles disponibles una morfología capaz de adaptarse a la evolución geomorfológica del entorno, a fin de que la restauración se produjera, en gran parte, de forma natural. Ésta fue, en síntesis, la filosofía del proyecto de rehabilitación: diseñar considerando la historia geomorfológica, la dinámica actual y las tendencias evolutivas del relieve, lo cual permitía poner en práctica un aspecto esencial de nuestra hipótesis de trabajo.

En este sentido, el estudio se apartó del enfoque otorgado a muchos proyectos de lo que se han venido denominando ‘restauraciones ambientales’, ‘ecológicas’ o ‘del paisaje’, excesivamente centrados en la revegetación, o en las consideraciones estéticas, sin tener en cuenta su viabilidad y evolución natural a largo plazo.

La experiencia en muchos de estos casos acaba demostrando que, salvo que exista un mantenimiento indefinido de los sistemas artificiales, cosa poco probable, la dinámica geomorfológica acaba imponiéndose; las superficies restauradas acaban evolucionando entonces de forma natural, y consecuentemente no siempre con los resultados deseados.

8.4.1. El estudio geomorfológico como punto de partida

El paso inicial fue la caracterización morfogenética, tomando como base el estudio geomorfológico realizado para la región (anexo *Análisis Geomorfológico*); a partir del mismo, se elaboró un esquema de detalle (figura 8.1).

A modo de resumen, algunos datos de interés de ese estudio son los siguientes: la explotación se situó en las laderas de un pequeño relieve residual tipo ‘mesa’, culminado por restos de una superficie estructural desarrollada a expensas de rocas dolomíticas; sobre esas laderas, eran frecuentes los regueros y las cárcavas, cuyo origen se estimó natural en buena parte de los casos, si bien con toda seguridad han estado favorecidos por actividades extractivas y procesos de roturación en tiempos históricos.

Tapizando las vertientes aparecían formaciones superficiales coluvionares de granulometría fina (limos), con niveles de mayor tamaño (grava); su naturaleza era esencialmente carbonática, por su formación a expensas de las dolomías suprayacentes a las arenas. Al pie de éstos se situaba un glacis que formaba una delgada cobertera arenosa, el cual enlazaba con la llanura aluvial del río del Pontón.

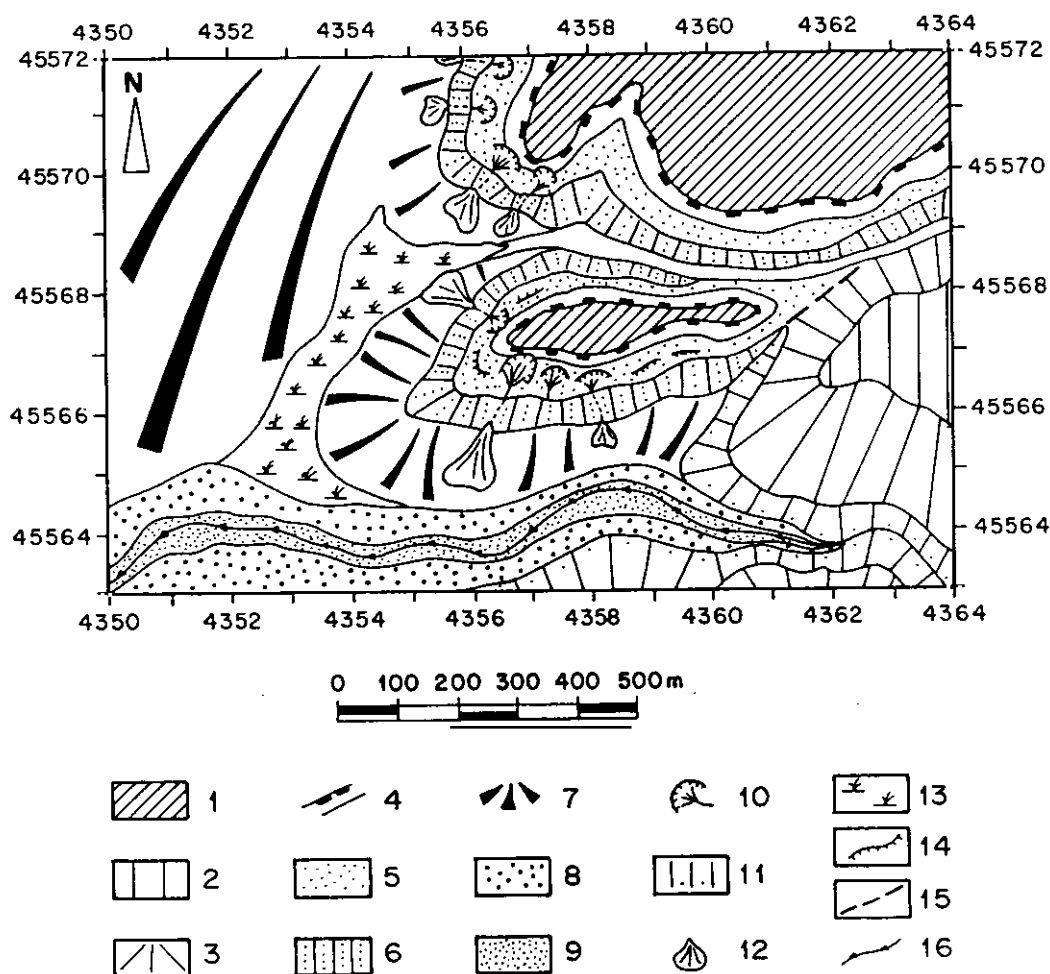


Figura 8.1. Esquema geomorfológico del entorno en el que se ubicó la antigua explotación minera La Revilla. Realizado a partir de fotointerpretación de pares estereoscópicos del año 1946 (vuelo americano, serie A), cuando aún no existía la explotación minera. Ésta se ubicó en el espacio delimitado por las coordenadas 45566-45567 y 4356-4359 (zona acarcavada). Leyenda: (1): superficie de erosión sobre materiales de la cobertera mesozoica, definiendo relieves tabulares (mesas y plataformas); (2) superficie de erosión formando piedemontes; (3) laderas de encajamiento tipo garganta sobre el macizo cristalino; (4) escarpe vertical en series horizontales y subhorizontales; (5) cuesta-talud sobre arenas silíceas; (6) coluvión carbonático; (7) glacis; (8) llanura aluvial o inundable (terrazza actual); (9) lecho menor (depósitos de barras); (10) cárcavas; (11) coluvión silíceo; (12) cono de deyección; (13) nava; (14) bancales agrícolas; (15) línea de falla con expresión morfológica; (16) cauce actual.

8.4.2. La clasificación del relieve

Dalrymple *et al.* (*op. cit.*) llevaron a cabo una clasificación en unidades morfométricas próxima a los elementos del relieve aquí diferenciados, caracterizando a su vez las unidades obtenidas en términos de procesos geomorfológicos y edáficos activos. Dichos autores llevaron a cabo esa clasificación para la mitad norte de Nueva Zelanda, lo que la haría aplicable a regiones con esas características; sin embargo, la idea de clasificación y caracterización es totalmente útil a nuestros propósitos, y únicamente se trataba de establecer los baremos morfométricos en que tienen lugar los distintos procesos para la región. Para ello se procedió a una primera aproximación mediante un estudio regional de las pendientes (figura 8.2).

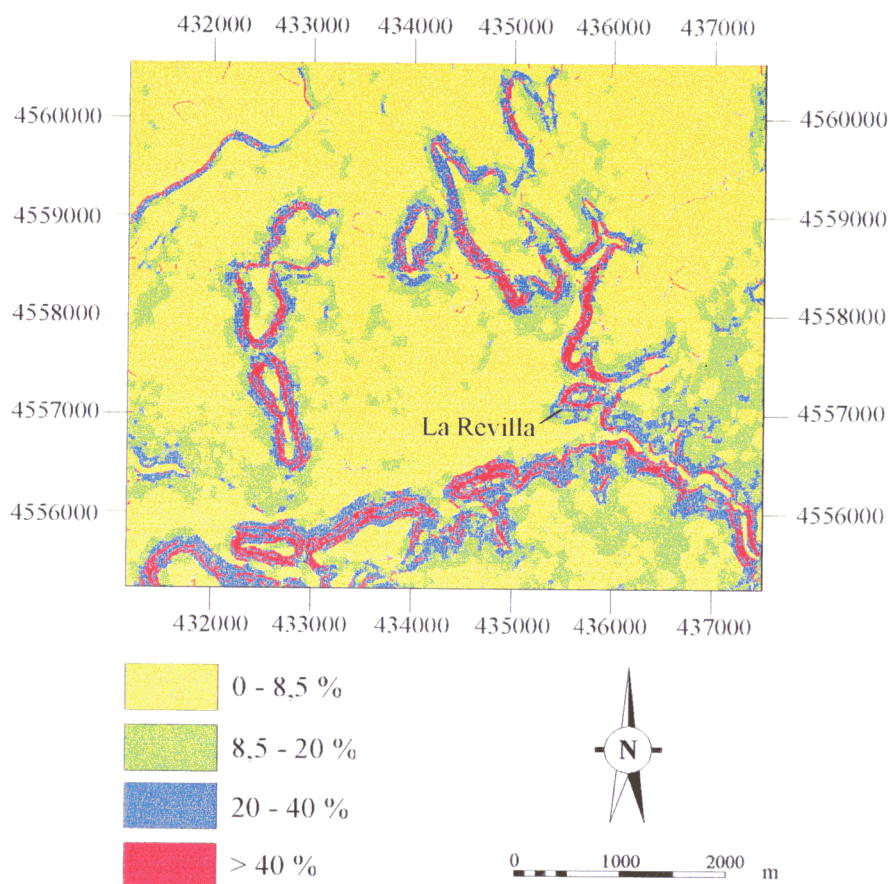


Figura 8.2. Mapa de pendientes del entorno en el que se ubica la explotación minera abandonada. Calculado mediante filtrado bidireccional del modelo digital de elevación (DEM) a partir de los mapas topográficos a escala 1:25.000 del I.G.N., utilizando el sistema de información geográfica ILWIS.

De esa correlación se desprendería lo siguiente: entre 0° y 5° (0-8,5%) aparecen terrenos llanos y relieves subhorizontales, correspondientes, bien a la culminación de relieves estructurales (antiguos niveles de arrasamiento, u horizontalidad de las capas), bien a superficies de exhumación de los materiales cristalinos; también a llanuras aluviales y fondos de valle. Las pendientes entre 5° y 11° (8,5-20%) corresponden en su mayoría a conos de deyección y glacia, desarrollados en el enlace con las llanuras inferiores. De 11° a 21° (20-40%) aparecen formaciones coluvionares, y vertientes de transición con las superficies culminantes. Las partes medias de las laderas de relieves estructurales tipo mesa y frentes de cuestas presentan valores de más de 21° (>40%). Por último, las pendientes superiores a 40° (84%) corresponden a escarpes, cornisas y cortados sobre rocas carbonáticas consolidadas, que culminan las laderas, y a zonas acarcavadas en arenas y arcillas. La configuración general de estas vertientes puede idealizarse como perfiles convexos en las partes superiores y cóncavos en las inferiores; en los flancos rectilíneos de las mesas y cuestas sería planar cóncavo-convexa, y convexa cóncavo-convexa en los cierres periclinales.

A partir de esa aproximación general se pasó a una clasificación morfométrica de detalle, referida ahora al entorno en que se ubicó la explotación. Según la propuesta que hemos venido desarrollando, las unidades distinguidas (elementos del relieve), fueron caracterizadas en términos morfométricos, y de procesos geomorfológicos y edáficos activos (figura 8.3). Dichas unidades y sus propiedades son:

- (1) *Superficie de infiltración (Ga-Ms-Dep/ct-Es/ke)*. Muy ligera convexidad, con pendiente de 0° a 4°. Procesos edáficos dominantes, asociados a la migración de agua y materiales en la vertical del subsuelo. Al desarrollarse sobre materiales dolomíticos, la infiltración produce en último término una carstificación.
- (2) *Ladera de infiltración (Ga-Ms-Dep/ct-Eg/ke)*. Sustrato de dolomías y areniscas dolomíticas. Ladera ligeramente convexa, con pendientes de 4° a 11°. De nuevo, los procesos edáficos son dominantes, debidos al movimiento vertical del agua dentro del suelo; en los rangos de pendiente más elevados comienza a haber movimientos laterales en el subsuelo.
- (3) *Ladera de reptación (Ga-Ms-Dep/ct-El/re)*. Presenta una clara convexidad y su rango de pendientes varía entre los 11° y los 25°. Dominan el lavado lateral y la escorrentía concentrada.
- (4) *Acantilado de caídas (Ga-Ms-Dep/ct-Ee/ce)*. Posee unas pendientes entre 50° y 70°, siendo su valor más común 65°. Se caracteriza por la exposición del material de sustrato (dolomías) y la ausencia de suelo y vegetación. El proceso dominante, y casi exclusivo, son las caídas.
- (5) *Talud de regueros (Ga-Ms-Dct/la-Et/are)*. Presenta pendientes entre 30° y 45°, si bien el valor más común oscila en torno a los 35°. Los procesos geomórficos dominantes son el transporte de material ladera abajo, generalmente por procesos de arroyada concentrada en regueros.
- (6) *Escarpe de cárcavas (Ga-Ms-Dct/la-Ee/ace)*. Pendientes escarpadas, mayores de 45°, con erosión activa de la arroyada concentrada. Se trata de la unidad más activa desde un punto de vista de la erosión hídrica.
- (7) *Talud coluvial (Ga-Ms-Dct/la-Et/cos)*. Aparece con fisonomía rectilínea o ligeramente cóncava. Pendientes entre 15° y 35°, con valores más comunes en torno a 25°. Se trata esencialmente de una zona de redeposición del material procedente de las partes superiores de la vertiente, ya sea por movimientos en masa o, lo más común, por acción de la arroyada, formando un coluvión. Además, aunque de forma minoritaria, tiene lugar un transporte ladera abajo y la migración subsuperficial de material.

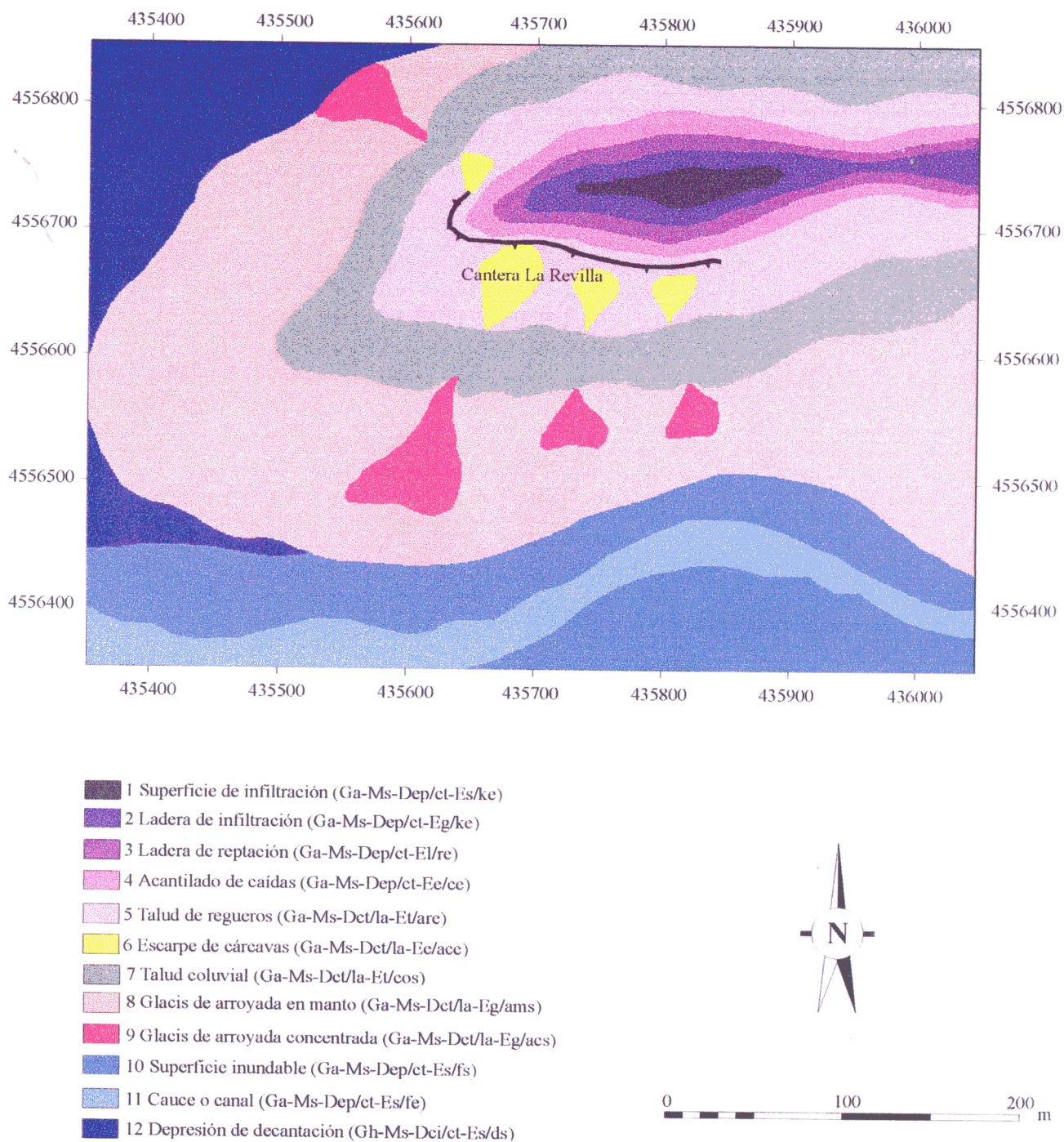


Figura 8.3. Cartografía de elementos del relieve en el entorno en que se ubicó la antigua explotación minera La Revilla

- (8) *Glacis de arroyada en manto (Ga-Ms-Dct/la-Eg/ams)*. Ladera con perfil cóncavo y pendientes que oscilan entre 4° y 15°. A su vez, podría subdividirse en dos unidades: de 4° a 11°, y de 11° a 15°. Dominan los procesos edáficos por movimientos verticales y laterales dentro del suelo y la arroyada en manto (deposición).
- (9) *Glacis de arroyada concentrada (Ga-Ms-Dct/la-Eg/acs)*. Perfil convexo y pendientes entre 4° y 15°. Deposición del material de arroyada procedente de la unidad 'escarpe de cárcavas', en pequeños conos de deyección, con frecuencia de carácter coalescente.
- (10) *Superficie inundable (Ga-Ms-Dcp/ct-Es/fs)*. Perfil morfométrico prácticamente horizontal, en el que son casi exclusivos los procesos de edafogénesis. Esporádicamente tienen lugar procesos de aluvionamiento.
- (11) *Cauce o canal (Ga-Ms-Dcp/ct-Es/fe)*. Área sujeta a la migración del canal principal, y por tanto a fenómenos geomorfológicos directamente relacionados con el funcionamiento de la corriente principal.
- (12) *Depresión de decantación (Gh-Ms-Dci/ct-Es/ds)*. Ocupa las zonas distales de los glacis, donde se acumulan los materiales más finos procedentes de las laderas. Desarrollan por tanto en su interior una formación superficial de tipo aluvial-coluviol (limo-arenosa) con procesos de decantación (arcillas). Por su carácter endorreico, son frecuentes en ellas los fenómenos de encharcamiento e hidromorfismo, con tendencia a la gleización.

8.4.3. El perfil definitivo

Derivado del estudio geomorfológico de partida (historia evolutiva del relieve) y de la caracterización de los elementos en términos de procesos geomórficos y edáficos actuales (tendencias evolutivas), se estimó que el diseño de restauración debía reconstruir un perfil de ladera cuya configuración se adaptase a la evolución de la ladera; es decir: perfil tipo glacis, y enlace con la ladera en forma de coluvión y talud de derrubios.

Esa fisonomía preveía el control de los procesos de esorrentía, así como la evolución en el tiempo de los procesos gravitacionales en el antiguo frente de explotación; con este último objetivo se creyó conveniente dejar un surco a pie del escarpe, cuya función fuera albergar el material procedente de éste, y configurar la citada morfología de ladera según una secuencia: pendiente convexa-escarpe o cantil-talud de derrubios-coluvión-glacis.

La posición concreta del perfil a reconstruir dependía de la cuantificación de los estériles disponibles. Con este objetivo, se realizó un levantamiento taquimétrico a escala 1:500 (con equidistancia entre las curvas de nivel de 1 metro) del área afectada por la explotación en la situación previa a su rehabilitación (figura 8.4).

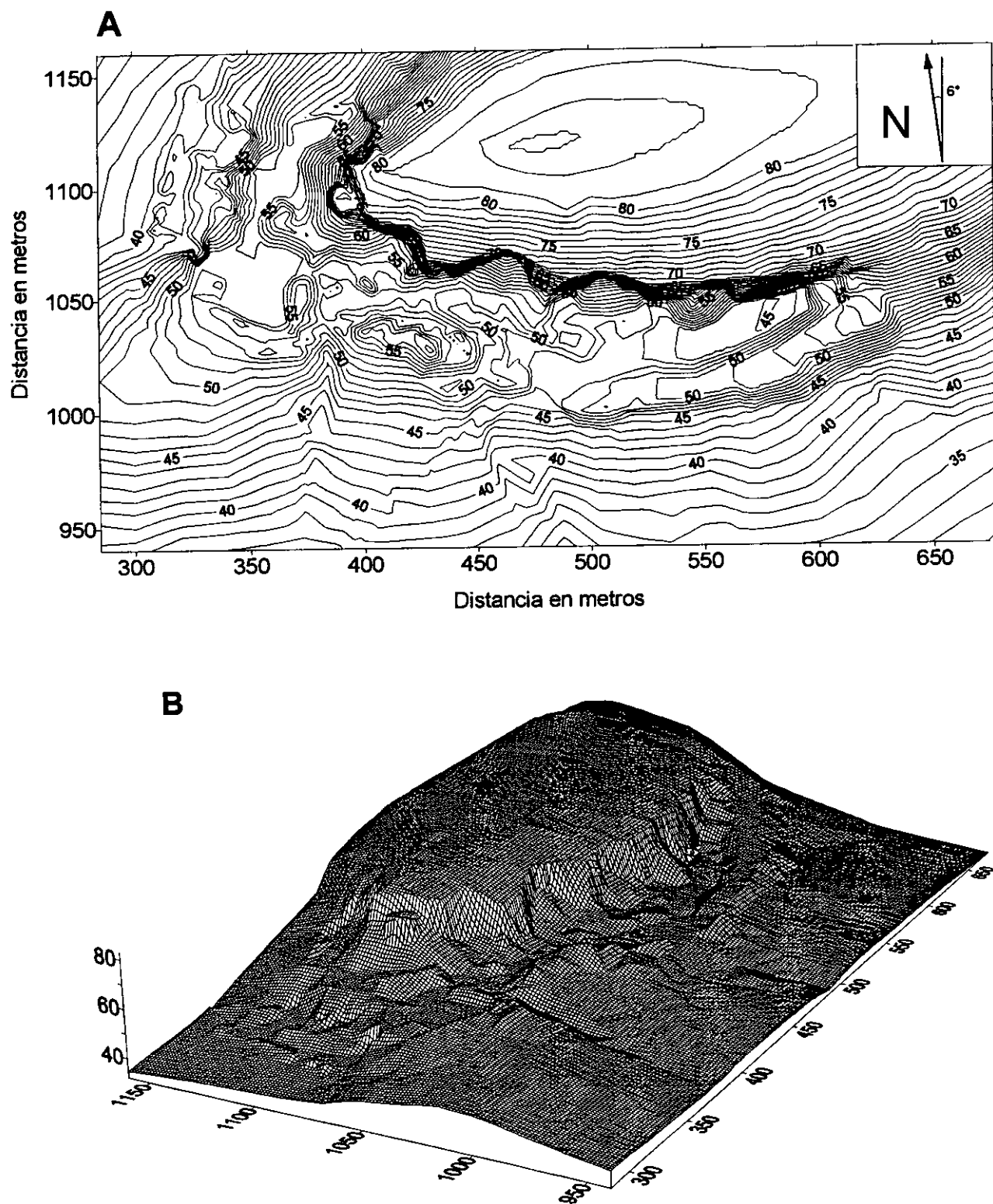


Figura 8.4. Situación de la explotación abandonada (estado preoperacional). A. Mapa topográfico. B. Bloque diagrama del entorno afectado, visto desde el SO (programa SURFER 5.1, Golden Software).

La optimización en la disposición de estos estériles para reconstruir la morfología deseada se desarrolló por cálculos geométricos. Así, analizando el perfil de la ladera original de forma bidimensional (figura 8.5), en una sección según la línea de máxima pendiente (perpendicular a las isohipsas), éste quedaría esquematizado por una función, $f(y)$, de tipo $a/(b+y^c)$, doblemente asíntótica a dos rectas con valores de y ctes., cotas de culminación de la ladera ($y_{\max}$) y base de la misma ($y_{\min}$).

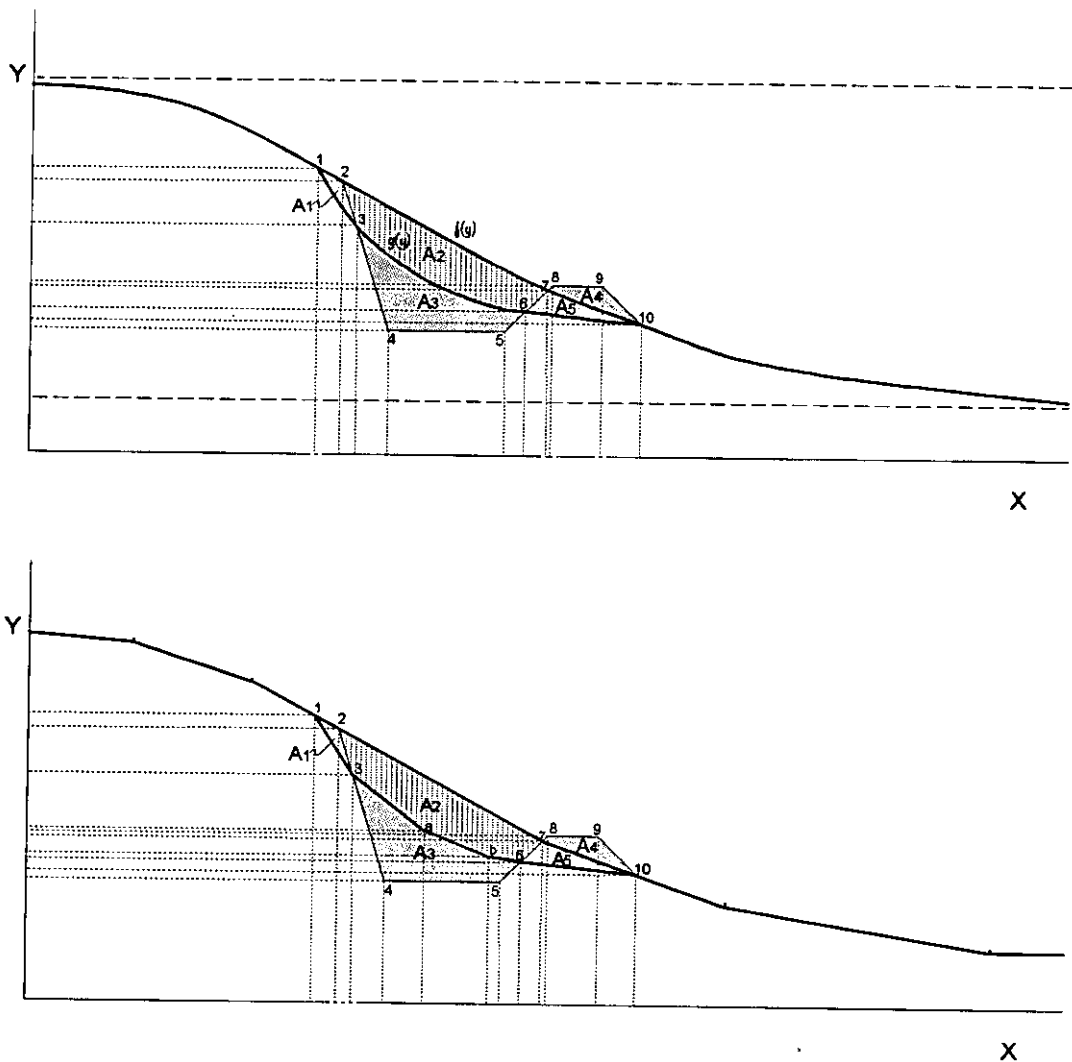


Figura 8.5. Representación gráfica para el cálculo de la optimización del material en el diseño del perfil final; en la parte superior se realiza mediante funciones, mientras que la figura inferior utiliza poligonización de las curvas.

Siguiendo este planteamiento, la superficie final que se pretendía conseguir tras el proceso de rehabilitación podría representarse mediante una segunda función de la misma forma que la anterior, $g(y)$, que intersecta a $f(y)$ en dos puntos (P_1 y P_{10} , extremos donde la ladera no sufre modificación alguna); de esta forma, la diferencia de las áreas existentes bajo ambas funciones mediante cálculos integrales, equivale al volumen específico (volumen por unidad de área) de material extraído y no recuperable para la rehabilitación (figura 8.7).

La superficie que tenía la explotación abandonada puede simplificarse como un conjunto de planos articulados en diedros, que analizada en dos dimensiones constituye una poligonal que intersecta a las funciones anteriores en varios puntos (ver figura 8.5); en total podríamos definir un total de diez puntos singulares a lo largo de los perfiles superpuestos (P_1 a P_{10}), y cinco áreas (volúmenes específicos) entre ambas curvas y la poligonal (A_1 a A_5).

A partir del movimiento de tierras se trataba de reconstruir una superficie cuyo perfil evolucionara con el tiempo hacia esa curva $g(y)$, estimada como la más estable desde un punto de vista geomorfológico por aproximarse a la original; de esta forma, igualando áreas:

$$A_1 + A_4 + A_5 = A_3$$

Por otra parte, el valor de V_e , volumen extraído, podría expresarse en términos de volúmenes específicos como:

$$V_e = (A_2 + A_3) - A_4$$

Ante la dificultad de conocer con exactitud la función $f(y)$, esta curva se discretizó mediante una poligonal de segmentos con pendiente conocida (rango regional de pendientes para este tipo de laderas); con ello los cálculos se simplificaban, pasando las integrales a un simple problema de cálculo de áreas mediante poligonización de los volúmenes específicos. Aparecen entonces dos nuevos puntos singulares (a y b) que definen nuevos tramos en la ladera final (ver figura 8.5, parte inferior).

Dado que el diseño de la rehabilitación debía contemplar la evolución del frente por procesos gravitacionales, era preciso dejar al pie del talud un surco capaz de albergar un volumen equivalente a A_1 ; calculando este área, pudo dimensionarse el surco, que en sección representa un triángulo con un lado curvo dentro de A_3 .

La extrapolación del perfil 'tipo' final al conjunto de la superficie nos permitió conocer el volumen de estériles utilizables (figura 8.7A), y su nueva ubicación como relleno según la morfología prevista (figura 8.7B). Con la disposición indicada de relleno, se obtuvo la nueva topografía (figura 8.8).

En definitiva, con el diseño establecido, se pretendía 'restablecer' cada uno de los elementos del relieve originales de la ladera (ver figura 8.3), o al menos sentar las bases para su futura formación, para que en cada uno de ellos tuviesen lugar los procesos geomorfológicos y edáficos potenciales, recuperando así la dinámica geomorfológica natural (figura 8.9).

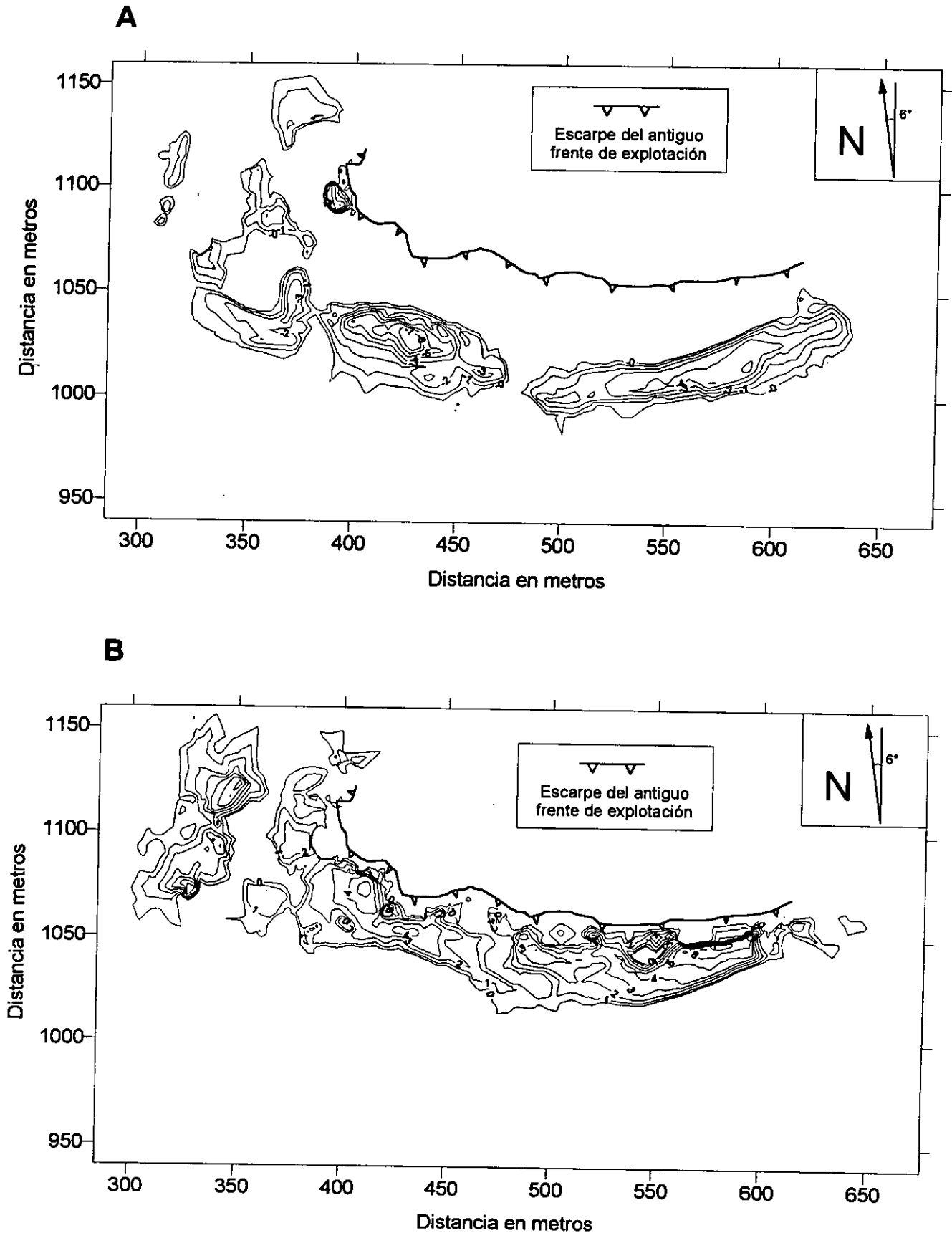


Figura 8.7. Mapa de residuales. A. Volumen y disposición de las tierras a mover según el perfil diseñado (los signos negativos indican el espesor en metros a sustraer). B. Volumen y nueva ubicación de los estériles, conformando la topografía diseñada (los valores indican el relleno en metros). El volumen total a movilizar estimado por el programa fue de 30.000 m³ (programa SURFER 5.1, Golden Software).

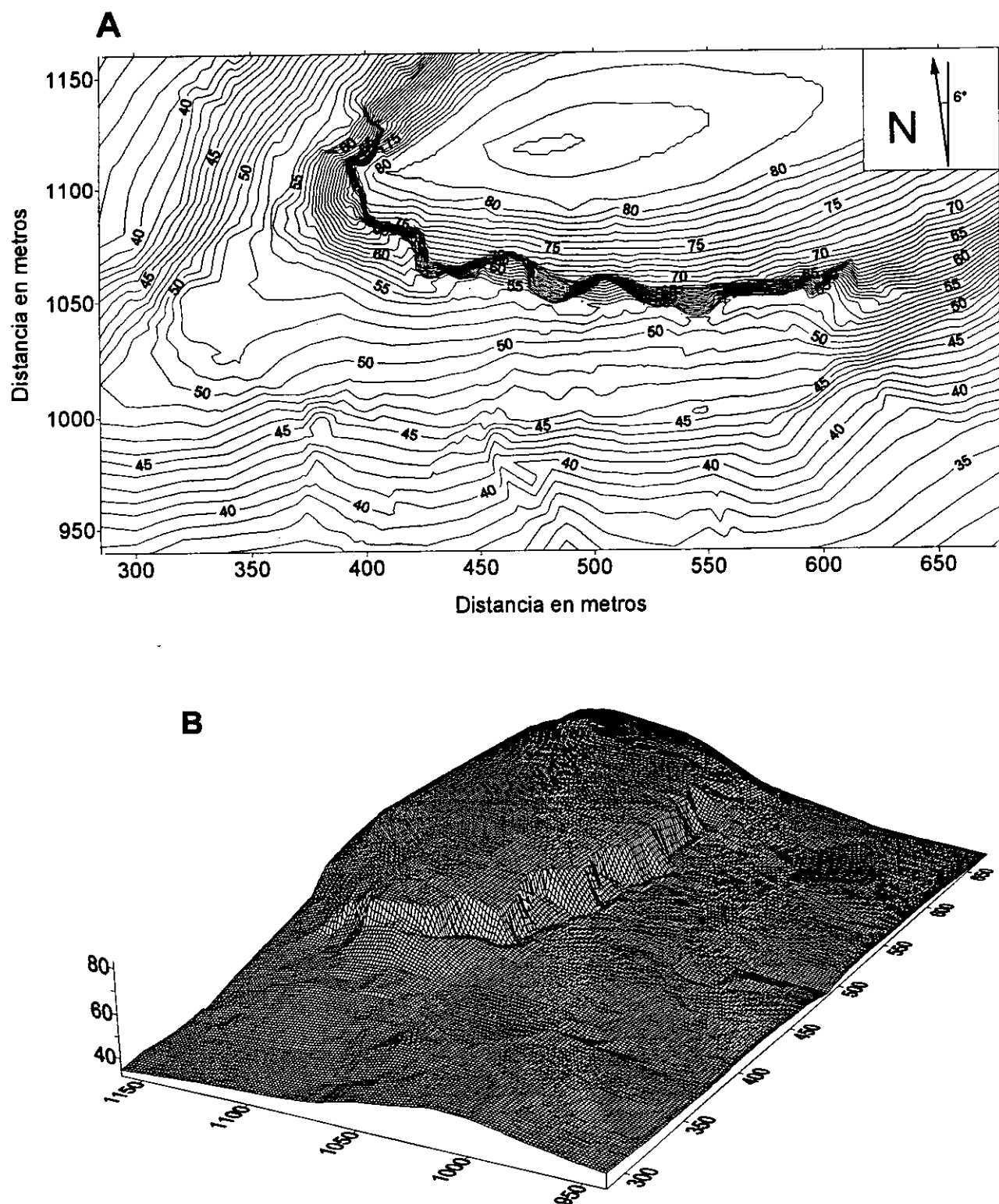


Figura 8.8. Situación prevista con la restauración. A. Mapa topográfico final. B Bloque diagrama visto desde el SO (programa SURFER 5.1, Golden Software).

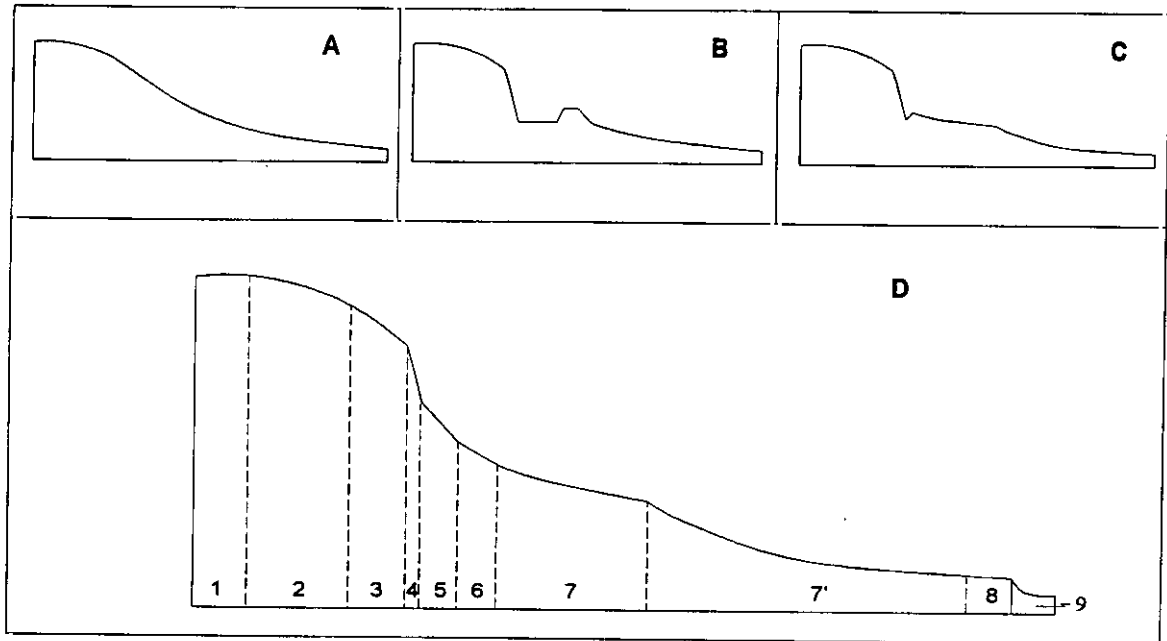


Figura 8.9. Evolución morfológica de la ladera. A: perfil de la ladera original; B: perfil tipo de la explotación abandonada; C: perfil alcanzado con la restauración; D: perfil previsto con la evolución geomorfológica, y unidades diferenciadas (esquema basado en el modelo de Dalrymple et al., 1968).

Dichas unidades y su descripción son las siguientes:

- Unidad 1. Superficie de infiltración (Ga-Ms-Dcp/ct-Es/ke). Restos del relieve original.
- Unidad 2. Ladera de infiltración (Ga-Ms-Dcp/ct-Eg/ke). Restos del relieve original.
- Unidad 3. Ladera de reptación (Ga-Ms-Dcp/ct-El/re). Aunque constituyen porciones de la ladera original, está muy próxima al antiguo frente de explotación, por lo que, según la situación prevista, se verá afectada por los procesos gravitacionales de retroceso del escarpe.
- Unidad 4. Escarpe de caídas (Ga-Ms-Dcp/ct-Ee/ce). Antiguo frente de explotación. El proceso dominante, y casi exclusivo, serán las caídas.
- Unidad 5. Talud de regueros (Ga-Ms-Dct/la-Et/are). Se trata de una morfología existente sólo en parte, pero que se generalizará con la evolución del frente y relleno del surco.
- Unidad 6. Talud coluvial (Ga-Ms-Dct/la-Et/cos). También se trata de una unidad no existente aún, que se formará por evolución geomorfológica.
- Unidad 7. Glacis de arroyada en manto (Ga-Ms-Dct/la-Eg/ams). Constituye la mayoría de la superficie a rehabilitar, donde se prevé la evolución edáfica y la colonización vegetal.

- *Unidad 7'. Glacis de arroyada concentrada (Ga-Ms-Dct/la-Eg/acs)*. Son restos de la ladera original tipo glacis, y su morfología sirve de modelo para la reconstrucción del perfil de la superficie restaurada.
- *Unidad 8. Superficie inundable (Ga-Ms-Dep/ct-Es/fs)*. Restos del relieve original.
- *Unidad 9. Lámina de agua, superficie inundada (Ga-Ms-Dep/ct-Es/fe)*. Restos del relieve original.

8.5. EL SUELO Y LA REVEGETACIÓN

Tomando como base el diseño geomorfológico propuesto, se procedió a la elaboración definitiva del plan de restauración, complementado con los necesarios análisis sobre estériles y suelos, y la selección de especies vegetales.

8.5.1. Análisis edáficos

Los suelos originales formados a expensas de las arenas silíceas, consistían en arenosoles álbicos; los desarrollados sobre las formaciones superficiales coluvionares de naturaleza carbonática, eran cambisoles cálcicos y leptosoles rendsicos o rendsínicos. Para su mayor caracterización, se llevó a cabo una analítica de la catena de suelos originales que afectaban a todo el área de actuación, así como de los estériles con potencialidad edáfica existentes en la cantera (tabla 8.2). Por otro lado, se llevó a cabo una caracterización de los estériles procedentes de la antigua actividad extractiva, material con el que se iba a reconstruir la nueva topografía. Éstos presentaban texturas mayoritariamente arenosas, con muy baja proporción de finos (<10%); existía, además, algún banco de arcillas disperso. Entre las propiedades químicas, su pH oscilaba de medio a ligeramente ácido, y el contenido en materia orgánica era muy deficiente (<0,3%); los nutrientes eran prácticamente inexistentes y la toxicidad nula.

En base a esta naturaleza textural, y siempre ajustados al diseño geomorfológico, la rehabilitación contemplaba la disposición de los materiales más gruesos en las zonas inferiores, y los más finos en las superiores, imitando de este modo la seriación granulométrica de un perfil de alteración, más adecuado para la formación del suelo. Esta estructura permitiría, además, una mayor retención de agua inicial, y una lenta infiltración después, con su posterior acumulación en las partes más bajas, formando capas saturadas a modo de acuífero natural. Tal disposición posibilitaría simultáneamente conseguir una mejor estabilidad geotécnica.

Los antiguos coluviones, presentaban una alta potencialidad edáfica: en su gran mayoría poseían una textura franca, y en menor grado franco-arenosa (en torno a 40% de arena, 40% de limo y 20% de arcilla); su pH ofrecía unas cifras homogéneamente próximas a 8, valor en torno al cual la disponibilidad de nutrientes no se veía afectada (Bradshaw y Chadwick, 1980).

Tabla 8.2. Resultados de los análisis edáficos (servicio de análisis de suelos del Centro de Ciencias Medioambientales, CSIC). LR-catena edáfica de la ladera original; correspondencia con las unidades morfológicas: LR-1, ladera de infiltración; LR-2, ladera de reptación; LR-3, enlace acantilado de caídas-talud de regueros; LR-4, parte superior del talud coluvial de naturaleza carbonática; LR-5, parte media del talud coluvial carbonático; LR-6, enlace talud coluvial-glacis de arroyada en manto; LR-7, parte superior del glacis de arroyada en manto. CO-1 a 5, corresponden a diferentes escombreras de antiguo material coluvionar, dispersas en la antigua explotación, y utilizables en el proceso de restauración.

MUESTRA	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS				CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS									
	Análisis textural				pH	%				mg/100g				
	% arena	% limo	% arcilla	clasific. textural		N	m.o.	C	CO ₃ ⁼	P ₂ O ₅	K ⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	Mg ²⁺
LR-1	27	55	18	F-L	7.00	0.309	7.14	4.15	14.4	9.0	10	126	0.5	21.0
LR-2	27	55	18	F-L	7.54	0.138	3.54	2.06	16.0	4.5	14	215	0.5	22.5
LR-3	33	50	17	F-L	7.86	0.146	3.74	2.17	16.4	4.5	10.5	300	0.5	19.0
LR-4	43	45	12	F	7.70	0.244	6.63	3.85	15.8	7.0	10	216	0.5	17.8
LR-5	58	26	16	F-Ar	7.79	0.086	2.28	1.32	17.5	6.5	7	386	0.5	20.8
LR-6	61	27	12	F-Ar	7.74	0.252	5.44	3.16	16.2	17.0	20	276	0.5	19.5
LR-7	45	40	15	F	7.69	0.131	3.74	2.17	18.3	76.0	12	117	0.5	17.0
CO-1	33	42	25	F	8.00	0.012	0.41	0.24	21.0	11.0	6	235	0.5	34.3
CO-2	41	35	24	F	7.98	0.015	0.27	0.16	23.4	9.5	5	250	0.5	26.5
CO-3	66	20	14	F-Ar	8.00	0.011	0.27	0.16	12.1	9.0	4	168	0.5	13.3
CO-4	84	6	10	Ar-F	8.03	0.008	0.44	0.26	1.1	9.0	2	30	0.5	3.5
CO-5	90	3	7	Ar	8.18	-	0.54	0.32	0	<1	2	12	0.5	3.0

El contenido en materia orgánica pudo estimarse como deficiente ($<1\%$), si bien para este objetivo se consideró aceptable; el contenido en nutrientes sin embargo era muy bajo, hasta el punto de clasificarse como materiales deficitarios en nutrientes esenciales (N,P,K).

A la vista de estos resultados, se determinó que el material coluvionar disperso entre los estériles, disponible en cantidades importantes, se mostraba muy adecuado para desarrollar el futuro suelo. Todo ello por varias razones: (a) constituyó el sustrato sobre el que se desarrollaron los suelos originales de la ladera, previamente a la actividad extractiva; (b) la naturaleza del sustrato que quedó como resultado de la explotación (arenas silíceas y arcillas), requeriría en cualquier acción rehabilitadora la enmienda de materiales de composición carbonática, a fin de elevar el pH hasta la neutralidad (en este caso incluso convertirlo en ligeramente básico); (c) presentar unas características texturales óptimas para el desarrollo edáfico (textura franca); (d) incluir restos del banco de semillas original del suelo; (e) contener, aunque en bajas proporciones, ciertas cantidades de nutrientes principales y materia orgánica.

Sin embargo, estos resultados mostraban también a las claras la necesidad de añadir fertilizantes químicos sobre este sustrato edáfico, al objeto de comenzar un nuevo proceso encaminado a desarrollar una cubierta vegetal.

Asimismo, la baja proporción de nitrógeno indicaba la necesidad de utilizar especies fijadoras de este elemento en el proceso de revegetación (leguminosas), las cuales, utilizadas conjuntamente con gramíneas, favorecerían el establecimiento de una cobertera vegetal de forma rápida, susceptible de generar materia orgánica incorporable al suelo y facilitar con ello el desarrollo de horizontes con humus, como paso inicial para la evolución edáfica y vegetal.

8.5.2. La selección de especies

La selección de las especies a utilizar en el proceso de revegetación se determinó con la colaboración de especialistas (Pedro Cifuentes, comunicación personal). Ello indica que, aun cuando la participación geomorfológica pueda ser decisiva como en este caso (análisis geomorfoedáfico), en una u otra medida se requiere la colaboración de otros expertos al tratarse de trabajos muy específicos.

8.6. HIPÓTESIS SOBRE LA EVOLUCIÓN ECOLÓGICA Y PAISAJÍSTICA DEL DISEÑO GEOMORFOLÓGICO

Al objeto de evaluar de la forma más objetiva posible las aportaciones del diseño geomorfológico al proceso de restauración se llevó a cabo una estimación de la calidad ambiental de determinados parámetros del medio para distintos momentos: con anterioridad a la explotación minera; estado operacional; situación de abandono; y resultado previsto por

la rehabilitación (contemplando en esta última la hipótesis más optimista y la más pesimista).

Esa evaluación de la calidad del medio bajo diferentes supuestos temporales parte de la idea, y se basa en lo esencial, en el método de valoración ambiental desarrollado por el laboratorio Batelle (Whitman, 1971; Batelle-Columbus, 1972), siendo la base de dicha valoración nuestro estudio histórico-natural (ver anexo *Análisis Geomorfológico*) y de la transformación territorial antrópica (ver capítulo 6). Las conclusiones obtenidas de esta estimación fueron las siguientes:

- Con anterioridad a la instalación de la cantera, las condiciones del espacio en que se insertó la explotación minera presentaban un acusado nivel de degradación debido a prácticas agrosilvopastoriles históricas; en definitiva, un considerable alejamiento de su sistema potencial forestal (sabinar-encinar), con elevado grado de deforestación, e importantes fenómenos de erosión del suelo (acarcavamientos). Este hecho pudo comprobarse a través del estudio de fotografías aéreas de los años 1946 y 1956 (ver figura 8.1).
- Las actividades extractivas produjeron una alteración ambiental elevada, habiendo modificado el relieve y el paisaje, eliminado la cubierta vegetal y edáfica, e inducido importantes procesos de erosión y movimientos gravitacionales.
- El diseño de restauración propuesto, teniendo en cuenta todas las variables referidas, introducía unas condiciones morfodinámicas, hidrológicas y edáficas óptimas, más favorables incluso que las existentes con anterioridad a la apertura de la mina. Dichas condiciones permitían el establecimiento de una cobertera vegetal estable, capaz de evolucionar por sí misma, e instauraban una potencialidad para determinados usos (forestales, pascícolas, vida silvestre) también mayores a las existentes inmediatamente antes de la explotación; incluso la calidad ecológica mejoraba en el peor de los supuestos de la rehabilitación con respecto a la situación anterior a las actividades extractivas.
- Sin embargo, el gran volumen de material extraído, imposible de restituir, limitaba la recuperación de la morfología y estructura originales del paisaje, siendo éste el principal condicionante de la rehabilitación. No obstante, el resultado final simulaba la erosión natural de muchos frentes de cuesta (ver foto 8.14).

En definitiva, el diseño propuesto, basado en un conocimiento de la geomorfología dinámica y evolutiva, permitía al sistema evolucionar de forma natural, lo que con el tiempo aproximaba las características del territorio restaurado a las del medio en condiciones de no intervención antrópica (ver figura 5.8, pág. 123).

8.7. DISCUSIÓN

La ejecución del proyecto se llevó a cabo entre los meses de enero y febrero de 1995, siguiendo el diseño propuesto (ver fotos 8.3 y 8.4). Casi dos años después, los resultados

obtenidos muestran cómo se han establecido las condiciones necesarias para que la restauración de los terrenos se produzca en buena parte de forma natural (ver foto 8.13).

A la vista de esos resultados puede concluirse la utilidad del procedimiento de clasificación y caracterización de elementos del relieve en el diseño de restauraciones de terrenos degradados. En efecto, la participación geomorfológica en este tipo de proyectos es amplia en tanto se trata de transformaciones que afectan a la estructura del relieve, y las soluciones requeridas precisan la participación de especialistas; el tipo de análisis necesarios son entonces muy específicos (en este caso levantamientos topográficos de detalle y análisis edáficos).

Otra conclusión que puede extraerse es la siguiente: en explotaciones mineras abandonadas, la recuperación y utilización de antiguos suelos o formaciones superficiales, mezclados con los estériles, suponen la mejor y más barata garantía para la recuperación de las características del suelo inicial, aun cuando se haga imprescindible la aplicación de enmiendas edáficas. Por ello, cuando los presupuestos para acometer obras de restauración ambiental son reducidos, es preferible invertir el máximo coste en el movimiento de tierras, generando un sustrato y una morfología adecuados al sistema geomorfológico-hidrológico-edáfico, teniendo una alta probabilidad de que las condiciones de recuperación se establecerán progresivamente. Aun así, es necesario asegurar unas características edáficas mínimas y una revegetación inicial. En este sentido, creemos necesario recordar que todo el proceso se ha llevado a cabo con un presupuesto inferior a cinco millones de pesetas, para una superficie de dos hectáreas.

En definitiva, la participación en este tipo de proyectos de restauración ha sido una de las más fructíferas de las contempladas en la hipótesis inicial de este trabajo, y sin duda, la que mejor ha permitido 'validar' la aplicabilidad del conjunto de conocimientos geomorfológicos a determinados estudios del medio físico, que bien podría expresarse del siguiente modo: el estudio de la dinámica geomorfológica (pasada y actual) aporta información significativa para conocer la manera más adecuada de insertar o 'gestionar' determinadas actividades humanas en el territorio "según la dirección deseada" (en este caso 'protectora'). Así, la utilización de criterios geomorfológicos en los trabajos de restauración y rehabilitación ambiental condiciona en buena medida el éxito del proceso a largo plazo, en tanto supone adaptar el diseño a la evolución natural del sistema; lo que en el conocido argumento de McHarg (1969) sería "diseñar con la Naturaleza". A su vez, los resultados obtenidos permiten discutir acerca de la 'filosofía' de muchas restauraciones, pues con bastante frecuencia son: bien 'tratamientos cosméticos', bien obras de ingeniería costosas y de dudosa eficacia; también son frecuentes los ejemplos centrados casi exclusivamente en la revegetación.

En resumen, los criterios geomorfológicos en procesos de restauración de terrenos degradados permiten diseñar morfologías capaces de establecer los procesos de morfogénesis y edafogénesis potenciales, y favorecer una regeneración natural del medio a medio y largo plazo. En estos casos es posible hablar de verdaderas 'restauraciones geomorfológicas'.

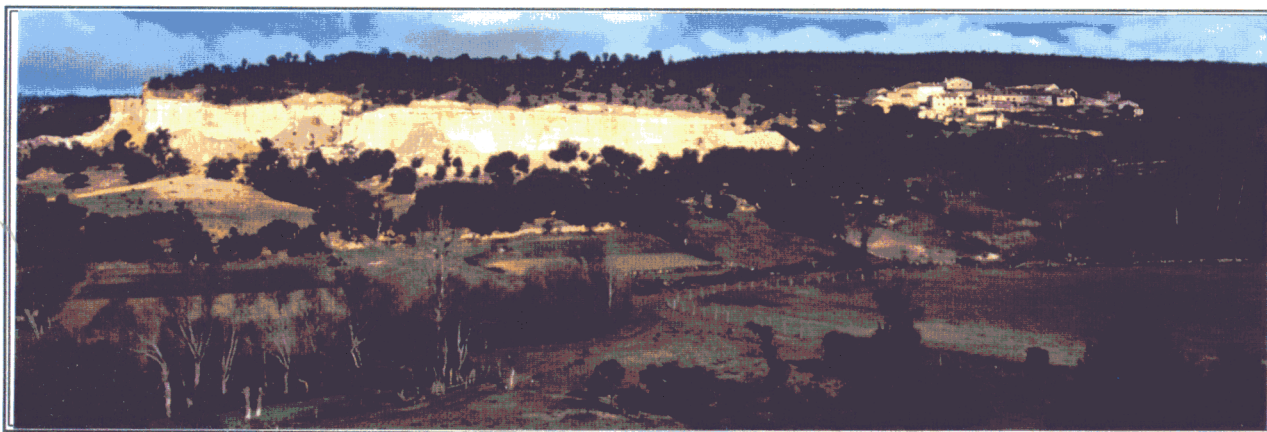


Foto 8.1. Panorámica de la explotación minera abandonada.



Foto 8.2. Suelo original desarrollado sobre las arenas explotadas. En general se trata de arenosoles álbicos y lúvicos; localmente, sin embargo, aparecen suelos de mayor desarrollo (cambisoles).



Foto 8.3. Ejecución del proyecto. Desmonte de grandes bloques inestables, deslizados traslacionalmente del antiguo frente de explotación.



Foto 8.4. Ejecución del proyecto. Reconstrucción de la morfología original tipo glacis, según el diseño propuesto.



Foto 8.5. Talud de derrubios adosado al antiguo frente de explotación. El diseño elaborado contempla la evolución de la ladera por fenómenos gravitacionales de este tipo, y su consiguiente tendencia a la regularización.

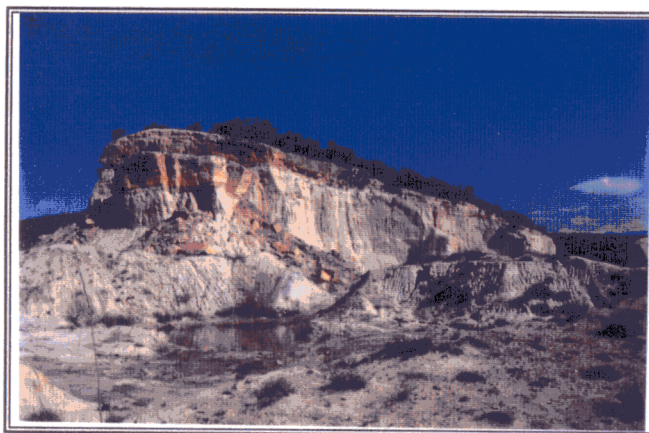


Foto 8.6. Vista general del frente y la plaza de la mina (sector occidental) en el estado previo a la restauración.

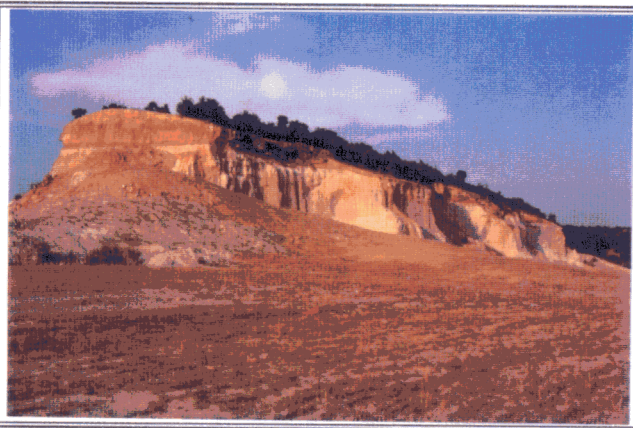


Foto 8.6. Vista del sector occidental tras la restauración.

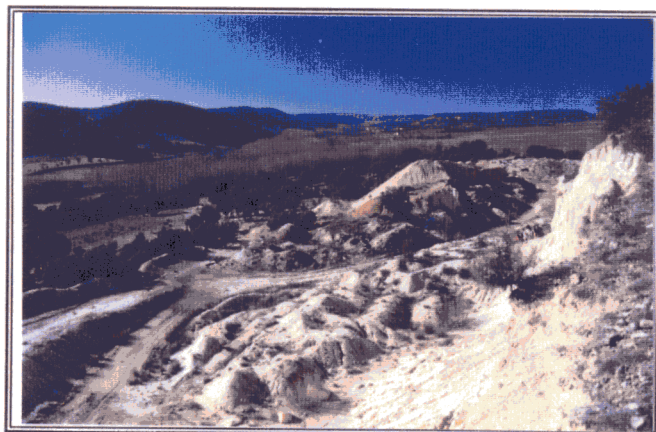


Foto 8.8. Vista del sector central de la mina desde la parte superior del frente de explotación. Los estériles se sitúan en montículo y escombreras, y presentan reguercización y acarcavamiento.



Foto 8.9. Situación del sector central tras la restauración; en la parte inferior derecha puede observarse el surco diseñado para recibir material del frente.

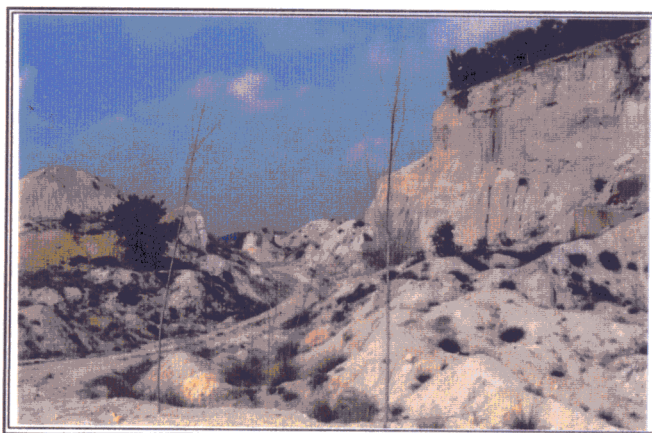


Foto 8.10. Vista del sector centro-occidental de la mina en el estado previo a la restauración.

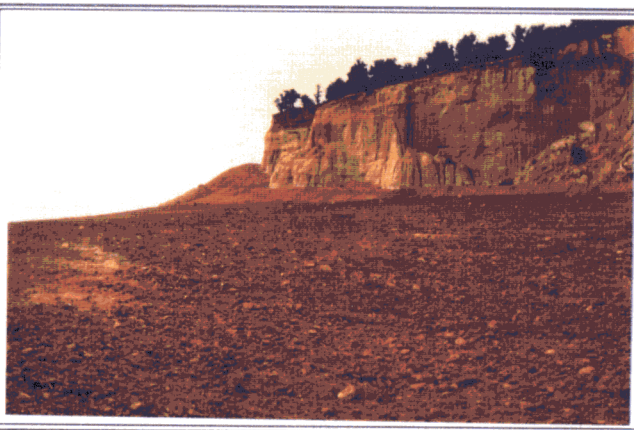


Foto 8.11. Vista del sector centro-occidental tras la restauración.

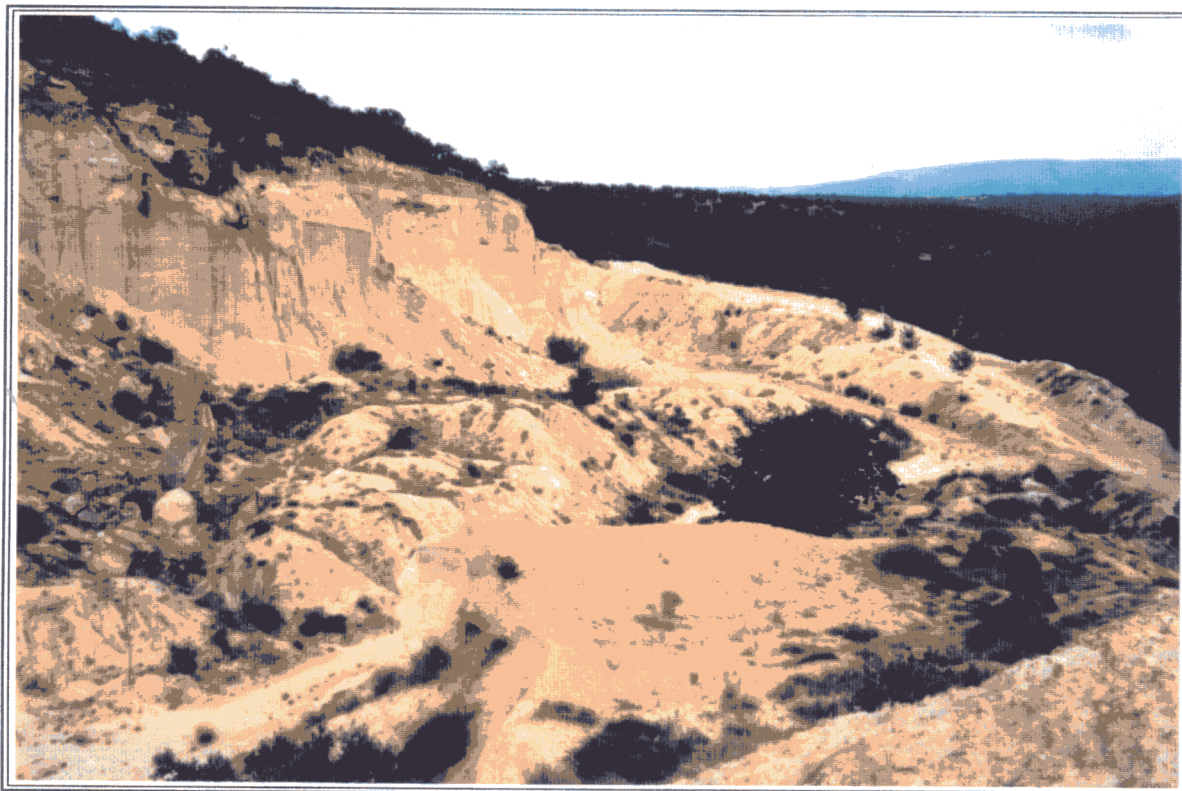


Foto 8.12. Vista general del sector centro-oriental de la mina previamente a su restauración. Las escombreras de estériles se distribuyen anárquicamente por la plaza, dejando restos aislados con los materiales de la ladera original (primer plano).

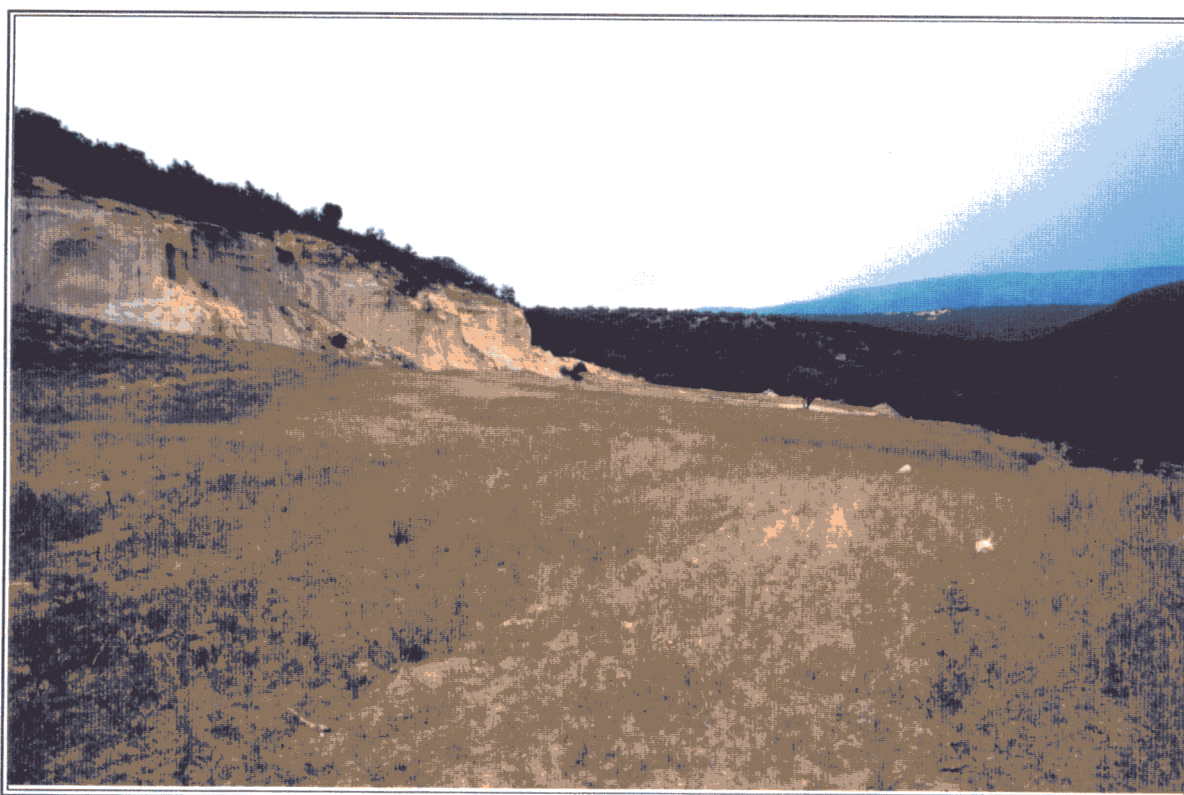


Foto 8.13. Situación del sector centro-oriental de la explotación tras la restauración. El movimiento de tierras generó una morfología estable; sobre ella, las mejoras edáficas y las siembras han facilitado el rápido crecimiento de la vegetación herbácea.



Foto 8.14. Vista aérea de la superficie restaurada (mayo, 1996). Foto Paisajes Españoles.

Este trabajo está sustentado en la hipótesis de partida según la cual: los conocimientos procedentes del campo de la Geomorfología no han alcanzado todo su potencial contributivo al desarrollo metodológico de los estudios del medio físico y la planificación territorial.

La planificación territorial con bases ecológicas, planificación ecológica, o planificación integrada, es la herramienta más adecuada para abordar los denominados 'problemas ambientales'; dicha tesis está avalada por la experiencia de todos aquéllos que han trabajado en estos temas. Desde esta perspectiva, se pretende superar análisis parciales aplicados a la resolución de problemas concretos, y llegar a estudios globalizados. Así pues y a pesar de su escasa consideración actual, prácticamente irrelevante respecto a los procedimientos de evaluación de impactos ambientales por ejemplo, la planificación ecológica o integrada debería ser el objetivo a perseguir por gestores, técnicos, y sociedad.

En los estudios integrados siguiendo procedimientos 'fisiográficos', las unidades de actuación se delimitan en base a criterios que, mayoritariamente, responden a la evolución histórico-natural del territorio problema; incluido el hombre y sus actuaciones, como un 'componente' más. Por este motivo es más adecuado definir los denominados 'usos vocacionales' siguiendo estos métodos, ya que trabajan con la potencialidad 'natural' del territorio. Además permiten combinarse con técnicas paramétricas, puesto que, a partir de un cierto nivel de detalle, asumen que los problemas del espacio donde se localizan y los parámetros implicados sólo pueden abordarse mediante análisis temáticos integrados. Dados el tipo, jerarquía, y escala espacial de los conflictos ecológicos actuales, entendemos que los procedimientos fisiográficos deben ser revitalizados si se quiere llegar a un desarrollo integral de la planificación.

Una clasificación fisiográfica, debe asumir las ventajas y limitaciones que implica considerar la superficie terrestre como un ente dinámico: posee una configuración actual, pero también una historia y una tendencia futura. Por ello, su procedimiento ha de basarse en la 'síntesis' de los aspectos geográficos y geológicos. Por su carácter de ciencia puente entre las anteriores, la Geomorfología se presenta como el campo de conocimientos ideal para abordar este tipo de clasificaciones.

La Geomorfología Aplicada, o Ambiental, debería intensificar sus aportaciones a la resolución de los problemas derivados de las actuaciones humanas en el territorio. Junto a los estudios sobre riesgos naturales, sin duda los más desarrollados, habrá de incidir en trabajos sobre planificación integrada, evaluación de impactos ambientales, restauración ecológica, y paisaje. Todos ellos presentan grandes posibilidades de aplicación en muchas regiones peninsulares, con baja incidencia de los riesgos naturales y sin embargo con otra problemática recogida por normativas específicas (Ley del Suelo, Reales Decretos sobre EIA o restauración del espacio natural afectado por actividades mineras).

El conjunto de esas aplicaciones, incluidos los riesgos, tienen su tratamiento más adecuado dentro de la planificación integrada; ésta precisa de sistemas de análisis cuyo punto de partida son clasificaciones que se apoyan en unidades territoriales homogéneas, siendo su rasgo más evidente la fisonomía del terreno. Teniendo en cuenta que la Geomorfología se ocupa de este tema y lo completa con criterios dinámicos y evolutivos, las clasificaciones del relieve son la aportación sintética que hace esta ciencia a los estudios de planificación integrada.

En conclusión:

Reafirmamos la tesis según la cual: el medio natural presenta cualidades aptas para ser considerado como un factor limitante en el uso del territorio.

El territorio es un ente global, pero nuestra aproximación al mismo la realizamos mediante métodos de conocimiento (ciencias) que lo estructuran según unas porciones sistémicas jerarquizadas. Es de primordial importancia 'poner de acuerdo' la jerarquía de los problemas que se trate de resolver, con la establecida por los métodos científicos. En este sentido, la planificación integrada debe basarse en 'criterios objetivos evidentes' para delimitar unidades territoriales.

La Geomorfología, en tanto es una ciencia que se ocupa de la configuración del terreno (morfografía o morfotopografía), tiene capacidad para aportar muchos de esos 'criterios objetivos evidentes' que, además, están dotados de un alto grado de permanencia. Por otra parte, en tanto es una síntesis de todos los atributos abióticos que componen la superficie terrestre, tiene también capacidad para 'llenar de contenido' esas unidades territoriales y permitir su correlación geográfica (espacial o de distribución sobre la superficie terrestre) y geológica (temporal o evolutiva a través de la historia natural).

El marco adecuado para plasmar esos criterios son las unidades del relieve, jerarquizadas según los niveles conceptuales que cabe deducir a partir de los conocimientos aportados por las Ciencias de la Tierra. Los básicos son:

- 1. El evolutivo a escala global, que permite conocer relaciones a lo largo de la historia de la Tierra (geológicas).*

2. *El espacial a escala de la superficie terrestre, que permite establecer relaciones de distribución entre sus elementos (geográficas).*
3. *El genético a escala sectorial, que marca los atributos distintivos de cada uno de los elementos que, dada su función, aíslan los diversos campos del conocimiento.*
4. *El dinámico-configuracional, que analiza las relaciones intrínsecas dentro de lo sectorial.*

De acuerdo con esta jerarquía, una clasificación geomorfológica del relieve básica puede plantearse según los siguientes niveles (de mayor a menor rango espacial): regiones físico-geológicas, regiones geomorfológicas, dominios del relieve y elementos del relieve. Para establecer los dos primeros niveles, se sigue un método de análisis deductivo y de compartimentación; para establecer los dos últimos, se sigue un método de síntesis inductiva y agrupamiento.

Para transformar esta clasificación del relieve en otra aplicada a los problemas ambientales, deben equipararse ambas jerarquizaciones, es decir: la del relieve y la de los problemas.

Teniendo en cuenta la incidencia territorial de las transformaciones debidas a la actividad humana, puede considerarse que la problemática derivada de ello se ajusta a la siguiente jerarquía: global, regional, comarcal y local.

Partiendo de la clasificación del relieve, y considerando la jerarquía de los problemas, se hace una propuesta para reconvertir aquélla en otra de unidades integradas aptas para planificación. La jerarquía resultante es (de mayor a menor rango espacial): regiones naturales, regiones fisiográficas, comarcas fisiográficas, y unidades ambientales.

Para establecer las regiones naturales es imprescindible considerar criterios globales. Cabe precisar que para esta categoría, y hasta el momento, no se han desarrollado verdaderas unidades integradas: bien se ha recurrido a criterios biogeográficos (taiga, tundra, sabana, etc.), climáticos (zona fría, templada, etc.), o geológicos (escudos, plataformas, cordilleras, etc.). Debido al grado de abstracción a que se trabaja en este nivel, el factor humano es poco relevante en la definición de la unidad, y aquí puede situarse el calificativo 'natural'. En definitiva, la planificación integrada a este nivel (escala planetaria) precisa políticas ambientales que se basen en la realidad de las grandes regiones naturales terrestres; dichas unidades tendrían que definirse mediante la combinación de las regiones físico-geológicas y biogeográficas.

En cuanto a las regiones y comarcas fisiográficas, proceden de una generalización de contenidos a partir de los límites morfológicos; dicha generalización se basa en las relaciones entre todos los factores del medio presentes en esa unidad. A estos niveles es imposible abstraerse de las acciones antrópicas que, para una clasificación del medio físico, deben considerarse un factor más; por esta razón, entendemos que el calificativo 'naturales' que asignaron los geógrafos y naturalistas clásicos españoles a regiones y comarcas, debe sustituirse por el de 'fisiográficas'.

La categoría de regiones fisiográficas es eminentemente sintética y cumple sobre todo una función de 'correlación' o situación, al objeto de establecer planes y políticas ambientales; dada su utilidad en los objetivos propuestos, y la relativa facilidad en su cartografía, esas unidades tendrían que estar determinadas para toda la Península y servir como 'punto de partida' en la realización de trabajos de planificación integrada a escalas más detalladas, 'dirigiendo' planes y programas específicos a cada región en función de sus características naturales intrínsecas.

El ámbito comarcal corresponde al nivel básico de trabajo en planificación territorial (comparación de alternativas de usos) y requiere métodos multi o pluridisciplinarios. Las comarcas fisiográficas constituyen unidades apropiadas para evaluar el nivel de autorregulación-anthropización del medio; es decir, el grado de desviación del sistema potencial, y la existencia de usos inadecuados.

En un contexto más concreto que el anterior tiene lugar la ejecución del planeamiento o, en sentido más general, el desarrollo de los distintos usos y actividades humanas en el territorio (nivel de gestión, proyectos). A estas escalas por tanto, los estudios del medio físico atienden a problemas concretos: evaluación de impactos localizados, restauración de espacios degradados, etc. Se trabaja en detalle y los datos que se manejan son ya muy específicos; la información debe estar medida y caracterizada con rigor, y normalmente se obtiene in situ con técnicas que no admiten errores. En este nivel, la información geomorfológica se integra con la procedente del resto de especialistas, y sólo llega a ser determinante para ciertas evaluaciones territoriales. La más considerada son los mapas de riesgos naturales asociados a procesos exógenos; no obstante deberán desarrollarse más otros aspectos, sobre todo aquéllos que permitan realizar valoraciones intrínsecas del territorio en base a atributos del relieve, en especial, equilibrio y tendencias evolutivas. Un caso destacado es la recuperación de terrenos que han estado sometidos a actividades mineras, agrícolas, forestales, etc., donde es preciso restablecer 'morfologías', 'procesos' y 'capacidades edáficas'. Un diagnóstico dinámico-evolutivo de los elementos del relieve (cuál es la historia del territorio y hacia dónde evoluciona) constituye un documento muy valioso para la gestión territorial.

Aunque la correlación entre estas jerarquías y los diferentes ámbitos administrativos y normativos sea problemática, puede establecerse una aproximación como sigue: programas y políticas supraestatales (nivel mundial, internacional) con regiones naturales; programas, leyes, y planes nacionales (nivel estatal y autonómico) con regiones fisiográficas; planes, y normas supramunicipales (nivel provincial, mancomunal, comarcal) con comarcas fisiográficas; planes y normas municipales (nivel local, municipal) con unidades ambientales.

En la aplicación de la propuesta, los principales problemas detectados han sido:

- La ausencia de un banco de datos sobre el medio físico, adecuadamente estructurado y apto para su aplicación inmediata. Este hecho resulta sorprendente teniendo en cuenta que el territorio problema se localiza en el entorno de una gran ciudad como Madrid y está sometido a notables expectativas de cambios de uso; es necesario destacar además que las técnicas de SIG nacieron prácticamente para resolver este tipo de deficiencias.*
- La imposibilidad por el momento de establecer las regiones naturales propuestas, dada la tradición de las clasificaciones bioclimáticas a ese nivel.*
- La mayoría de las clasificaciones previas a ésta efectuadas en la zona, presentan una notable indefinición en lo referente a los límites de grandes unidades (equivalentes a las regiones fisiográficas). Por ello, consideramos que los criterios geomorfológicos y las técnicas de teledetección y modelos digitales del terreno, son imprescindibles para este cometido.*
- A nivel de comarcas, las coincidencias entre ésta y otras clasificaciones siguen siendo escasas. También aquí existen problemas para establecer los límites de las unidades, quizás por haberlos basado en criterios dispares (históricos, políticos, naturales, etc.); prueba de ello es el hecho de que no haya llegado a consolidar ninguna clasificación territorial con ámbito comarcal.*
- En una primera aproximación, el territorio analizado destaca por una 'cierta naturalidad'; sin embargo ésta es una apreciación subjetiva condicionada por el contexto regional, es decir, en comparación con la vertiente meridional. El análisis detallado de los elementos del relieve y la dinámica actual, demuestra que los 'procesos naturales' han dejado de existir como tales en amplias zonas y, si acaso, quedan circunscritos al dominio de los macizos montañosos y cursos fluviales principales. Esto se debe a una actividad ancestral y acumulativa sobre el medio, ligada a prácticas agrosilvopastoriles que, de forma extensiva, han modificado la cobertura vegetal y los suelos.*

- Desde el punto de vista 'intensivo' pero puntual, los efectos más importantes derivan de otra actividad tradicional como es la minería de arenas y arcillas. La aplicación del análisis geomorfológico detallado, a nivel de elementos del relieve, ha permitido desarrollar un procedimiento de restauración del paisaje original, que otorga gran importancia a los aspectos morfográficos y de procesos actuales.
- En su mayoría, los riesgos naturales a que está sometida la zona son inducidos por la actividad antrópica. Destacan la erosión del suelo y los fenómenos gravitacionales.
- En la participación antrópica como agente que interfiere el normal desarrollo de los procesos naturales, es importante tener en cuenta que aquí se muestra de forma nítida la clásica afirmación: "el hombre como agente geomorfológico". Aun siendo en principio un territorio con baja densidad de población y a priori, como ya se dijo, conservando cierta naturalidad, al cuantificar la cantidad de material movilizado por el 'agente antrópico' sorprende que el orden de magnitud sea tres veces superior a la de los agentes geomorfológicos naturales. Independientemente de los reajustes a que puede someterse el resultado obtenido, ese dato hay que contextualizarlo y valorar el hecho por el cual la acción antrópica sobre el medio físico se ajusta a una escala 'rápida', 'selectiva', e 'irregular', mientras la natural es en principio, 'lenta', 'persistente', y 'constante'.

REFERENCIAS

- Abad, J., Hidalgo, E. *et al.* (1982). *Mapa geocientífico del Medio Natural. Provincia de Almería. Escala 1:100.000*. 2 tomos, IGME, Madrid.
- Abelló, R.P., Andrés, A. *et al.* (1982). *Plan Especial de Protección del Medio Físico de San Ildefonso-La Granja*. Ayuntamiento de San Ildefonso-La Granja, Segovia.
- Agueda, J.A., Cendrero, A. *et al.* (1984). *Panorama actual de la Geología Ambiental*. En: *I Congreso Español de Geología*. V: 99-130, Segovia.
- Aguiló, M. (1981). *Metodología para la evaluación de la fragilidad visual del paisaje*. Tesis Doctoral, ETSIM de Madrid, UPM.
- Aguiló, M., Andrés, L. *et al.* (1987). Varios términos. En: A. Ramos (coord.), *Diccionario de la Naturaleza. Hombre, ecología, paisaje*. Espasa-Calpe, Madrid.
- Aguiló, M., Aramburu, M.P. *et al.* (1992). *Guía para la elaboración de estudios del medio físico: contenido y metodología* (1ª edición 1981). Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Madrid.
- Aitchison, G.D. and Grant, K. (1967). The PUCE programme of terrain description, evaluation and interpretation for engineering purposes. *Proc. 4th Reg. Conf. Africa Soil Mech. Fdn Engng.*, 1, 1.
- Aitchison, G.D. and Grant, K. (1968). Terrain Evaluation for Engineering. In: G.A. Stewart (ed.), *Land Evaluation*, 125-146. Macmillan of Australia, Melbourne.
- Alexandrowicz, Z. (1983). Classification of Landscape Based on Anthropogenic Forms of Relief. *Bull. Acad. Pol. Sci., Ser. Sci. Terre*, XXX (1-2): 87-92.
- Allen, T.F.H. and Starr, T.B. (1982). *Hierarchy. Perspectives for Ecological Complexity*. The University of Chicago Press, Chicago and London.

- Allué, M., Costa, M., *et al.* (1995). *Paisajes vegetales de Segovia*. En: J.A. Abella, J.F. Martín Duque *et al.* (eds.), "Colección Hombre y Naturaleza", Tomo II. Junta de Castilla y León, Ayuntamiento de Segovia y otros, Segovia.
- Alonso Teixidor, L.F. (1994). *Plan Especial de la Sierra de Guadarrama*. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Junta de Castilla y León, Valladolid. (inédito).
- Areitio, A. y Quiroga, F. (1874). Excursión geológica por la provincia de Segovia. *An. Soc. Esp. Hist. Nat.*, III:333-344.
- Arenillas, M., Arenillas, T. *et al.* (1988). *Análisis del Medio Físico de Segovia. Delimitación de unidades y estructura territorial*. Junta de Castilla y León, Valladolid.
- Areola, I.O. (1974). Photo-interpretation of Land Facets as a Soil Mapping Technique. *Geoforum*, 20:25-74.
- Arnot, R.H. and Grant, K. (1981). The application of a method for terrain analysis to functional land-capability assesment and aesthetic landscape appreciation. *Landscape Planning*, 8:269-300.
- Ayala, F.J., Durán, J.J. y Peinado, T. (eds.) (1988a). *Riesgos Geológicos*, IGME, Madrid.
- Ayala, F.J., Olivier, C. *et al.* (1988b). *Atlas Geocientífico de Madrid*. ITGE, Madrid.
- Ayuso, E., Ramos, A. *et al.* (1976). A computer model for land-use planning. Case study of a rural derelict area (Ayllón, Spain). *Landscape Planning*, 3:101-140.
- Bailey, R.G. (1983). Delineation of Ecosystem Regions. *Environmental Management*, 7 (4):365-373.
- Bailey, R.G., Zoltai, S.C., and Wiken, E.B. (1985). Ecological regionalization in Canada and the United States. *Geoforum*, 16(3): 265-275.
- Bañón, S., Casado, A. y Ros, A. (1992). Cartografía de paisaje del territorio histórico de Álava. En: *IV Jornadas sobre el Paisaje*, 139-150. Horizonte Cultural y otros, Segovia.
- Bardají, T., Centeno, J.D. y Sanz Santos, M.A. (1991). Geomorfología. En: *Mapa Geológico de España. Escala 1:50.000. Turégano (457)*. ITGE, Madrid.
- Barrio, M., Cortón, M.T. *et al.* (1987). *Historia de Segovia*. Caja de Ahorros de Segovia, Segovia.
- Bartolomé, L., Pedraza, J. *et al.* (1980). *Estudio del Medio Físico de los términos municipales de Castrojeriz, Melgar de Fernamental y Villadiego*. Diputación provincial de Burgos, Burgos.
- Bascones, M. y Gallego, E. (1993). Ordenación del territorio y actividades extractivas. En R. Ortiz Silla (ed.), *Problemática geoambiental y desarrollo*, 35-52. SEGAOT, Murcia.

- Batelle-Columbus Lab. (1972).** *Environmental Evaluation System for Water Resource Planning*. Springfield.
- Beaven, P.V. (1976).** Terrain Evaluation. In: *Applied Geology for Engineers*, 171-195. Military Engineering, Vol. XV, Cap. 8, Her. Magestry's Stt. Office, London.
- Beckett, P.H.T. and Webster, R. (1965).** *A Classification System for Terrain*. MEXE Report 872, Christchurch.
- Beckinsale, R.P. and Chorley, R.J. (1991).** *The history of the study of landforms or the development of Geomorphology*. Volume 3: Historical and Regional Geomorphology 1890-1950, Routledge, London and New York.
- Bertrand, G. (1968).** Paysage et Géographie physique globale. Esquisse méthodologique. *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, 35:249-272.
- Berg, L.S. (1931).** *Landshaftno-geograficheskiye zony SSSR*, Moscow.
- Berger, A. and Iams, W.I. (eds.) (1996).** *Geoindicators. Assessing rapid Environmental Changes in Earth System*. Balkema, Rotterdam.
- Betz, F. (1975).** *Environmental Geology*. Benchmark Papers in Geology 25. Dowden, Hutchinson & Ross. Stroudsburg.
- Blanco, A. (1979).** *La definición de unidades de paisaje y su clasificación en la provincia de Santander*. Tesis Doctoral. ETSIM, Madrid.
- Bolós, M. (1975).** Paisaje y ciencia geográfica. *Estudios Geográficos*, 36(1):93-105.
- Bolós, M. (dir.) (1992).** *Manual de la Ciencia del Paisaje*. Masson, Barcelona.
- Boluda, R., Molina, M.J. y Sánchez Díaz, J. (1984).** Definición y metodología de unidad de paisaje. Importancia de la Geología Ambiental en su descripción. En: *I Congreso Español de Geología*, I: 611-621, Segovia.
- Bowles, G. (1775).** *Introducción a la Historia Natural y a la Geografía Física de España*. Poniente, Madrid. (reedición facsímil en 1982).
- Bowman, I. (1911).** *Forest Physiography. Physiography of the United States and Principles of Soils in Relation to Forestry*. Wiley, New York.
- Bourne, R. (1931).** *Regional Survey and its Relation to Stocktaking of the Agricultural and Forest Resources of the British Empire*. Oxford Forestry Memoirs N° 13.
- Bradshaw, A.D. and Chadwick, M.J. (1980).** *The Restoration of Land. The ecology and reclamation of derelict and degraded land*. Blackwell, Oxford.

- Breñosa, R. y Castellarnau, J.M. (1884).** *Guía y descripción del Real Sitio de San Ildefonso*. Impresores de la Real Casa, Madrid. (reedición facsímil por Biblioteca Nueva, La Granja, 1991).
- Bridges, E.M. and Doornkamp, J.C. (1963).** Morphological Mapping and the study of Soil Patterns. *Geography*, 48 (2):175-181.
- Brink, A.B.A., Mabbutt, J.A. et al. (1966).** *Report of the Working Group on Land Classification and Data Storage*. MEXE Report 940, Christchurch.
- Brown, T.C. y Daniel, T.C. (1991).** Landscape aesthetics of riparian environments: Relationships of flow quantity to scenic quality along a wild and scenic river. *Water Resources Research*, 27(8): 1787-1795.
- Brush, R.O. (1981).** Landform and scenic preference: a research note. *Landscape Planning*, 8: 301-306.
- Brundtland, G.H. (1988).** *Nuestro futuro común*. Alianza Editorial, Barcelona.
- Bullón, T. y Sanz Herraiz, C. (1977).** Segovia. En: E. Martínez de Pisón (dir.), *Los paisajes naturales de Segovia, Avila, Toledo y Cáceres*, 9-48. Instituto de Estudios de Administración Local, Madrid.
- Cabra, P., Fernández, P. y Garzón, M.G. (1983).** Modelos geomorfológicos para el estudio del medio físico en el área de Madrid. En: *II Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. Comunicaciones*, 6.45-6.62. GEGAOT, Lleida.
- Calderón, S. (1897).** Excursión por el terreno cretácico de los alrededores de Segovia. *Act. Soc. Esp. Hist. Nat.*, XXVI: 91-99.
- Carpenter, R.A. (1980).** Using Ecological Knowledge for Development Planning. *Environmental Management*, 4(1): 13-20.
- Casado, S. (1995).** Por el bosque de Valsaín con Joaquín María de Castellarnau. *Quercus*, 115:36-41.
- Castelao, J. et al. (1995).** *Derecho Administrativo*. Universitas, Madrid.
- Castillo, C. (1986).** *Estudio cuantitativo de paisajes fluviales*. Tesis Doctoral. E.T.S.I. de Montes, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. (inédito)
- Cendrero, A. (1975).** Environmental Geology of the Santander Bay Area, Northern Spain. *Environmental Geology*, 1: 97-114.
- Cendrero, A. (1989a).** Planificación ambiental y ordenación de usos del territorio. En: F.J. Ayala y J.F. Jordá (eds.), *Geología Ambiental*, 25-33. ITGE, Madrid.

- Cendrero, A. (1989b). Mapping and Evaluation of Coastal Areas for Planning. *Ocean & Shoreline Management*, 12:427-462.
- Cendrero, A. (1990). La cartografía geoambiental. En: *Síntesis de la IV Reunión Nacional sobre Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*, 23-52. Universidad de Oviedo, Oviedo.
- Cendrero, A., Díaz de Terán, J.R. y Saiz de Omeñaca, J. (1976). A technique for the definition of environmental geologic units and for evaluating their environmental value. *Landscape Planning*, 3: 35-66.
- Cendrero, A., Nieto, M. et al. (1986). *Mapa Geocientífico de la Provincia de Valencia*. Diputación Provincial de Valencia, Valencia.
- Cendrero, A. y Díaz de Terán, J.R. (1987). The environmental map system of the University of Cantabria, Spain. En: P. Arndt y G.W. Lüttig (eds.), *Mineral resources extraction, environmental protection and land-use planning in the industrial and developing countries*, 149-181. Schweizerbart, Stuttgart.
- CENEAM (1993). *Sierra de Guadarrama. Hombre y Naturaleza*. ICONA, Segovia.
- Centeno, J.D. (1987). *Morfología granítica de un sector del Guadarrama Occidental*. Tesis Doctoral, Fac. C.C. Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- Centeno, J.D., Pedraza, J. y Ortega, L.I. (1983). Estudio geomorfológico, clasificación del relieve de la Sierra de Guadarrama y nuevas aportaciones sobre su morfología glacial. *Bol. R. Soc. Española His. Nat. (Geol.)*, 8(3-4): 153-171.
- Centeno, J.D., Fraile, M.J. et al. (1994). *Geomorfología Práctica. Ejercicios de Fotointerpretación y Planificación Geoambiental*. Rueda, Madrid.
- Christian, C.S. (1958). The concept of land units and land systems. *Proc. Ninth Pacific Sci. Congr. (1957)*, 20: 74-81.
- Christian, C.S. and Stewart, G.A. (1953). *General Report on Survey of the Katherine-Darwin Region, 1946*. CSIRO Australia Land Resources Series N° 1.
- Christian, C.S. and Stewart, G.A. (1968). Methodology of integrated surveys. In: *Aerial surveys and integrated studies: Proceedings of Toulouse Conference, 1964*, 233-280. UNESCO, París.
- Christian, C.S. (1982). The Australian Approach to Environmental Mapping. En: F.C. Whitmore and M.E. Williams (eds.), *Resources for the twenty-first century*, 298-316. Proceedings of the international centennial symposium of the U.S. Geological Survey, U.S. Geol. Survey Prof. Pap. 1193, Washington.
- CNRS (1970). *Legende pour la carte geomorphologique de la France au 1:50.000*. Centre National de la Recherche Scientifique, París.

- Coates, D.R. (ed.) (1972-1974). *Environmental Geomorphology and Landscape Conservation*. Benchmark papers in geology, 3 vols. Hutchinson and Ross, Stroudsburg.
- Coates, D.R. (1981). *Environmental Geology*. John Wiley & Sons, New York.
- Cooke, R.S. and Doornkamp, J.C. (1978). *Geomorphology in Environmental Management*. Clarendon Press, Oxford.
- Coque, R. (1977). *Géomorphologie*. Armand Colin, Paris.
- Cortázar, D. de (1891). *Descripción física y geológica de la provincia de Segovia*. Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España, Tomo XVII, Madrid.
- Costa, J.E. y Baker, V.R. (1981). *Surficial Geology. Building with the Earth*. Willey, New York. 498 págs.
- Cotarro (1983). ¿Espacios protegidos o protección del espacio? *Quercus*, 11: 42-43.
- Crofts, R.S. (1974). Detailed Geomorphological Mapping and Land Evaluation in Highland Scotland. In: E.H. Brown and R.S. Waters (eds.), *Progress in Geomorphology*, Papers in honour of David L. Linton, 231-251.
- Dalrymple, J.R., Blong, R.J. and Conacher, R.J. (1968). A hypothetical nine unit landsurface model. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 12:59-76.
- Daniel, T.C. y Vinning, J. (1983). Methodological issues in the assesment of landscape quality. En: I. Altman y J.F. Wohlwill (eds.), *Human Behavior and Environment. Advances in Theory and Research*, (6):39-84. Plenum Press, New York.
- Dantín Cereceda, J. (1912). *Resumen Fisiográfico de la Península Ibérica*. Trab. Mus. Cienc. Nat., 9 (serie antigua), 4 (serie nueva). Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, Madrid.
- Dantín Cereceda, J. (1922). *Ensayo acerca de las Regiones Naturales de España*. J. Cosano Impresor, vol. 1. Madrid.
- Dantín Cereceda, J. (1942). *Regiones Naturales de España*. Tomo I. Instituto Juan Sebastián Elcano. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Madrid.
- Davis, W.M. (1899a). The United States of America. In: H.R. Mill (ed.), *The International Geography*.
- Davis, W.M. (1899b). The geographical cycle. *Geogr. Journal*, XIV: 481-504.
- De Pablo, C.L. y Pineda, F.D. (1985). Análisis multivariante del territorio para su cartografía ecológica. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 5:235-260.

- De Pablo, C.L. y Martín de Agar, P. (1993).** Bases teóricas de la cartografía ecológica. *Quercus*, 88:32-35.
- Demek, J. (ed.) (1972).** *Manual of Detailed Geomorphological Mapping*. Academia, Prague.
- Díaz Pineda, F. y Nicolas, J.P. (1987).** Sistemas de Información Ambiental. En: A. Ramos (coord.), *Diccionario de la Naturaleza. Hombre, ecología, paisaje*, 884-901. Espasa-Calpe, Madrid.
- Díaz Segovia, A. y Ramos, A. (1991).** *La práctica de las estimaciones de impactos ambientales*. Cátedra de Planificación. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Madrid.
- Díaz de Terán, J.R. (1985).** *Estudio geológico-ambiental de la franja costera Unquera-Castro Urdiales (Cantabria) y establecimiento de bases para su ordenación territorial*. Tesis Doctoral, Universidad de Oviedo, Oviedo. (inédito).
- Díaz de Terán, J.R. (1989).** Tipos y metodologías de cartografías geoambientales y geocientíficas. En: F.J. Ayala y J.F. Jordá (eds.), *Geología Ambiental*, 239-257, ITGE Serie Ingeniería Geoambiental, Madrid.
- Díaz Pineda, F., Escudero, J.C. et al. (1973).** Terrestrial ecosystems adjacent to large reservoirs. Ecological Survey and Impact Diagnosis. *International Commission on Large Dams. XI Congress*. Centro de Estudios Hidrográficos, Madrid.
- Díez Herrero, A., y Martín Duque, J.F. (1993a).** Fenómenos gravitacionales en el entorno de la ciudad de Segovia. Análisis de riesgos y aplicación a la Ordenación Territorial. En: R. Ortiz Silla (ed.), *Problemática Geoambiental y Desarrollo. Actas de la V Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*, 681-692. SEGAOT, Murcia.
- Díez Herrero, A., y Martín Duque, J.F. (1993b).** Hidrología. En: L. Yoldi y J.A. Abella (coords.), *Segovia: Ecología y Paisaje*, 52-58. Ayuntamiento de Segovia y otros, Segovia.
- Dokuchaev, V.V. (1883).** *El Chernozem Ruso*, Sochineniya, 3, Academia de Ciencias de Moscú.
- DPS (1994).** *Normas Subsidiarias de Planeamiento Municipal con ámbito provincial*. Diputación Provincial de Segovia-Consejería de M.A. y O.T. Junta de Castilla y León, Segovia.
- Dumolard, P. (1975).** Région et régionalisation. Une approche systémique. *L'Espace Géographique*, IV (2):93-111. Artículo parcialmente reproducido en: J. Gómez Mendoza et al. (1982). *El pensamiento geográfico*, 452-460. Alianza, Madrid.
- ECOPLAN (1991).** *Estudio para la declaración de parque natural de la Cuenca del río Riaza*. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Castilla y León, Valladolid. (inédito)



- Enériz, F.J. (1991).** *La ordenación del territorio en la legislación de Navarra*. Civitas-Instituto Vasco de Administración Pública, Oñati.
- Enríquez de Salamanca, C. (1981).** *Por la Sierra de Guadarrama*. Cayetano Enríquez de Salamanca editor, Madrid.
- ENTORNO (1991).** *Estudio para la declaración de la Sierra de Guadarrama como espacio natural protegido*. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Castilla y León, Valladolid. (inédito)
- Erhart, H. (1956).** *La gèneses des sols en tant que phénomène géologique*. Masson, Paris.
- Escribano, M.M. et al. (1991).** *El Paisaje*. Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT), Madrid.
- Falque, M., Fischer, J.C. et al. (1974).** Note sur la méthodologie géologique dans le cadre d'une étude de planification écologique. *R. Geogr. Phys. Geol. Dyn.*, 16(5): 459-464.
- FAO (1976).** *A Framework for Land Evaluation*. Soils Bulletin N° 32, Rome.
- FAO (1977).** *Guía para la descripción de perfiles de suelos*. Segunda edición. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación.
- FAO (1991).** *Mapa mundial de suelos*. Leyenda revisada, FAO-UNESCO, Roma. (versión en castellano de T. Carballas, F. Macías, F. Díaz-Fierros et al.)
- Fenneman, N.M. (1914).** Physiographic Boundaries within the United States. *Ann. Assn. Am. Geogr.*, 4:84-134.
- Fenneman, N.M. (1916).** Physiographic divisions of the United States. *Ann. Assn. Am. Geogr.*, 6:19-98.
- Fenneman, N.M. (1928).** Physiographic divisions of the United States. *Ann. Assn. Am. Geogr.*, 18:261-353.
- Fernández García, P. (1988).** *Geomorfología del sector comprendido entre el Sistema Central y el Macizo de Santa María de Nieva (Segovia)*. Tesis Doctoral, Fac. C.C. Geológicas, UCM, Madrid.
- Fernández García, P., Pedraza, J. et al. (1990).** Geomorfología. En: *Mapa Geológico de España. Escala 1:50.000. El Espinar (507)*. ITGE, Madrid.
- Fernández García, P., Centeno, J.D. et al. (1991).** Geomorfología. En: *Mapa Geológico de España. Escala 1:50.000. Valverde del Majano (482)*. ITGE, Madrid.

- Fernández García, P., Centeno, J.D. y Garzón, G. (1993). Superficies y depresiones en el Sistema Central Ibérico: arquitectura de las grandes unidades morfoestructurales en el sector de Gredos-Guadarrama. *Cuaternario y Geomorfología*, 7:3-14.
- Finlayson, A.A. and Buckland, A.J. (1987). The use of terrain evaluation for urban and regional planning. *The role of Geology in Urban Development. Geol. Soc. of Hong Kong Bull.*, 3:67-79.
- Forteza, J., Lorenzo, L.F. et al. (1987). *Mapa de suelos de Castilla y León*. Junta de Catilla y León, Valladolid.
- Forman, R.T.T. y Godron, M. (1986). *Landscape Ecology*. John Wiley and Sons, New York.
- Fournier, F. (1960). *Climat et Erosion*. Presses Universitaires de France, Paris.
- Flawn, P.T. (1970). *Environmental Geology. Conservation, Land-use Planning and Resource Management*. Harper & Row, New York.
- Francés, E., Cendrero, A., Díaz de Terán, J.R. et al. (1990a). Criterios geoambientales aplicados al Plan de Ordenación Urbana del Municipio de Suances (Cantabria). *IV Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*, 195-201. GEGAOT, Gijón.
- Francés, E., Díaz de Terán, J.R., Cendrero, A. et al. (1990b). Una metodología de evaluación de áreas litorales para su ordenación como espacios protegidos. *IV Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*, 203-211. GEGAOT, Gijón.
- Francés, E., Gómez Orea, D., Cendrero, A. et al. (1990c). Una metodología para la definición de unidades de diagnóstico en la elaboración de directrices de ordenación del territorio a escala regional: el modelo de Cantabria. *IV Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*, 203-211. GEGAOT, Gijón.
- Fränze, O. (1959). *Glaziale und periglaziale Forbildung im östlichen Kastilischen Scheidegebirge (Zentralspanien)*. Bonner Geographische Abhandlungen, 26. (Traducido en *Estudios Geográficos*, 1978, 39: 203-231 y 363-418).
- Fyfe, W.S. (1993). Sustainable Resources for Ten Billion. Is it possible? En: R. Ortiz Silla (ed.), *Problemática geoambiental y desarrollo*, 27-32. SEGAOT, Murcia.
- Gallardo, J. (1978). Los suelos climax del Guadarrama segoviano. *Geographica*, I: 75-87.
- Gallardo, J. y Pérez González, A. (1983). Regiones fisiográficas. *El Campo*, 90: 10-15.
- Gallardo, J., Goy, J.L. et al. (1988). Geomorfología y suelos. En: M. Gutiérrez y J.L. Peña (eds.), *Perspectivas en Geomorfología*, 189-206. Sociedad Española de Geomorfología, Zaragoza.
- Gandullo, J.M. y Sánchez-Palomares, O. (1976b). Contribución al estudio ecológico de la sierra de Guadarrama. III. Suelos. *Anales del INIA, Serie Recursos Naturales*, 2: 37-73.

- García Abril, A. y Canga, J.L. (1991).** Impactos ecológicos y paisajísticos de las repoblaciones forestales. En: A. Díaz Segovia y A. Ramos, *La práctica de las estimaciones de impactos ambientales*, 135-199. Cátedra de Planificación. E.T.S.I.M., Madrid.
- García Cortés, A., Gallego, E. y Palacio, J. (1992).** *El patrimonio geológico*. ITGE, Madrid.
- García Ruiz, J.M. y Lasanta, T. (eds.) (1994).** *Efectos geomorfológicos del abandono de tierras*. Sociedad Española de Geomorfología, Zaragoza.
- Garzón, M.G. (1977).** *Estudio del Medio Físico Geológico para las Normas de Planeamiento de la Merindad de Castilla La Vieja*. (inédito).
- Garzón, M.G. (1978).** *Metodología de la cartografía geomorfológica. Su interés científico y aplicado*. Fundación Juan March, Madrid.
- Garzón, M.G. (1980).** *Estudio geomorfológico de una transversal de la Sierra de Gredos Oriental (Sistema Central Español). Ensayo de una cartografía geomorfológica*. Tesis Doctoral, Facultad de C.C. Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- Garzón, M.G. (1989).** Geología y zonificación de unidades territoriales. En: F.J. Ayala y J.F. Jordá (eds.), *Geología Ambiental*, 231-238, ITGE Serie Ingeniería Geoambiental. Madrid.
- Garzón, M.G. y Pedraza, J. (1977).** *Estudio del Medio Físico Geológico para el Plan de Ordenación de la Comarca de Albarracín*. ICONA, Teruel (inédito).
- Gentili, J. (1968).** Regions, natural and geographical. En: R.W. Fairbridge (ed.), *The Encyclopedia of Geomorphology*, 932-933. Reinhold, New York.
- Gilmartín, M.A. (1995).** *Conocimiento social del paisaje. Componentes y dimensiones del juicio estético*. Tesis Doctoral, Facultad de Psicología, UAM, Madrid.
- Godfrey, A.E. (1977).** A Physiographic Approach to Land Use Planning. *Environmental Geology*, 2:43-50.
- Godfrey, A.E. and Cleaves, E.T. (1991).** Landscape Analysis: Theoretical Considerations and Practical Needs. *Environmental Geology and Water Sciences*, 17(2):141-155.
- Gómez-Limón, J., Múgica, M. et al. (1994).** El reto de conservar la sierra de Guadarrama. *Quercus*, 98: 19-25.
- Gómez Orea, D. (dir.) (1975).** *Plan Especial de Protección del Medio Físico de la Provincia de Madrid*. COPLACO, Madrid.
- Gómez Orea, D. (1978).** *El medio físico y la planificación*. I y II. Cuadernos del CIFCA, Madrid.
- Gómez Orea, D. (1988).** Evaluación de Impacto Ambiental (E.I.A). *Ciudad y Territorio*, 75(1):5-31.

- Gómez Orea, D. (1994). *Ordenación del Territorio. Una aproximación desde el medio físico*. ITGE-Ed. Agrícola Española, Madrid.
- González Alonso, S., Aguiló, M. y Ramos, A. (1991). *Directrices y Técnicas para la estimación de impactos*. Cátedra de Planificación y Proyectos, ETSIM, Universidad Politécnica, Madrid.
- González Bernáldez, F. (1981). *Ecología y paisaje*. Blume, Madrid.
- González Bernáldez, F. (1987). Paisaje. En: A. Ramos (coord.), *Diccionario de la Naturaleza. Hombre, ecología, paisaje*, 682-686. Espasa-Calpe, Madrid.
- González Bernáldez, F. (1992). Introducción a la Ecología del Guadarrama. En: A. Sáenz de Miera (dir.), *La Sierra de Guadarrama. Naturaleza, paisaje y aire de Madrid*, 95-107. Comunidad de Madrid, Madrid.
- González Bernáldez, F., Díaz Pineda, F. et al. (1973). *Estudio temático ecológico de la subregión de Madrid*. Informe para COPLACO, Ministerio de la Vivienda, Madrid.
- González Bernáldez, F., Sancho, F. et al. (1974). Un système d'enregistrement et minimisation des impacts sur l'environnement IRAMS. Int. Syum. *Informatique et Environnement*, Fondation Universitaire Belge, Arlon.
- Guzzetti, F. and Reichenbach, P. (1994). Towards a definition of topographic divisions for Italy. *Geomorphology*, 11: 57-74.
- Grant, K. (1982). Land Capability Assesment and Evaluation for Land Use Planning. In: *Impact on Land Use Planning in Developing Countries*, G3.1-45, Proceedings of the First International Symposium on Soil, Geology and Landforms. Bangkok.
- Grant, K. and Finlayson, A.A. (1978). The application of Terrain Analysis to Urban and Regional Planning. *Proceedings of the III International Congress of the International Association for Engineering Geology*, París, 1(1): 79-91.
- Gullentops, F.B. (1963). La cartographie géomorphologique en Belgique. *Geogr. Stud. (Warsaw)*, 46:57-58.
- Haase, G. (1964). Landschaftsökologische Detaliuntersuchung und nturräumliche Giederung. *Pettermanns Geographische Mitteilungen*, 108: 8-30.
- Hammond, E.H. (1954). Small-scale continental landform maps. *Ann. Assn. Am. Geogrs*, 44:33-42.
- Harris, R.R. (1987). Associations between Streams Valley Geomorphology and Riparian Vegetation as a Basis for Landscape Analysis in the Eastern Sierra Nevada, California, USA. *Environ. Managmt.*, 12 (2):219-228.
- Heras, F. (1995). Agua, paisaje y cultura en la Comunidad de Madrid. *Actas de las VI Jornadas sobre el Paisaje. Agua y Paisaje*, 169-178. Asociación para el estudio del Paisaje, Segovia.

- Herbertson, A.J. (1905).** The Major Natural Regions: an Essay in Systematic Geography. *Geographical Journal*, 25:300-312.
- Hernández Bermejo, J.E., y Sainz Ollero, H. (1984).** *Ecología de los hayedos meridionales ibéricos: el macizo de Ayllón*. 2ª edición. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.
- Hernández-Pacheco, E. (1934a).** *Síntesis fisiográfica y geológica de España*. Trab. Mus. Nac. Cienc. Nat. (Serie Geol.), 38. Junta para la Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas. Madrid. (volumen correspondiente a 1932)
- Hernández-Pacheco, E. (1934b).** *El paisaje en general y las características del paisaje hispano*. Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Discurso sesión inaugural curso 1934/35, Madrid.
- Hernández-Pacheco, E. (1955-1956).** *Fisiografía del Solar Hispano*. Mem. R. Acad. Cienc. Exactas Fis. Nat. (serie Cienc. Nat.), XVI, 2 tomos.
- Hills, G.A. (1961).** The Ecological Basis for Natural Resources Management. In: *The Ecological Basis for Landuse Planning*, 8-49. Ontario Department of Lands and Forests, Toronto.
- Hills, G.A. (1974).** A philosophical approach to landscape planning. *Landscape Planning* 1(4):339-371.
- Hita, C. de (1995).** *Ecogufa. Las sierras de Guadarrama y Ayllón*. Anaya, Madrid.
- Hooke, R.L. (1994).** On the Efficacy of Humans as Geomorphic Agents. *GSA Today*, 4(9):225-225.
- Howard, J.A. and Mitchell, C.W. (1985).** *Phytogeomorphology*. John Wiley & Sons, New York.
- Huguet del Villar, E. (1937).** *Los suelos de la Península Luso-Ibérica*, mapa 1:1.500.000 y texto. Thomas Murby, London.
- Hunt, C.B. (1967).** *Physiography of the United States*. Freeman, San Francisco.
- Ibáñez, J.J. (1986).** *Ecología del paisaje y sistemas edáficos en el macizo de Ayllón*. Tesis Doctoral, Facultad de CC. Biológicas, UCM, Madrid.
- Ibáñez, J.J., García Álvarez, A. y Monturiol, F. (1987).** Ecología del Paisaje: propuesta de una metodología para la prospección del medio físico en áreas de montaña mediterránea. En: *III Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. Comunicaciones*, Vol. II, 1067-1084. GEGAOT, Valencia.
- IGME (1976).** *Mapa geotécnico de ordenación territorial y urbana de la subregión de Madrid (Segovia 9-10, y Riaza 10-9)*. Ministerio de industria, Madrid.

- Isachenko, A.G. (1965).** *Probleme der Landschaftsforschung und physisch-geographischen Gliederung*, Moscow.
- ITGE (1990-1991).** *Mapa Geológico de España a escala 1:50.000*. Hojas de Nava de la Asunción (456), Turégano (457), Prádena (458), Valverde del Majano (482), Segovia (483) y El Espinar (507). Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid.
- ITGE (1994).** *Mapa geológico de la Península Ibérica, Baleares y Canarias. Escala 1:1.000.000*. Instituto Tecnológico GeoMinero de España, Madrid.
- Jardón y Serra (1990).** Restauración en minería a cielo abierto. En: *Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. Síntesis de la IV Reunión Nacional*, 53-89. Universidad de Oviedo, Oviedo.
- JCL (1990).** *La Red de Espacios Naturales de Castilla y León*. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Castilla y León, Valladolid.
- JCL (1996).** *Directrices de Ordenación Territorial de Castilla y León. Hipótesis de modelo territorial*. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Castilla y León. Valladolid.
- Joerg, W.L.G. (1914).** The Subdivision of North America into Natural Regions. A preliminary inquiry. *Ann. Ass. Am. Geogrs*, 4:55-83.
- Johns, D.H. (1973).** *Environmental quality evaluation and impact analysis methodology*. Center for Settlement Studies, Universidad de Manitoba.
- Julivert, M., Fonboté, J.M. et al. (1972).** *Mapa tectónico de la península Ibérica y Baleares*. IGME, Madrid.
- Kaplan, R. (1985).** The analysis of perception via preference. A strategy for studying how the environment is experienced. *Landscape Planning*, 14:281-293.
- Kaplan, R. y Kaplan, S. (1989).** *The Experience of Nature. A Psychological Perspective*. Cambridge University Press, New York.
- Klimaszewsky, M. (1956).** The principles of the geomorphological survey of Poland. *Przegląd Geograficzny*, 28: 32-40.
- Lacate, D. (1969).** *Guidelines for biophysical land classification*. Canadian Forestry Service, Ottawa.
- Lafuente, J., Pedraza, J. et al. (1981).** *Plan General de Ordenación Urbana de San Ildefonso-La Granja*. Ayuntamiento de San Ildefonso-La Granja, Segovia.
- Láin, L., Duch, M. et al. (1991).** *Riesgos naturales en Castilla y León*. ITGE, Madrid.

- Láinez, M. (1964).** Apuntes históricos de Segovia. *Estudios Segovianos*, XVI(46-47): 5-421.
- Lasanta, T. y García Ruiz, J.M. (eds.) (1996).** *Erosión y recuperación de tierras en áreas marginales*. Instituto de Estudios Riojanos-Sociedad Española de Geomorfología, Logroño.
- Laut, P., Heyligers, P.C. et al. (1977).** *Environments of South Australia*. Handbook CSIRO Australia Division of Land Use Resources.
- Leopold, L.B. (1969).** Landscape Esthetics. *Natural History*, Oct. 36-45. In: D.R. Coates (ed.), *Environmental Geomorphology and Landscape Conservation*, vol III: *Non Urban*, 26, 454-467. Dowden, Hutchinson & Ross, Stroudsburg.
- Leopold, L.B, Clarke, F.E. et al. (1971).** *A Procedure for Evaluating Environmental Impact*. Geological Survey Circular 645. U.S. Government Printing Office. Washington.
- Ley 29/1985 de Aguas, de 2 de agosto.** Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RD 849/1986, de 30 de abril).
- Ley 4/1989, de 24 de marzo.** *Conservación de Espacios Naturales y de la Flora y Fauna Silvestres*.
- Ley 8/1991, de 10 de mayo.** *Espacios Naturales de la Comunidad de Castilla y León*.
- Leranoz, B. (1993).** *Geomorfología y Geología ambiental de la ribera de Navarra*. Tesis doctoral, Universidad de Zaragoza. Zaragoza. (inédita)
- Lewis, P.H. (1964).** Quality corridors for Wisconsin. *Landscape Architecture Quarterly*, 1:100-107.
- Linton, D.L. (1951).** The delimitation of morphological regions. In: L.D. Stamp and S.W. Wooldridge (eds.), *London Essays in Geography*, 199-218, Longman, London.
- Linton, D.L. (1968).** The Assesment of Scenery as a Natural Resource. *Scottish Geogr. Magazine*, 84: 219-238.
- López Jimeno, C., Aramburu, M.P. et al. (1989).** *Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería*. ITGE, Madrid.
- Lotze, F. (1945).** Zur Gliederung der Varisziden der Iberischen Meseta. *Geotktonische Forschungen.*, 6: 78-92.
- Lovejoy, D. (ed.) (1973).** *Land use and landscape planning*. Leonard Hills, London.
- Lüttig, R. (1980).** Mapas geocientíficos como base para el análisis del medio natural. *Tecniterrae*, 33: 59-62.

- Lüttig, R. (1987). Large scale maps for detailed environmental planning. In: F.C. Wolff (ed.), *Geology for environmental planning*, 2:71-76, Geol. Survey of Norway, Trondheim.
- Mabbutt, J.A. (1968). Review of concepts of land classification. In: G.A. Stewart (ed.), *Land Evaluation*. CSIRO Symposium, 11-28. Macmillan. Melbourne.
- Macar, P., de Béthune, P. et al. (1961). Travaux préparatoires à l'élaboration d'une carte géomorphologique de Belgique. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, 84: 179-198.
- Maciá, A. (1980). Paisaje y personalidad. *Estudios de Psicología*, 1:30-38.
- Mandelbrot, B.B. (1983). *The fractal geometry of nature*. Freeman, New York.
- Marsh, G. (1864). *Mand and Nature, or Physical Geography as Modified by Human Action*. Scribner, New York. Reeditado por Belknap/Harvard University Press, Cambridge, en 1965.
- Marinero, A.M. (1992). Tensiones en la transformación de los usos del territorio. Cambios recientes en los límites del área metropolitana de Madrid. Su impacto en el medio rural de Segovia. En: *Actas de las V Jornadas sobre el Paisaje*, 49-74. A.E.P., Segovia.
- Martín de Agar, P. (1984). *Ecología y planeamiento territorial: metodología y estudio de casos en la región murciana*. Universidad de Murcia, Murcia.
- Martín Duque, J.F. (1993). *Análisis de las actividades extractivas de arenas silíceas y arcillas en la provincia de Segovia y directrices generales para la restauración de los espacios afectados*. Proyecto III Máster en Evaluación y Corrección de Impactos Ambientales. ETSIM, UPM, Madrid. (inédito).
- Martínez de Pisón, E. (dir.) (1977). *Los paisajes naturales de Segovia, Avila, Toledo y Cáceres. Estudio Geográfico*. Instituto de Estudios de Administración Local, Madrid.
- Martínez de Pisón, E. y Sanz Herraiz, C. (1994). Análisis y Evaluación del Medio Físico. En: *Plan Especial de la Sierra de Guadarrama*. Junta de Castilla y León, Valladolid. (inédito).
- McHarg, I.L. (1969). *Design with Nature*. Natural History Press, New York.
- McHarg, I.L. (1992). Preface. In: *Design with Nature*. John Wiley & Sons, York.
- Milne, G. (1935). Some suggested units of classification and mapping, particularly for East African soils. *Soil Research*, 4(3):183-198.
- Mitchell, C.W. (1971). An appraisal of a hierarchy of desert land units. *Geoforum*, 7:69-79.
- Mitchell, C.W. (1991). *Terrain Evaluation*. Segunda edición (1ª ed. 1973). Longman, New York.
- MOPTMA (1991). *Obras en edificación 1994-1995*. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, Madrid.

- Moreno Sanz, F. (1989).** *Zonas kársticas en la vertiente N de la Sierra de Guadarrama*. Tesis Doctoral, Fac. Geografía e Historia, Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- Moreno Sanz, F. y Sanz Donaire, J.J. (1983).** Geomorfología de la provincia. *El Campo*, 90: 5-9.
- Mori, A. (1977).** Classification et Cartographie du Paysage sur base Écologique avec Application à l'Italie. *Geoforum*, 8(5-6):327-340.
- Moss, M.R. (1975).** Biophysical Land Classification Schemes. A review of their Relevance and Applicability to Agricultural Development in the Humid Tropics. *Journal of Environmental Management*, 3:287-307.
- Moss, M.R. and Nickling, W.G. (1980).** Landscape Evaluation in Environmental Assessment and Land Use Planning. *Environmental Management*, 4(1):57-72.
- Neef, E. (1963).** Topologische und chronologische Arbeitsweisen in der Landschaftsforschung. *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 107: 249-259.
- Nichols, O.G., Carbon, B.A. et al. (1985).** Rehabilitation after bauxite mining in south-western Australia. *Landscape Planning*, 12: 75-92.
- Nichols, D.R. (1982).** Application of Earth Sciences to Land-use Problems in the United States with Emphasis on the Role of the U.S. Geological Survey. En: F.C. Whitmore and M.E. Williams (eds.), *Resources for the twenty-first century*, 283-291. U.S. Geol. Survey Prof. Pap. 1193, Washington.
- Nir, D. (1983).** *Man, a Geomorphological Agent. An Introduction to Anthropic Geomorphology*. Keter Publishing House, Jerusalem.
- Obermaier, H. y Carandell, J. (1917).** *Los glaciares cuaternarios de la Sierra de Guadarrama*. Trabajos del Museo Nacional de Ciencias Naturales. Serie Geológica, 19, Madrid.
- Odum, E.P. (1972).** *Ecology*. Interamericana, México.
- Ollier, C.D. (1977).** Terrain Classification: Methods, Application and Principles. In: J.R. Hails (ed.) *Applied Geomorphology*, 277-316. Elsevier, Amsterdam.
- Oria, J., Sotolargo, E. y Acha, A. (1991).** Catálogo abierto de construcciones ilegales o irregulares de segunda residencia en Segovia. En: *Premios del II Concurso sobre Medio Ambiente*, 137-189. Caja de Ahorros de Segovia, Segovia.
- Orive, L.A., Bañón, S. et al. (1992).** Cartografía de paisajes para la conservación en el territorio histórico de Álava. En: *IV Jornadas sobre el Paisaje*, 131-137. Horizonte Cultural y otros, Segovia.

- Outcalt, S.I., Hinkel, K.M. y Nelson, F.E. (1994). Fractal physiography? *Geomorphology*, 11:91-106.
- Panizza, M. (1988). *Geomorfologia applicata. Metodi di applicazione alla Pianificazione territoriale e alla Valutazione d'Impatto Ambientale*. La Nuova Italia Scientifica, Roma.
- Parra, F. (1992). *Problemas ambientales y paisajísticos en el entorno de la ciudad de Madrid*. Conferencia pronunciada en las V Jornadas sobre el Paisaje (Segovia). Inédito.
- Passarge, S. (1919-1921). *Die Grundlagen der Landschaftskunde*. Friederschen, Hamburg.
- Passarge, S. (1931). *Geomorfología*. Labor, Barcelona.
- Pecsi, M. and Somogyi, S. (1969). Subdivisions and Clasification of the Physiographic Landscapes and Geomorphological Regions of Hungary. In: B. Sarfalvi (ed.) *Research Problems in Hungarian Applied Geography*, 7-24. Akadémiaiadó, Budapest.
- Pedraza, J. (1978). *Estudio geomorfológico de la zona de enlace entre las sierras de Gredos y Guadarrama (Sistema Central Español)*. Tesis doctoral. Universidad Complutense, Madrid.
- Pedraza, J. (1980a). La interacción enseñanza-investigación en los estudios ambientales. En: CIFCA, *La formación ambiental universitaria*, 79-86. Cuadernos del CIFCA. Madrid.
- Pedraza, J. (coord.) (1981). *Geología y Medio Ambiente*. Monografías del CEOTMA, nº 11. Madrid.
- Pedraza, J. (1982). The problems of Land Systems for Planning in Spain. In *Impact on Land Use Planning in Developing Countries*, F20.1-F20.10. Proceedings of the First International Symposium on Soil, Geology and Landforms. Bangkok.
- Pedraza, J. (1986). Paisajes geológicos. El ejemplo de la Sierra de Guadarrama en su vertiente meridional, 47-68. En: A. Ramos (coord.), *Curso monográfico sobre restauración del paisaje*. Fundación Conde del Valle de Salazar, Madrid.
- Pedraza, J. (1987). Métodos y técnicas en Geología Ambiental. En: *Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. Síntesis de la III Reunión Nacional*, 99-107. GEGAOT, Valencia.
- Pedraza, J. (1988). El paisaje y la ordenación del territorio. En: *Actas de las primeras Jornadas sobre el Paisaje*, 39-48. Horizonte Cultural y Academia de San Quirce, Segovia.
- Pedraza, J., Villasante, R. et al. (1990). Geomorfología. En: *Mapa Geológico de España. Escala 1:50.000. Cercedilla (508)*. ITGE, Madrid.
- Pedraza, J., Bardají, T. et al. (1991). Geomorfología. En: *Mapa Geológico de España. Escala 1:50.000. Segovia (483)*. ITGE, Madrid.

- Pedraza, J. (1992).** La Naturaleza del Guadarrama. En: A. Sáenz de Miera (dir.), *La Sierra de Guadarrama. Naturaleza, paisaje y aire de Madrid*, 129-126. Comunidad de Madrid, Madrid.
- Pedraza, J. (1994).** Sistema Central. En: M. Gutiérrez Elorza (ed.), *Geomorfología de España*, 63-100. Rueda, Madrid.
- Pedraza, J. y Garzón, A.G. (1978).** Bases geológicas y geomorfológicas para la sistematización de los análisis del medio físico. *Boletín informativo del Medio Ambiente (CIMA)*, 8: 51-70.
- Pedraza, J., González Alonso, S. et al. (1986).** *Mapa Fisiográfico de Madrid*. Consejería de Agricultura y Ganadería. Comunidad Autónoma de Madrid, Madrid.
- Pedraza, J., Centeno, J.D. y Sanz, M.A. (1989).** *Resumen general de las bases geológicas para caracterizar los sistemas naturales, aplicado a la tipificación y evaluación de impactos*. Temario del Área de Geodinámica del Máster en Evaluación y Corrección de Impactos Ambientales. U.C.M. y E.T.S.I.M. (inédito).
- Pedraza, J., Carrasco, R.M. et al. (1996a).** *Geomorfología. Principios, Métodos y Aplicaciones*. Rueda, Madrid.
- Pedraza, J., Carrasco, R.M. et al. (1996b).** *Elaboración de mapas integrados para el inventario de la gea*. D.L. SG-67/96, Segovia. (inédito).
- Peinado M. y Rivas-Martínez, S. (1987).** *La Vegetación de España*. Universidad de Alcalá de Henares, Alcalá de Henares.
- Pinedo, A. (1989).** *Gulas metodológicas para la elaboración de estudios de impacto ambiental: grandes presas*. Monografías de la Dirección General de Medio Ambiente, MOPU, Madrid.
- Porta, J., López-Acevedo, M. y Roquero, C. (1994).** *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Mundi-Prensa, Madrid.
- Pou, A. (1979).** *Geomorfología y distribución de la vegetación*. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid, Madrid.
- Powell, J.W. (1895).** Physiographic Regions of the United States. *National Geographic Society Monograph*. 3: 65-100.
- Powell, J.W. et al. (1896).** *The Physiography of the United States*. National Geographic Society Monographs, American Book & Co., New York.
- Prokayev, V.I. (1962).** The facies as a basic and smallest unit in landscape studies. *Soviet Geography: Review and Translation*, 3(6):21-29.
- Puig i Baguer, J. (1995).** *Planificación del paisaje (Landscape Planning): una herramienta para armonizar las relaciones del hombre en su entorno territorial*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.

- RAE (1992).** *Diccionario de la lengua española* (vigésima primera edición). Real Academia Española, Madrid.
- Ramírez Díaz, L., Esteve, A. y Calvo, J.F. (1994).** Reflexiones ecológicas sobre la planificación territorial. *Ecosistemas*, 8:10-15.
- Ramos, A. (coord.) (1986).** *Curso monográfico sobre restauración del paisaje. Problemas, bases científicas y técnicas de recuperación*. Fundación Conde del Valle de Salazar, Madrid.
- Ramos, A. (1989).** Los impactos ambientales. En: F.J. Ayala y J.F. Jordá (eds.), *Geología Ambiental*, 149-156. ITGE, Madrid.
- Ramos, A. (1993).** *¿Por qué la conservación de la naturaleza?* Discurso leído en el acto de su recepción en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid.
- Ramos, A. y Ayuso, E. (1974).** El medio ambiente natural. Un esquema metodológico para la planificación en áreas rurales. *Bol. Est. Cent. Ecol.*, 3(6):19-25.
- Ramos, A., Ayuso, E., et al. (1976).** Visual landscape evaluation, a grid technique. *Landscape Planning*, 3:67-88.
- Ramos, A., Aramburu, M.P. et al. (1979).** *Planificación física y Ecología. Modelos y métodos*. EMESA, Madrid.
- Ramos, A., Aguiló, M. et al. (1987).** *Diccionario de la Naturaleza: hombre, ecología y paisaje*. Espasa-Calpe, Madrid.
- Real Decreto 2994/1982, de 15 de octubre.** *Restauración del Espacio Natural Afectado por Actividades Mineras*.
- Real Decreto Legislativo 1302/1986, de 28 de junio.** *Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)*.
- Real Decreto Legislativo 1302/1988, de 30 de septiembre.** *Reglamento para la ejecución del R.D.L. 1302/86, de 28 de junio, de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)*.
- Real Decreto Legislativo 1/1992, de 26 de junio.** *Texto Refundido de la Ley sobre el Régimen del Suelo y Ordenación Urbana*.
- Rivas-Martínez, S., y Sáenz, C. (1969).** *Mapa de vegetación potencial de la provincia de Segovia. Escala 1:200.000*. Instituto A.J. Cavanilles. CSIC, Madrid.
- Rivas-Martínez, S., Gandullo, J.M. et al. (1987).** *Memoria del Mapa de series de vegetación de España*. ICONA, Madrid.
- Rodiek, J. (1986).** Landscape erosion and landscape development. En: A. Ramos (coord.), *Jornadas Internacionales sobre el Paisaje del Agua*, 67-81. Canal de Isabel II, Madrid.

- Roquero, E. (1994).** *Relación suelos-geomorfología en el sector centro-meridional de la cuenca de Madrid*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense, Madrid.
- Rougerie, G. et Beroutchachvili, N. (1991).** *Géosystemès et paysages*. Armand Colin, París.
- Ruiz, J.P. y Bernáldez, F.G. (1983).** Landscape perception by its traditional users. The ideal landscape of Madrid livestock raisers. *Landscape Planning*, 9:279-297.
- Ruiz-Flaño, P. (1993).** *Procesos de erosión en campos abandonados del Pirineo*. Geoforma Ediciones, Logroño.
- Rutter, N.W. (1977).** Methods of Terrain Evaluation, Mackenzie Transportation Corridor, N.W.T., Canada. *Earth Surface Processes*, 2:295-308.
- Ruxton, B.P. (1968).** Order and Disorder in Land. In: G.A. Stewart (ed.), *Land Evaluation*. CSIRO Symposium, 29-39. Macmillan, Melbourne.
- Salisbury, R.T. (1907).** *Physiography*. Henry Holt, New York.
- Sancho Royo, F., Alés, R.F. et al. (1981).** *Sistema IRAMS de evaluación de alternativas de uso en la ordenación integral del territorio*. Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Sanz Herraiz, C. (1980).** Significado de la región natural en la actualidad. En: *La región y la Geografía española*, 35-51, Asoc. Geogr. Esp, Valladolid.
- Sanz Herraiz, C. (1988).** *El relieve del Guadarrama oriental*. Consejería de Política Territorial, Comunidad de Madrid, Madrid.
- Sanz Herraiz, C. (1992).** El paisaje del Guadarrama. En: A. Saenz de Miera (dir.), *La Sierra de Guadarrama. Naturaleza, paisaje y aire de Madrid*, 155-166. Comunidad de Madrid, Madrid.
- Sanz Santos, M.A., Centeno, J.D. et al. (1991).** Geomorfología. En: *Mapa Geológico de España. Escala 1:50.000. Prádena (458)*. ITGE, Madrid.
- Savigear, R.A.G. (1965).** A technique of morphological mapping. *Ann. Assn. Am. Geogr.*, 55:514-538.
- Sayago, J.M. (1982).** Las unidades geomorfológicas como base para la evaluación integrada del paisaje natural. *Acta Geológica Lilloana*, XVI-1: 169-180.
- Sherlock, R.L. (1922).** *Man as a Geological Agent. An Introduction to Anthropic Geomorphology*. Witherby, London.
- Simpson, J.W. (1988).** A Conceptual and Historical Basis for Spatial Analysis. *Landscape Urban Plann.*, 17: 313-321.
- Sintes, M., Heras, F. et al. (1994).** *La Sierra cambia*. CENEAM-ICONA, Segovia.

- Sochava, V.B. (1963). *Opriedieleni niekotorykh ponyatii i terminov fizicheskoi gheografii*. Doklady In-ta gheografii Sibiri i Dal'nego Vostoka. Vyp.3.
- Sochava, V.B. (1974). Das Systemparadigma in der Geographie. *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 118: 161-166.
- Solntsev, N.A. (1962). Basic problems in Soviet Landscape Science. *Soviet Geography: Review and Translation*, 3(6):3-15.
- Spaling, H. and Smit, B. (1993). Cumulative Environmental Change: Conceptual Frameworks, Evaluation Approaches, and Institutional Perspectives. *Environmental Management*, 17(5): 587-600.
- Steinitz, C.F. (1970). Landscape resource analysis: the state of the art. *Landscape Architecture*, 69, 101-104.
- Steinitz, C. and Rogers, P. (1968). *A systems analysis model of urbanisation and change: an experiment in interdisciplinary education*, Graduate School of Design, Universidad de Harvard.
- Steinitz, C. and Sinton, D. (1969). *Program GRID*. Department of Landscape Architecture. Graduate School of Design, Harvard University, Massachusetts.
- Takhtajan, A. (1986). *Floristic Regions of the World*. Univ. California Press, Berkeley.
- Tansley, A.G. (1935). The use and misuse of vegetational terms and concepts, *Ecology*, 16: 284-307.
- Tarlet, J. (1977). Milieu naturel et aménagement. Les méthodes de planification écologique. *Annales de Géographie*, 474:164-200.
- Torrecilla, I. (1991). *Los sabinars (Juniperus thurifera) de la provincia de Segovia: cartografía, estado actual y evolución*. Tesis Doctoral, ETSIM, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Tricart, J. (1965). *Principes et méthodes de la géomorphologie*, Masson. Paris.
- Tricart, J. (1973). La géomorphologie dans les études intégrées d'aménagement du milieu naturel. *Annales de Géographie*, 82:421-453.
- Tricart, J. y Kilian, J. (1979). *L'éco-géographie et l'aménagement du milieu naturel*. F. Maspero. París. (Tr. castellana por Ed. Anagrama: *La eco-geografía y la ordenación del medio natural*, Barcelona, 1982).
- Troll, C. (1939). Luftbildplan und ökologische Bodenforschung. *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde*, 241-298.
- Unstead, J.F. (1916). A Synthetic Method for Determining Geographical Regions, *Geographical Journal*, 48:230-249.

- Unstead, J.F. (1926). Geographical regions illustrated by reference to the Iberian Peninsula. *Scott. Geogr. Mag.*, 42:159-170.
- Unstead, J.F. (1933). A system of regional geographic, *Geography*, 18:175-187.
- USDA (1975). *Soil Taxonomy*. Soil Conservation Service, USDA Handbbook 436, US Goverment Printing Office, Washington DC.
- Vadillo, L. (1989). Evaluación y corrección del impacto ambiental de la minería. En: F.J. Ayala y J.F. Jordá (eds.), *Geología Ambiental*, 187-197. ITGE, Madrid.
- Valenzuela, M. (1977). *Urbanización y crisis rural en la Sierra de Madrid*. Instituto de Estudios de Administración Local, Madrid.
- Valenzuela, M. (1992). El Guadarrama de los noventa o lo metropolitano como riesgo. En: A. Saenz de Miera (dir.), *La Sierra de Guadarrama. Naturaleza, paisaje y aire de Madrid*, 291-311. Comunidad de Madrid, Madrid.
- Van Zuidam, R.A. and Van Zuidam, F.I. (1979). *Terrain analysis and classification using aerial photographs*, ITC textbook of photo-interpretation, Vol. III, Use of aerial detection in geomorphology and geographical landscape analysis. Ch. 6., ITC, Enschede.
- Vaudour, J. (1977). *Contribution a l'etude géomorphologique d'une région méditerranéenne semi-aride. La région de Madrid. Alterations, sols et paleosols*. Thèse, Université d'Aix-Marseille.
- Veatch, J.O. (1933). *Agricultural Land Classification and Land Types of Michigan*. Michigan Agricultural Experiment Station, Special Bulletin N°. 231.
- Veatch, J.O. (1937). The idea of the Natural Land Type. *Proceedings of the Soil Science Society of America*, 2:499-503.
- Verstappen, H.T. and Van Zuidam, R.A. (1968). *ITC System of geomorphological survey. ITC Textbook of Photo-Interpretation, VII-2*. International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences (ITC), Enschede.
- Verstappen, H.T. (1983). *Applied Geomorphology. Geomorphological Surveys for Environmental Development*. Elsevier, Amsterdam.
- Vinogradov, B.V., Gerenchuk, K.I. et al. (1962). Basic Principles of Landscape Mapping. *Soviet Geography: Review and Translation*, 3(6):15-20.
- Waters, R.S (1958). Morphological mapping. *Geography*, 43:10-17.
- Way, D.S. (1973). *Terrain Analysis: A Guide to Site Selection using Aerial Photographic Interpretation*. Dowden, Hutchinson & Ross, Stroudsburg.

- Westerveld, W.G., Pedroli, G.B.M. *et al.* (1984). Classification in Landscape Ecology. An Experimental Study. *Catena*, 11:51-63.
- Wilson, L. (1968). Morphogenetic classification. En: R.W. Fairbridge (ed.), *The Encyclopedia of Geomorphology*. Reinhold, N. York.
- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. (1958). Rainfall energy and its relationship to soil erosion. *Trans. Am. Geophys. Union*, 39:285-291.
- Whitman, I.L. *et al.*, (1971). *Final report on design of an environmental evaluation system to Bureau of Reclamation*. U.S. Dept. Int. Batelle-Columbus Lab.
- Wolfert, H.P. (1995). Use of the catena principle in geomorphological impact assessment: a functional approach. *Z. Geomorph. N.F.*, 39(4): 417-431.
- Wooldridge, S.W. (1932). The cycle of erosion and the representation of relief. *Scott. Geogr. Mag.*, 48:30-36.
- Wright, R.L. (1972). Principles in a Geomorphological Approach to Land Classification. *Z. Geomorph. N.F.*, 16(4):351-373.
- Yoldi, L. (1990). *Entorno y paisaje de una ciudad histórica (Segovia). Caminos para su conservación*. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Madrid.
- Young, G., Steiner, F. *et al.* (1983). Determining the regional context for landscape planning. *Landscape Planning*, 10:269-296.
- Zamora, A. (1989). La influencia de los asentamientos humanos sobre el paisaje segoviano en el pasado. En: *Actas de las II Jornadas sobre el Paisaje*, 217-223. Academia de Historia y Arte de San Quirce. Segovia.
- Zonneveld, I.S. (1979). *Land Evaluation and Landscape Science*. ITC Textbook of Photo Interpretation, Enschede.
- Zube, E.H., Shell, J.L. y Taylor, G. (1982). Landscape perception: Research, application and theory. *Landscape Planning*, 9:62-79.

ANEXO

ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO

Según se indicó en el epígrafe 6.1.1, se incluye en este anexo la documentación relativa al estudio geomorfológico llevado a cabo para el sector oriental de la zona problema. Como también se señaló, su objetivo es completar la información y cartografía geomorfológica al objeto de poder realizar la clasificación del relieve propuesta.

1.1. ANTECEDENTES Y PROBLEMÁTICA

Aun cuando se trate de caracterizar sólo un sector de la misma, los antecedentes y problemática geomorfológicos son similares para el conjunto de la vertiente septentrional de Guadarrama, Somosierra y Ayllón. Así, al igual que sucede con otras áreas de conocimiento y quizás por su proximidad a Madrid, los trabajos de carácter geomorfológico desarrollados sobre este sector nororiental del Sistema Central no pueden considerarse escasos; desde las primeras referencias de Guillermo Bowles a través de su *Introducción a la Historia Natural y a la Geografía Física de España* (1775), han sido numerosos los trabajos que de uno u otro modo se han ocupado de esta temática.

Los precedentes más significativos deben situarse en el contexto de la *Comisión del Mapa Geológico de España*, con una "nota sobre la constitución geológica de la provincia de Segovia" (Prado, 1854), y el *Mapa Geológico de la Provincia de Segovia* del mismo autor, publicado en 1856.

Con posterioridad, una serie de trabajos tratan este particular: "Excursión geológica por la provincia de Segovia" (Areitio y Quiroga, 1874); *Guía y Descripción del Real Sitio de San Ildefonso* (Breñosa y Castellarnau, 1884); *Descripción Física y Geológica de la provincia de Segovia* (Cortázar, 1891); "Fenómenos glaciares en San Ildefonso" (Macpherson, 1893); o "Excursión por el terreno cretácico de los alrededores de Segovia" (Calderón, 1897). Entre ellos, la obra que realiza un tratamiento más amplio es la debida a Cortázar (*op. cit.*); este trabajo se basaba sobre todo en las aportaciones de Prado, y en él, además de la problemática estrictamente geológica, se describen con cierto detalle los aspectos orográficos e hidrográficos para este sector.

En el primer tercio del siglo XX aparecen otra serie de artículos sobre aspectos geomorfológicos concretos: "Las arenas voladoras de la provincia de Segovia" y "El glaciar cuaternario de tipo pirenaico de la Buitrera", de F. Hernández-Pacheco (1923 y 1925 respectivamente), que tendrían su continuación en épocas posteriores; es el caso de un estudio sobre el glaciarismo en la vertiente noroccidental de Peñalara (Alfá *et al.*, 1957), periglacialismo de Guadarrama-Somosierra-Ayllón (Fränzle, 1959), y sobre los 'mantos arenosos' de la Tierra de Pinares (Bravard, 1965).

Los trabajos que tratan aspectos evolutivos del relieve tienen su inicio a finales del siglo XIX, con Macpherson y Penck como figuras destacadas. Posteriormente serían continuados por E.

Hernández-Pacheco y una serie de autores franceses y alemanes; es el caso de Schmieder, Schröder, Schwenzner o Birot (ver Pedraza, 1994a). Algunos de ellos (Birot, 1937; Schwenzner, 1937) basan buena parte de sus aportaciones en el estudio de esta vertiente de las sierras de Guadarrama, Somosierra y Ayllón. Los estudios evolutivos fueron continuados después por Solé Sabarís (1952) y Birot y Solé (1954).

Lo que podemos considerar investigaciones modernas en geomorfología regional datan de finales de la década de 1970, muy centrados de nuevo en los aspectos evolutivos. En primer lugar tuvieron mayor incidencia en la vertiente meridional de Guadarrama y en la Sierra de Gredos (Vadour, 1977; Pedraza, 1978; Garzón, 1980), o bien en el la zona de transición con la Cordillera Ibérica (Gladfelter, 1971).

Un análisis de los trabajos que han tratado las hipótesis genéticas y la problemática evolutiva del Sistema Central aparece en Garzón *et al.* (1982) y Pedraza (1994b).

Para abordar los trabajos más recientes llevados a cabo de modo específico para esta vertiente septentrional, puede procederse a su agrupación en los dos campos más habituales en que está polarizada la Geomorfología como ciencia: el geográfico y el geológico.

Del primero destaca una serie de trabajos sistemáticos y de síntesis regionales sobre el Guadarrama (Bullón, 1977, 1981, 1988; Sanz Herraiz, 1977, 1988; Sanz Herraiz y Campoamor, 1981), así como una tesis alusiva a los terrenos cársticos de las comarcas de Prádena y Pedraza (Moreno Sanz, 1989).

Del campo geológico proceden: un estudio sobre el Guadarrama centro-oriental (Centeno, 1982); un trabajo regional que trata la problemática evolutiva del Guadarrama septentrional en relación con el macizo satélite de Santa María-Carbonero (Fernández García, 1988a); y los estudios geomorfológicos realizados en el marco del proyecto MAGNA para los sectores central y occidental de estas sierras (Fernández García *et al.*, 1990, 1991; Pedraza *et al.*, 1990, 1991; Bardají *et al.*, 1991; Sanz Santos *et al.*, 1991).

De una etapa más reciente, que podríamos referir como 'geomorfología de procesos' pueden señalarse una serie de trabajos sobre: glaciario (Centeno *et al.*, 1983; Martín Duque, 1992); evolución cuaternaria de la red fluvial y depósitos asociados (Fernández García, 1988b; Palomares *et al.*, 1992a, 1992b; Garzón y Fernández García, 1993; Fernández García y Garzón, 1994); fenómenos gravitacionales (Díez Herrero y Martín Duque, 1993); y modelado de vertientes (Tanarro, 1994, 1995, 1996).

Deben señalarse además otros estudios referidos específicamente a sectores de la cuenca del Duero, o Submeseta Norte, dentro de la provincia de Segovia, que son imprescindibles para correlacionar con los eventos morfológicos acaecidos en este sector de la Sierra: procesos fluvio-cársticos en el río Duratón (Bullón *et al.*, 1978; Eraso *et al.*, 1980; Díez Herrero *et al.*,

1996); geomorfología regional de la Tierra de Pinares (Calonge, 1986, 1987) y estudio sedimentológico de los arenales que la constituyen (Alcalá, 1982); superficies de erosión en el sector suroriental de la Cuenca del Duero (Molina y Armenteros, 1986); y geomorfología regional de la Serrezuela de Pradales (Cascos, 1991).

Por otro lado, en trabajos de síntesis sobre la sierra de Guadarrama, o el Sistema Central, puede encontrarse valiosa información referida a este sector: Pedraza (1989a, 1989b, 1992, 1994a), Garzón *et al.* (1991).

A la vista de estos antecedentes, uno de los problemas geomorfológicos más importantes en la región sigue siendo la correcta interpretación genética de las diferentes superficies de erosión —así como su edad—, las cuales además aparecen dominantes en el paisaje del conjunto serrano y sus áreas adyacentes. La de más difícil interpretación es aquella que conforma las rampas o piedemontes, que, a pesar de ser referida con frecuencia como de tipo *pediment*, podría ser en parte exhumada, teniendo en cuenta criterios ya recogidos en la literatura, como: ausencia de relieves residuales tipo *inselberg*, y existencia por contra de unos relieves alomados —cabezos en la toponimia local— próximos al tipo *monadnock* y más propios de una superficie tipo penillanura; su fosilización por pequeños retazos de materiales arcósicos miocenos en las proximidades de Segovia (barrio de Nueva Segovia) o por coberteras cretácicas en el sector oriental, con procesos inequívocos de exhumación muy reciente, incluso actual, o por coberteras terciarias en Somosierra-Ayllón.

El trabajo de Fernández García (1988a) puso de manifiesto además la necesidad de otorgar un verdadero significado a los denominados ‘macizos satélite’ en este sector de la cadena montañosa, y de conocer su relación evolutiva con el Sistema Central. Este aspecto es señalado también en Fernández García *et al.* (1993).

Tampoco han quedado suficientemente explicadas determinadas formas del modelado, tales como depresiones con fisonomía de circo en el dominio de las laderas de la Sierra, o morfologías erosivas de muy probable origen antrópico —directo o inducido—, como acarcavamientos en frentes de cuesta.

Otros aspectos que presentan problemas teóricos son la evolución cuaternaria de la red fluvial en el sector oriental, bien estudiada en el occidental (ver Fernández García, 1988a, 1988b; Fernández García y Garzón, 1994).

1.2. CLASIFICACIÓN MORFOGENÉTICA

Lo que en realidad se incluye bajo este epígrafe es una síntesis-explicación de cada uno de los elementos morfogénéticos comprendidos en el sector sobre el que se realiza la cartografía geomorfológica. La elaboración de esa cartografía se circunscribe a una porción de la cadena montañosa y su piedemonte que abarca desde el Puerto de Navacerrada hasta Grado del Pico,

en su límite con la Cordillera Ibérica; el límite suroriental es la divisoria hidrográfica, y el nororiental una línea paralela *grosso modo* a la anterior, incluyendo el enlace con la subcuenca terciaria; hacia el Este, solapa con las cartografías MAGNA (ver mapa geomorfológico).

1.2.1. Morfologías asociadas a las superficies de erosión (poligénico)

Se trata de formas asociadas a procesos antiguos. Son, por tanto, formas heredadas, relictas, que no están en equilibrio con las condiciones morfogenéticas dominantes en la actualidad.

1.2.1.1. Formas de denudación

Son dominantes, y casi exclusivas, como corresponde a los mecanismos que generan estas morfologías asociadas a superficies erosivas.

- *Superficie de erosión tipo penillanura formando cumbres, parameras, y hombreras*

Forma las cumbres principales, y la culminación de relieves menores; también aparecen como rellanos u hombreras en el dominio de las laderas de la Sierra. Morfológicamente son retazos de superficie que presentan un modelado alomado y conservan restos de regolito tipo *grus* (*gores* sobre rocas metamórficas y arenizaciones en los granitoides). Incluyen relieves residuales clasificables como *monadnocks*.

Las superficies de cumbres aparecen en la práctica totalidad de la culminación de los Montes Carpetanos, presentando uno de los mejores desarrollos de todo el Sistema Central en Los Pelados (Guadarrama Central) a una cota entre 2.000 y 2.100 m. También constituye la culminación de la Sierra desde el puerto de Navacerrada hasta el puerto de Guadarrama, y en la Sierra de la Mujer Muerta, donde tiene un carácter de divisoria (entre 1.950 y 2.000 m). Es visible además en el entorno de la Buitrera (Somosierra), y en Ayllón, también como una afilada divisoria (entre 1.800 y 1.900 m).

Otro tipo de altiplanicies, intermedias entre los piedemontes y las cumbres, corresponden a parameras y rellanos estructurales (hombreras), genéticamente similares a la unidad anterior. Aparecen en la vertiente norte del Guadarrama en zonas muy restringidas: a ambos lados de La Granja de San Ildefonso (Matabueyes —1.480 m— y La Atalaya —1.650 m), bordeando la depresión del río Moros (Los Calocos —1.570 m—) y en replanos intermedios (entorno de Navafría o Aldeavieja, donde son especialmente abundantes); está generalizada además en Malagón y en el enlace con la Cordillera Ibérica.

- *Superficie de erosión de piedemonte sobre el macizo cristalino*

Corresponde a la llanura rocosa desarrollada sobre el sustrato ígneo y metamórfico al pie de los relieves principales de las sierras. Desde un punto de vista genético se trata de la unidad

que mayores problemas presenta para su interpretación. Así, ha sido explicada: como un *pediment* semiárido, como una superficie grabada (*etchplain*) remodelada posteriormente por procesos de pedimentación semiárida; o como una superficie antigua exhumada. Determinados signos indican que se deba barajar esta última hipótesis: la inexistencia de relieves residuales de tipo *inselberg*, sino más bien asimilables a morfologías de *monadnocks*; y la existencia de retazos de sedimentos cretácicos (Adrada de Pirón, Veladiez), y miocenos (proximidades del barrio de Nueva Segovia) sobre dicha superficie. Este trabajo no ha hecho posible validar esta hipótesis, si bien ha permitido confirmar que amplios sectores de la misma (Espirido, La Mata, Arahuetes, Colladillo o Cañicosa) son inequívocamente exhumados de rocas sedimentarias cretácicas (superficie precenomanense); dicha exhumación es muy reciente, y en muchos casos actual.

En los bordes de dicha unidad y en las proximidades de los surcos subsecuentes, presenta una degradación que define replanos erosivos, tipo glacis, convergentes con los existentes en la subcuenca terciaria; su origen se asocia a la degradación ejercida por la red fluvial sobre la superficie, bien precretácica, bien de piedemonte remodelada.

- *Superficie de erosión de piedemonte sobre la cobertera mesozoica (mesas y plataformas)*

Aparece formando un arrasamiento casi generalizado sobre los diferentes corredores de la cobertera mesozoica (cretácica) de los piedemontes. De este modo, es posible reconstruir una superficie original a modo de rampa que, partiendo del piedemonte cristalino en el contacto con las laderas, a aproximadamente 1.200 m, biselaba series aclinales y conjuntos buzantes correspondientes a flancos y cierres periclinales de pliegues, o bloques articulados por fallas en las coberteras mesozoicas, formando indistintamente relieves tabulares tipo mesa o plataforma, relieves en cuesta, *hog-backs* y crestas o barras. Con frecuencia aparece denunciada por una masa de gravillas de cuarzos y cuarcitas.

Por su carácter de 'rampa', presenta diferentes alturas en cada uno de los semigraben: en torno a los 1.160 en el bloque Gallegos-Prádena-Casla; y 1.080-1.100 m en los bloques Torre Val de San Pedro-Castroserna de Arriba, y Caballar-La Matilla. Es pues, reconocible en forma de 'retazos' en prácticamente todos los relieves cretácicos del sector: Casla, Casas Altas, Castroserna de Arriba, urbanización Los Cortos en Duruelo, Revilla, La Matilla, Valleruela de Sepúlveda, Valleruela de Pedraza, Pedraza, Cubillo, Valle de San Pedro, etc.

En muchos casos es difícil diferenciar entre superficies de erosión, y rellanos de origen fluvial, pues presentan una morfología convergente. En el primer caso, suelen formar la culminación de los relieves de la cobertera mesozoica, cuyo enrasamiento con la superficie del piedemonte en el macizo cristalino hace que sean más asociables a ésta; en el segundo caso, aparecen definidos allí donde la acción fluvial ha alcanzado capas horizontales o subhorizontales de rocas sedimentarias coherentes (calizas y dolomías), y se encuentran entonces a cotas inferiores que la superficie de erosión.

- *Superficie de erosión tipo penillanura (preceomanense), exhumada*

Se trata de exhumaciones muy recientes, probablemente holocenas en determinadas zonas, por desmantelamiento debido a la red fluvial de la cobertera de arenas cretácicas situada en el fondo de bloques tectónicos hundidos y surcos subsecuentes.

Aparece generalizada en torno a los ríos del Pontón y Cega, desde la localidad de La Revilla hasta Pajares de Pedraza. Presenta un aspecto alomado, y frecuentes restos de alteraciones caolínicas (inmediaciones del Molino del Pontón y de la población de Orejanilla). También en el cierre periclinal de Tejadilla-Ventosilla. En las proximidades de El Guijar, Torreiglesias y Carrascal, esta superficie es exhumada de materiales paleógenos.

- *Superficie de erosión tipo penillanura (preceomanense), en proceso de exhumación*

Sus características son similares a la unidad anterior, sólo que en este caso aún no se encuentra totalmente exhumada; sino cubierta por pequeños espesores de arenas cretácicas, sujetas actualmente a procesos de arroyada en manto (*sheet flow*) sobre todo, y en menor medida concentrada (*rill wash*).

Una superficie de este tipo aparece generalizada en el interior (núcleo) del cierre periclinal de Valleruela de Sepúlveda-Valleruela de Pedraza, y en las inmediaciones de varios surcos subsecuentes, donde aún no han sido lavadas las arenas cretácicas: La Mata-Arahetes, Caballar-El Guijar, Cañicosa-Pradenilla.

- *Relieves residuales tipo monadnock*

Formas alomadas y de sección más común alargada, que en la toponimia local reciben el nombre de 'cabezos', dada su fisonomía. Se reconocen, tanto sobre la superficie de cumbres y parameras, como en la exhumada bajo los relieves cretácicos; incluso en la de piedemonte sobre el sustrato cristalino (Peña Redonda, El Pico de la Dehesa), lo que, como ya se indicó, dificulta su interpretación genética como superficie tipo *pediment*.

- *Relieves residuales de culminación plana*

Enlazan con la superficie del piedemonte por laderas bien definidas y un *nick* marcado en su base. Son muy comunes en las inmediaciones de Navafría-Gallegos (El Carrizal, Navacollado, la Mata Buena), con culminaciones entre 1.300 y 1.400 m. Parecen corresponder a un antiguo nivel de arrasamiento, en una posición superior a la actual superficie de piedemonte, y asimilables por tanto a los 'niveles intermedios' reconocidos por otros autores en el Sistema Central (Pedraza, 1978; Centeno *et al.*, 1983; Fernández García, 1988a), y que incluso ha dado lugar a la definición informal de una 'superficie intermedia' entre el piedemonte y los niveles que definen parameras.

1.2.1.2. Formaciones superficiales

Dado el carácter erosivo que ha dominado la formación de las superficies, apenas aparecen formaciones superficiales asociadas a ellas, y únicamente lo hacen como tales, restos de alteración del sustrato.

- Alteritas

Sólo reconocibles cuando aparece desmantelada (exhumación reciente) la cobertera cretácica, en general en surcos subsecuentes y fondos de depresión exhumados, tratándose entonces de una alterita preconiense o preceñomane; también en Ventosilla-Tejadilla se reconoce una arenización generalizada sobre el granito. En la Sierra de Ayllón (El Negredo), a expensas de las pizarras aparece desarrollada una alterita alúmnica (caolínica) de edad terciaria.

1.2.2. Morfologías de origen o asociación con la estructura

De la interferencia entre las estructuras tectónicas o la disposición de los materiales y los procesos del modelado derivan toda una serie de configuraciones que, por estar controladas por los primeros, pueden catalogarse como 'estructurales'. Entre ellas podemos distinguir:

1.2.2.1. Morfologías asociadas a la estructura tectónica (tectoestructurales)

Se trata de escarpes originales atenuados por la erosión o relleno; en ocasiones corresponden a una combinación de los tipos 'heredado' y 'atenuado'.

- Laderas de origen tectónico

En realidad, se asocian con grandes fracturas, por lo que parece tratarse de escarpes de falla; de trazado rectilíneo y pendientes fuertes, su configuración se encuentra más o menos modificada por diferentes procesos del modelado: fluvio-torrenciales, glaciares, periglaciares y gravitacionales, como más destacados, lo que posibilita que presenten un recubrimiento coluvionar o edáfico más o menos continuo.

- Escarpe tectónico (falla) con expresión morfológica

Escarpe de falla de actividad o exhumación reciente (prácticamente originales), por lo cual aparecen escasamente modificados en sus características iniciales. Son, en general, de configuración similar a las laderas de la sierra, pero sin tanta entidad morfológica (desarrollo del orden de metros a decenas de metros). Son ejemplos de los mismos las alineaciones: Arahetes-Tejadilla, Collado-La Salceda, Prádena-Casla-Sigueruelo.

1.2.2.2. Asociadas a la disposición de los materiales (litoestructurales)

La morfogénesis aquí está dirigida por las características y disposición de las rocas. Se trata por tanto de formas estructurales 'derivadas' (Pedraza *et al.*, 1996a).

- Escarpe estructural en series monoclinales (frente de cuesta)

Con gran frecuencia, su culminación coincide con la superficie de erosión del piedemonte, desarrollada sobre series monoclinales. El frente de cuesta es una ladera corta y en general de fuerte pendiente, a cuyo pie se desarrollan redes ortoclinales o subsecuentes; en su base se aparecen los relieves exhumados del zócalo ya referidos, con frecuencia cubiertos por la alterita caolínica. Los frentes de cuesta aparecen de forma continua limitando los bloques de las coberteras de Prádena, Pedraza y El Cubillo.

- Dorso de cuesta

Ladera tendida, siguiendo la inclinación de las capas, de mayor longitud y menor pendiente que el frente de cuesta; aparece disectada por ríos y arroyos de disposición consecuente, definiendo encajamientos cataclinales tipo 'ruz'. Aparecen con un desarrollo amplio en las proximidades de Matabuena, Matamala, Arcones y Caballar.

- Escarpe estructural en series horizontales y subhorizontales

Cornisa subvertical definida en los bordes de las plataformas estructurales y relieves tipo mesa, normalmente sobre calizas y dolomías masivas, condicionados por la disposición horizontal de las capas y el diaclasado ortogonal a las mismas. Son más comunes en el bloque de cobertera mesozoica de Pedraza, donde la disposición horizontal de los materiales sedimentarios es más nítida (Las Vegas, Pedraza, Orejanilla, El Arenal, La Revilla).

- Hog-back

Escarpe que indica una mayor inclinación en las capas sedimentarias; aparecen en los bordes donde los cabalgamientos del basamento sobre las coberteras mesozoicas han inducido un mayor buzamiento en las series sedimentarias.

- Cresta o barra

Aparecen dos tipologías bien diferentes: sobre materiales cretácicos, allí donde éstos aparecen verticalizados y posteriormente afectados por las superficies de erosión (Carrascal-Caballar, Valle de San Pedro-Pedraza); y en cuarcitas en la sierra de Ayllón, en este caso, exagerados por gelifracción (comunes en el sector de la Sierra de Ayllón comprendido entre el Puerto de la Quesera y el mirador de Piedrasllanas).

- Relieve residual lineal

Morfologías a modo de cresta o barra, originadas por la erosión diferencial de diques de cuarzo, aplita, o pórfido, los cuales presentan mayor resistencia litológica y forman por tanto relieves positivos. Aparecen bien definidos en La Mata de Pirón (Sotosalbos), en los relieves culminantes de la Atalaya, y al sur de Matamala, siguiendo las direcciones de fracturación principales del macizo.

- Superficie estructural (terraza erosiva)

Superficies horizontales sobre rocas coherentes (compactas), que presentan un claro control litoestructural, condicionado por la disposición horizontal de los estratos; en realidad se trata de verdaderos planos de estratificación. Tienen este origen los replanos erosivos situados en las márgenes del río San Juan (en el contacto entre las litologías dolomíticas masivas y las series superiores margosas del Cretácico Superior), y en los relieves del límite nororiental del área de estudio, ya en los dominios de la Cordillera Ibérica.

I.2.3. Morfologías de origen gravitacional

Entre las configuraciones de la superficie del terreno en que intervienen estos fenómenos, tratamos bajo este epígrafe aquéllas debidas de forma específica o preponderante a la acción gravitatoria. Según esta definición, su análisis presenta ciertas dificultades, en tanto normalmente se encuentran asociadas a otros procesos, sobre todo periglaciares y de arroyada.

I.2.3.1. Formas del modelado

En realidad no constituyen fisonomías autónomas como tal, sino que forman parte del mismo complejo que incluye las formas de acumulación.

- Cicatriz de deslizamiento

Coronación a modo de circo o anfiteatro, con un marcado escarpe erosivo que, en el dominio de las laderas de la Sierra, limita superficies de tipo cumbres o paramera. Son convergentes con nichos de nivación, depresiones soligelifluidales y circos de origen glaciar; ello es así, en muchos casos, debido a que son estas morfologías de origen gravitacional las que condicionan el desarrollo de las citadas, pero que una vez modificadas, ya no son asociables al proceso gravitacional estricto. Con frecuencia, en el interior de la masa deslizada se producen nuevas cicatrices de rejuvenecimiento.

Si no se encuentran sustancialmente modificadas por procesos periglaciares o glaciares, suelen definir lo que en otro tipo de trabajos o estudios aparece como 'cabeceras torrenciales', caracterizadas por ser zonas de concentración de la escorrentía pluvial y pluvio-nival en cuencas de recepción, que en su interior están recubiertas frecuentemente por depósitos coluvionares y canchales. Son muy frecuentes en las laderas de la superficie de Los Pelados (sector Puerto de Navafría-Puerto de Malagosto).

1.2.3.2. Formaciones superficiales

Por lo general, tiene carácter paraautóctono, en tanto no presentan un transporte efectivo.

- Lengua de deslizamiento

Constituye el material deslizado en procesos de tipo 'deslizamiento'. En las laderas de la sierra, es frecuente que este material haya estado afectado por la soligelifluxión, razón por la cual, lo que en origen son deslizamientos más o menos 'puros', aparecen después como lenguas y lóbulos de soligelifluxión. En general se trata de aglomerados matriz-sostenidos con una notable heterometría; suelen contener grandes bloques angulosos en matriz arcillo-limosa.

- Coluvión

Derivan de procesos gravitacionales 'mixtos', dado que en realidad los que podríamos definir como 'puros' son más bien infrecuentes, pues en mayor o menor medida se encuentran asociados a otros (asistidos), como periglaciares y sobre todo de arroyada. Cuando la intervención del hielo-deshielo o la soligelifluxión es decisiva, se asocian más al periglaciarismo, razón por la cual se estudian en ese apartado.

Se los considera pues derivados de procesos mixtos gravitacionales-arroyada, con participación de procesos asociados al periglaciarismo, como la solifluxión, aparte de la propia gelifracción en los escarpes superiores, origen de los fragmentos más gruesos de la formación; por esta razón, se los supone una edad equivalente a la fase würmiense.

Las formaciones superficiales coluvionares producen un depósito continuo que, a modo de derrame, se sitúa en la base de las laderas; se reconocen a expensas de todo tipo de sustratos: carbonáticos (al pie de frentes de cuesta) con tendencia a la ordenación, por lo que se asemejan a *grezés liteés*; ígneos y metamórficos del macizo cristalino (en las zonas de enlace entre las laderas de la sierra y el piedemonte); y arcósicos (paleógenos y neógenos de la cuenca).

1.2.4. Morfologías de origen periglaciario

Son abundantes en todo el ámbito de la Sierra, y son atribuibles en su mayoría al periodo würmense.

1.2.4.1. Formas del modelado

Es un hecho destacado en la literatura que el periglaciario no suele producir formas de erosión propias, sino que en la mayor parte de los casos se limita a 'remodelados' de formas previas (Pedraza *et al.*, 1996a).

Así, cuando la dinámica periglaciario actúa en un contexto espacial o temporal amplio, tiende a 'remodelar' las morfologías existentes, dando lugar a una serie de resultados característicos, pero que normalmente cuentan con la participación de otro tipo de procesos (arroyada, gravedad). Entre ellos figuran una serie de 'macroformas', como las vertientes regularizadas —también llamadas regladas o de Richter—, las superficies de crioplanación, los valles de fondo plano, y los valles disimétricos.

Sanz Herraiz (*op. cit.*) otorga una gran importancia al remodelado periglaciario en este sector, hasta el punto de hacerle responsable, en buena medida, de la configuración actual de cumbres, collados y parte superior de las laderas. En el dominio del piedemonte, la actividad periglaciario también ejerció su influencia en los periodos fríos pleistocenos.

Sin embargo, una persistencia en las acciones puede dar lugar a modelados específicos. A diferencia de los anteriores, se trata de morfologías de origen netamente periglaciario. Con frecuencia consisten en microformas (suelos estructurados); en otros casos, en cambio, tienen verdadera entidad morfológica (regueros, circos, escarpes).

- Vertientes regularizadas

En el ámbito de la Sierra, tienen su mayor desarrollo en el interior de superficies de erosión elevadas a diferentes alturas (Los Pelados, Siete Arroyos-Chorro Grande). En el piedemonte, presentan esta tendencia determinadas vertientes sobre materiales mesozoicos, más frecuentes sobre las litologías margosas y arenosas. La gelifluxión y la crioclastia son los procesos responsables de esta evolución.

- Valles de fondo plano

Tienen su origen en el relleno de valles de diferente génesis —torrencial sobre todo— por lenguas de solifluxión. Sanz Herraiz (1988) destaca su presencia en el Guadarrama Oriental, junto con los denominados 'valles en cuna'. De nuevo, son más frecuentes en la superficie de Los Pelados, y al SE de San Ildefonso, en las cabeceras de Chorro Grande y Chorro Chico.

- Valles asimétricos

Su formación se debe a la influencia que ejerce en el modelado la orientación diferencial en las laderas de valles que han estado sujetos a la acción periglaciaria; en este espacio, en general, las altas vertientes situadas a sotavento (tendencia Este), han sido modeladas por la acción nival y del hielo (nichos nivales y glaciares), y en consecuencia presentan un perfil abrupto e irregular; mientras tanto, las vertientes situadas a barlovento (tendencia Oeste), han estado preferentemente modeladas por la acción criogénica del hielo-deshielo y la gelifluxión, y ofrecen por tanto una tendencia a la regularización. Estas morfologías son muy evidentes, por ejemplo, en las cabeceras de los arroyos Artiñuelo y el Chorro.

- Circos-nichos de nivación

Morfología relativamente común en Guadarrama, y más escasa en Somosierra-Ayllón. Su clasificación como tal a veces es problemática, pues, como señala Pedraza (1994c), existe toda una transición desde simples cabeceras torrenciales, que actúan como neveros ocasionales, hasta los verdaderos circos glaciares.

Por todo ello, de acuerdo con este autor, sería necesario profundizar en los criterios que permitiesen establecer unas morfologías 'tipo'. Ese trabajo se sale de nuestros objetivos, y estaría más centrado en una investigación específica sobre periglaciario en este sector. En todo caso, nos limitamos a correlacionar determinadas morfologías con las clases señaladas por Pedraza (*op. cit.*): neveros ocasionales (Malagosto); circos solifluidales-nichos de nivación (Alto del Parrinoso, puerto de los Neveros, Reventón, cabecera del arroyo de los Carneros); circos de nevero o *névé*, con ordenación de derrubios o morrenas (Collado de la Flecha, cabecera de Chorro Chico); circos glaciares incipientes, con signos de pulido y ordenación de derrubios (Peñacabra y el Artiñuelo); y verdaderos glaciares de circo, con morrenas de flujo (Romalo Pelao, El Chorro, Las Pozas).

La asignación a uno u otro grupo se complica por la influencia que sobre morfologías originales pudiera haber tenido el periglaciario posterior. Así, en Peñacabra y el Artiñuelo existen indicios sobre la existencia de morrenas de flujo, que podrían haber sido degradadas por la acción periglaciaria y/o torrencial (Centeno, 1982; Sanz Herraiz, 1988).

- Circos solifluidales

Se trata de depresiones en forma de circo, con un fondo plano o lobulado, normalmente relleno por depósitos solifluidales, y ocasionalmente por turberas o morrenas de nevero. Por su singularidad genética, su escasa descripción en la literatura, y por las aportaciones que se derivan de nuestra investigación, explicaremos esta morfología con cierto detalle en un epígrafe final (I.3.2) referido a las "aportaciones del estudio morfogenético".

- *Regueros de arroyada nival*

Se trata de verdaderas incisiones a modo de reguero o torrentera (*gullies*). Tienen relativa importancia en la vertiente occidental de Peñalara, y en la superficie de Los Pelados, y son frecuentes en toda la Sierra de Ayllón (entorno del pico del Lobo y estación invernal de La Pinilla). Para el sector occidental del Guadarrama, Bullón (1988) señala una posible inducción antrópica en su funcionamiento, debido a procesos de deforestación.

- *Escarpes y perfiles de gelifracción*

Consisten en cornisas y paredes rocosas verticalizadas, cuya morfología deriva directamente de los procesos de crioclastia o gelifracción en las rocas.

Son más frecuentes en la Sierra de Ayllón, donde las litologías cuarcíticas y las estructuras a modo de crestones son más favorables a su formación, dando origen a verdaderos cuchillares y cresterías: collado de La Buitrera, Peñasllanas. En el ámbito de Guadarrama-Somosierra son, en cambio, más escasos: Peña Berrocosa y el Risco de los Claveles son algunos de los mejores ejemplos de escarpes de gelifracción en este sector.

1.2.4.2. Formaciones superficiales

Se sigue el criterio de Pedraza *et al.* (1996a) de agrupar las formaciones superficiales según su aparición 'sobre', 'en', o 'bajo' el suelo. Esta distinción permite conocer su relación con el sustrato, y por tanto su mayor o menor carácter de aloctonía.

Las formaciones 'sobre' la superficie del suelo son generalmente alóctonas, es decir, han sufrido un cierto transporte, y por tanto entran dentro de la clasificación más común de 'formaciones superficiales'. Están constituidas por: derrubios de vertiente (canchales o pedreras); derrubios empastados (coluviones periglaciares); morrenas de nevero; derrubios estructurados (morrenas de glaciar rocoso); lenguas y coladas de avalancha nival; y navas de altura.

Las formaciones 'en' la superficie del suelo tienen carácter autóctono o paraautóctono, en tanto se localizan en la franja del suelo que está en contacto con la atmósfera. Fränze (1959) y Sanz Herraiz (1988) consideran la estructuración y movilización como un proceso generalizado a todos los derrubios periglaciares (pedreras, coluviones periglaciares), en donde los lóbulos o lenguas soligelifluidales, y la estructuración en figuras bien definidas, no serían sino un desarrollo localizado de ese fenómeno debido a crioturbación y geliflución.

Por último, las formaciones 'bajo' la superficie del suelo corresponden a hinchamientos, en general de pequeñas dimensiones, formando pequeños campos de céspedes almohadillados en hombreras, rellenos de depresiones de origen glaciar y nival, y circos solifluidales.

- *Derrubios de vertiente (canchales o pedreras)*

Son materiales producto de la fragmentación de las rocas por gelifracción, y su posterior movilización gravitacional y/o soligelifluidal sobre una formación superficial infrayacente de material más fino (Sanz Herraiz, *op. cit.*). Este movimiento de soligelifluxión posibilita que no exista una estructuración de los materiales más gruesos en las partes bajas de la ladera, lo que le diferencia de una dinámica puramente gravitacional. Este proceso, a su vez, lleva a convertir los amontonamientos de bloques en un tapiz continuo, que tiende a regularizar las vertientes.

Junto con los coluviones periglaciares, recubren importantes extensiones en las partes más elevadas de las laderas de la Sierra, normalmente por encima de los 1.400-1.600 m. Con bastante frecuencia se localizan al pie de escarpes rocosos de los que procede el material por crioclastia, con más facilidad bajo cresterías cuarcíticas en la Sierra de Ayllón, en las inmediaciones del Puerto de la Quesera (Cancho de la Pedrosa, La Buitrera). En Guadarrama-Somosierra, son especialmente abundantes en la vertiente noroccidental del macizo de Peñalara, y en general en toda la vertiente septentrional desde el Puerto de Navafría hasta Tres Provincias.

Teniendo en todos los casos una naturaleza muy similar, desde un punto de vista fisonómico (ver Pedraza, 1994c), pueden distinguirse formas de: abanico, rellenando cuencas de recepción torrencial en forma de hemicono invertido (Las Traviesas, Monte de la Muela, cabeceras de los ríos y arroyos de los Tejos, Pirón, Cambrones, Siete Arroyos, Las Quemadas, Chorro Grande); en derrames (La Peña Negra, Peña Berrocosa, Peñalara); o formando pequeños conos a la salida de corredores-fractura (en general, en el interior de circos glaciares, favorecidos por la existencia de afloramientos rocosos).

- *Derrubios empastados (coluviones periglaciares)*

Es la formación periglaciaria más abundante en todo el sector estudiado. Constituye un manto discontinuo que tapiza gran parte de las laderas de la Sierra, siendo especialmente preponderantes desde el Puerto de Navacerrada hasta el de Malagosto, y en toda la Sierra de Ayllón, donde forman un recubrimiento casi continuo de las vertientes, sólo interrumpido por pequeños afloramientos rocosos y regueros de arroyada nival. En esta sierra alcanzan cotas muy bajas, y de hecho llegan a enlazar con los ápices a partir de los cuales se abren los abanicos de piedemonte de las rañas. En el mapa geomorfológico, aparecen representados allí donde tienen un desarrollo importante, reflejo por la práctica inexistencia de afloramientos rocosos en su dominio. En general, tienen su mejor definición rellenando cabeceras torrenciales. Su origen se debe a una intensa y continuada acción periglaciaria, mediante procesos de hielo-deshielo en el suelo (crioturbación), que fragmentan una y otra vez el material, y su movilización por soligelifluxión y reptación.

Para Sanz Herraiz (1988), quien también se refiere a ellos como 'pedrerillas empastadas', estas formaciones han tenido una gran influencia en el modelado de las superficies culminantes y laderas altas, habiendo sido muy intensas en el pleniglaciario, y cuya actividad continua incluso hoy, aunque atenuada. En el sector Somosierra-Ayllón, por su clara asociación con los abanicos plio-pleistocenos de las rañas, se les considera pleistocenos (Pedraza, 1989b).

- *Morrenas de nevero*

Formaciones superficiales originadas por fenómenos de caídas desde los escarpes, cuyo material se moviliza 'deslizándose' sobre el nevero, y se acumula en su frente. Los ejemplos más típicos son el collado de la Flecha y la cabecera de Chorro Chico. Litológicamente, se trata de una formación heterométrica similar a los *till* glaciares.

- *Derrubios estructurados (morrenas de glaciar rocoso)*

Se interpreta como tal el conjunto morrénico de la vertiente occidental de Peñalara. Se trata de un frente con varias crestas o arcos, debidas a un posible flujo en los derrubios. Aquí, el problema está en la explicación de esa estructuración, y en conocer si es debida a morrenas de nevero, o a la deformación asociada al flujo de la masa en una matriz intersticial de hielo o neviza (Pedraza, 1994c).

Sanz Herraiz (*op. cit.*) atribuye la existencia de varias crestas morrénicas a la frecuencia en la fusión de los hielos. En cambio, Pedraza *et al.* (1991) describen el complejo morrénico como derrubios groseros estructurados por flujo incipiente de hielo intersticial. Según esta hipótesis, las crestas tienen su origen en un flujo de los derrubios debidos a una masa de neviza o hielo, habiendo funcionado el sistema entonces como un glaciar rocoso.

- *Lenguas y coladas de avalancha nival*

Tienen su mejor desarrollo en el circo occidental de Peñalara, en el interior del arco morrénico, y al pie de los importantes regueros desarrollados en toda la vertiente del circo. Se trata de acumulaciones de derrubios a modo de cono, a partir de zonas de descarga de los surcos-regueros de arroyada nival. Al parecer, su funcionamiento es similar a las coladas de barro (transporte fluidal), desencadenado por una avalancha de nieve que arrastra parte del sustrato, formando el reguero, y depositando el material a su pie.

- *Navas de altura*

Aparecen en fondos de antiguos circos glaciares (ombligos), y en el interior de cierres morrénicos (Pico del Lobo); en otros casos se sitúan como navas de altura (superficie de Los Pelados). Presentan una dinámica inequívocamente asociada al periglaciario: presencia de aguas de fusión nival, crioturbación, soligelifluxión, etc., razón por la que se diferencian claramente de las navas del piedemonte.

En el municipio de Gallegos, hemos podido comprobar como se 'induce' su formación, para proporcionar agua y pastos al ganado; para ello, excavan en las formaciones superficiales hasta alcanzar niveles subsuperficiales saturados, dando origen a un pequeño manantial, a cuyo pie, por los procesos descritos, se forma una pequeña 'tolla'.

- Lenguas y lóbulos de soligelifluxión

Son frecuentes en todo el dominio serrano estudiado, sobre todo en alturas que sobrepasan los 1.600 m (Siete Arroyos, Chorro Grande). Se deben a una dinámica de flujo (solifluxión), y están muy relacionados con la existencia de manantiales y rezumes de aguas subsuperficiales. De hecho, la saturación en agua condiciona el despegue de la masa movilizada y el movimiento en la modalidad de flujo. Para Pedraza (1994c), este movimiento se aproxima más al 'creep' o reptación que a la solifluxión, ya que con frecuencia aparecen en cotas muy bajas.

- Suelos estructurados

Según lo recién expuesto, consisten en organizaciones del material del suelo debido a tensiones criohidroestáticas (hielo-deshielo) y a gelifluxión. Dan origen así a rosetones, guirnaldas, terracillas, o poligonizaciones. Son comunes en la superficie de Los Pelados, en el Puerto de los Neveros, y en Dos Hermanas.

- Césped almohadillado

Es la única morfología de hinchamiento reconocible en el área, si bien la cita de verdaderos hidrolacólitos en la cabecera del río Sorbe (Pedraza *et al.*, 1987), en la propia sierra de Ayllón, no descarta la posibilidad de su existencia en el dominio estudiado.

El césped almohadillado se desarrolla sobre todo en turberas, tollas y trampales, donde la presencia de agua fue y es abundante. Se deben a pequeñas segregaciones de hielo que, una vez desaparecido, condicionan el crecimiento vegetal. Son frecuentes en Peña Negra y Las Traviesas (Gallegos). Por sus reducidas dimensiones no quedan reflejados en el mapa geomorfológico.

1.2.5. Morfologías de origen glaciar

El fenómeno glaciar en la región estudiada puede considerarse de muy escasa incidencia. En efecto, el glaciario en Guadarrama es escaso, pero aún lo es más en su vertiente septentrional; en la Sierra de Ayllón, la tendencia varía debido a la influencia de los vientos 'abregos' del NE. Así las cosas, en toda la vertiente norte de las Sierras de Guadarrama y Somosierra-Ayllón son reconocibles como tales únicamente seis complejos glaciares, los cuales quedan incluidos en el conjunto cartografiado.

Sin embargo, a pesar de su escaso desarrollo, ha sido éste un tema objeto de numerosos trabajos de investigación. En un principio, se intentaba caracterizar la influencia que pudieron tener las principales glaciaciones cuaternarias ya reconocidas en otras regiones de Europa. Con este propósito, Macpherson (1893), —al igual que ya hicieran Prado (1864) y el propio Macpherson (*op. cit.*) para la vertiente meridional—, atribuyó a la acción glaciaria una importancia extraordinaria, haciéndola responsable de unos depósitos en realidad torrenciales, situados en la confluencia de los arroyos del Chorro Grande y del Chorro Chico, en el término de San Ildefonso; con esta interpretación, Macpherson situaba el límite del avance glaciario en la vertiente septentrional del Guadarrama, a tan sólo 1.200 m. El primer autor en apercibirse de ese error, y en caracterizar adecuadamente la importancia y extensión del glaciario en Guadarrama, fue Penck (1894), quien señaló que el límite de las nieves perpetuas se había situado en torno a los 2.000 o 2.100 m, indicando ya la circunscripción mayoritaria de las morfologías de origen glaciario a las zonas más elevadas de los contrafuertes del valle del Lozoya. Años más tarde destaca el trabajo de Obermaier y Carandell (1917), uno de los escasos trabajos de conjunto sobre la problemática glaciaria en Guadarrama, en el cual se describen con detalle numerosos restos glaciares de la vertiente meridional.

La primera cita de un complejo glaciario en las vertientes septentrionales de Guadarrama y Somosierra-Ayllón se debe a F. Hernández-Pacheco (1925), quien explica la morfología de la Buitrera-Pico del Lobo. Lo más destacado de este trabajo se debe a que pone de relieve un cambio en la tendencia ascendente en la línea de nieves perpetuas en el Sistema Central desde la Sierra de La Estrella hacia el oeste; esta circunstancia es explicada por una mayor influencia de los vientos del NE, fríos y húmedos, en Somosierra y Ayllón.

Alfá *et al.* (1957) interpretan erróneamente unos depósitos de origen torrencial existentes en la confluencia de los arroyos La Chorranca, Peñalara y Las Quemadas, en San Ildefonso, situados a 1.420 m, a los que atribuyen un carácter morrénico. Para esta época, sobresale el trabajo de Fränzle (1959), quien desecha la hipótesis de Alfá *et al.* (1957); este autor alemán destaca además por describir nuevos focos, y localizar, sintetizar y caracterizar mejor el fenómeno glaciario en Guadarrama y Somosierra-Ayllón; a él se debe, por ejemplo, el reconocimiento de una sola fase glaciaria, atribuible al Würm alpino.

Con posterioridad, Sanz Herraiz (1977, 1988), Centeno (1982), Centeno *et al.* (1983), Bullón (1988) y Martín Duque (1992), aportan nuevos datos al estudio del glaciario en la vertiente septentrional del Guadarrama, describiendo nuevos aparatos glaciares y realizando cartografías de detalle de los mismos. Su estudio, sin embargo, no puede abordarse sin tener en cuenta los trabajos realizados en sectores serranos adyacentes (Ontañón y Asensio, 1974; Sanz Donaire, 1976; Pedraza y Centeno, 1987; Pedraza *et al.*, 1989).

1.2.5.1. Formas de erosión

Tienen muy escasa repercusión a nivel morfológico, debido a la acción limitada que pudieron ejercer los hielos; se restringen a:

- Circos glaciares

Cabeceras en anfiteatro con un escarpe muy nítido, desarrolladas en el límite entre la superficie de cumbres y las laderas. En Peñalara en cambio, esta morfología está muy difuminada por procesos periglaciares posteriores, y sólo en la margen suroccidental de este recuenco, y por tanto con orientación prácticamente N-NE, aparece un pequeño circo o nicho.

- Rocas pulidas

Superficies rocosas uniformizadas por el desgaste del hielo en el interior de los circos. Este tipo de pulido es evidente además en algunos nichos de nivación (Peñacabra y Artiñuelo).

1.2.5.2. Formaciones superficiales

Acumulaciones de depósitos tipo 'till', de naturaleza conglomerática heterométrica, de muy escaso significado geomorfológico.

- Depósitos de till

Los más comunes forman morrenas laterales, con una morfología bien definida en *vallum* en el Lobo y Cebollera, y difíciles de reconocer en los complejos de Los Pelados. En algunos glaciares (Lobo, arroyo de las Pozas, Romalo Pelao), aparecen pequeñas morrenas de fondo, sobre las cuales, bien se desarrollan turberas, bien se encaja la red fluvial.

1.2.6. Morfologías de origen fluvial

Junto con los periglaciares ya descritos, los procesos fluviales han sido los más efectivos en el modelado de esta región.

1.2.6.1. Formas de erosión

Tienen un carácter dominante, pues el régimen general en toda esta región para el periodo cuaternario es erosivo.

- Regueros (gullies)

Incisiones lineales con morfología en surco, que denotan una jerarquización incipiente de la red fluvial. Llegan a este estado tras pasar por una primera fase de arroyada concentrada,

manifiesta en morfologías de tipo acanaladura o *rill*, en las cuales se produce una concentración inicial de las aguas pluviales. De igual modo, los regueros son morfologías de tránsito hacia los acarcavamientos, con los cuales se encuentran asociados.

Son más frecuentes a expensas de litologías poco compactas (arenas, arcillas, arcosas), y por tanto se desarrollan sobre arenas y arcillas cretácicas, a partir de los materiales paleógenos y miocenos de relleno de la subcuenca terciaria, y en el dominio de la raña.

- *Cárcavas (badlands)*

Caracterizadas por su elevada densidad de drenaje, son muy frecuentes en los bordes de la unidad definida por la 'raña', en todo el entorno de Riaza; son también comunes en los frentes de cuesta y laderas de relieves estructurales y en las márgenes derechas de los ríos Aguiasejo, Riaza, Serrano, Duratón y Caslilla, como consecuencia de la migración lateral, y descenso del nivel de base por encajamiento, de los canales principales hacia esa orientación. Presentan una cabecera en forma de escarpe, una red dendrítica en su interior, que desemboca en un colector principal, y pequeños conos de deyección o conos coalescentes a su pie.

- *Gargantas*

Son la forma de incisión fluvial más común en el dominio de la sierra y en los piedemontes sobre rocas cristalinas, donde normalmente están controladas por la red de fracturas (Vadillo, La Calzada, Valdeobispo). Aunque de manera más escasa, también presentan esta fisonomía determinados tramos de la red sobre los materiales de la cobertera mesozoica.

- *Cañones y valles de fondo plano*

Tipología de encajamiento fluvial más frecuente en los materiales sedimentarios mesozoicos, formando laderas de tipo: cantil o escarpe, talud, y fondo plano. En su formación, además de los procesos fluviales, han intervenido procesos cársticos, gravitacionales y periglaciares; también se detecta en todos ellos un neto control litoestructural que viene determinado por la existencia de terrazas erosivas a modo de pavimentos y el control de las direcciones de drenaje superficial y subsuperficial por las orientaciones de fracturación y plegamiento.

Los más llamativos los conforman: el río Cega, entre Valle de San Pedro y La Velilla, y sobre todo entre Pajares de Pedraza y Rebollo; el río San Juan, entre Castroserna de Arriba y Valdesaz; y el río Caslilla, entre Casla y la urbanización 'Los Cortos', en Duruelo; también son notables los que han elaborado los arroyos de la Vega (Requijada), La Matilla (El Cubillo), Horcajo (Caballar) y Vadillo (Pedraza).

- *Barrancos, vaguadas y vagonadas*

Encajamiento de la red con perfil transversal tiene forma de artesa, más o menos amplia, en función de lo cual recibe las diferentes denominaciones. Con frecuencia presentan un fondo

tendente a plano, con material aluvial-coluvial en su fondo, así como un coluvionamiento generalizado en su contacto con las laderas que los confinan. En periodos de pluviosidad excepcionales, tiene lugar un encajamiento en los materiales que rellenan el fondo, lo que otorga al conjunto una fisonomía de pequeño 'valle compuesto'.

Son la morfología más típica de la red en el dominio de la subcuenca terciaria Valverde-Ayllón (Turégano, Muñoveros, San Pedro de Gasillos, Fresno de Cantespino, Ayllón, entre otros).

- Incisiones lineales

Se identifican como tal encajamientos fluviales con perfiles transversales en 'uve', pero que no llegan a adquirir el desarrollo de una garganta. Se trata en definitiva de regueros bien definidos en la cuenca sedimentaria, y encajamientos incipientes en el dominio del macizo cristalino.

- Saltos de agua (cascadas)

Variaciones bruscas en el perfil longitudinal de los cursos torrenciales. Forman los denominados 'chorros', que llegan a dar nombre a los arroyos sobre los que se desarrollan: del Chorro, Chorro Grande, Chorro Chico, de la Peña del Chorro. Su origen se asocia, bien a accidentes tectónicos o litológicos (Chorro Grande y Chorro Chico), bien a capturas fluviales (Peña del Chorro).

- Marmitas de gigante (potholes)

Microformas generadas por abrasión en movimientos turbillonares a favor de discontinuidades litológicas o estructurales. Tienen su mejor desarrollo en el lecho del río Cambrones, a lo largo de un encajamiento condicionado por una fractura, y dan lugar al paraje conocido como Las Calderas, si bien aparecen de forma esporádica en casi todas las gargantas (Eresma en la Boca del Asno, La Chorrancia en Navalhorno, Sordillo en Santiuste de Pedraza, etc.).

- Conos o abanicos rocosos

Fisonomías similares a los abanicos aluviales, pero en realidad formados a expensas del sustrato; son, por tanto, una morfología esencialmente erosiva, aun cuando localmente puedan presentar recubrimientos aluviales. Su origen está asociado a la degradación casi completa de antiguos conos de deyección aluviales.

Se sitúan en la transición entre las laderas de la sierra y el piedemonte, enmascarando el contacto entre ambas unidades. Son frecuentes en todo el área estudiado, excepto al pie de litologías pizarrosas y cuarcíticas, en donde son sustituidos por los abanicos de piedemonte de la raña. Este hecho nos lleva a pensar que pudiera tratarse de los abanicos asociados a los mismos episodios genéticos que aquélla, y por tanto de edad plio-pleistocena, que posteriormente fueron erosionados. Sin poder precisar nada más sobre su cronología, sí

parecen claramente anteriores a la etapa würmiense, en la que se habrían formado los conos de deyección más modernos, visibles en toda la región.

- Vertientes-glacis

Se definen así a partir del trabajo de López Vera y Pedraza (1976) en la cuenca del río Jarama. Fernández García (1988a), para un sector próximo, restringe esta denominación a las morfologías más próximas a los cauces actuales, definiendo para las superficies de tipo glacis más altas, desarrolladas en la cuenca terciaria, otras unidades: superficie culminante, superficie de sustitución, y sistema de glacis-llanura. Aquí se aplica el término al conjunto, por entender que su génesis es similar, si bien, en un trabajo específicamente genético-evolutivo, su diferenciación es adecuada, pues definen distintos estadios en el encajamiento de la red fluvial.

- Terrazas erosivas

Restos de superficies horizontales, de naturaleza erosiva, originadas como consecuencia del ensanchamiento lateral de los cauces principales en su proceso de encajamiento, que una vez producido, dejaría colgados retazos de esas paleollanuras o paleocauces.

- Escarpes de terraza

Escarpes de origen fluvial, asociados al encajamiento de los cauces sobre sus propios sistemas de terrazas; definen laderas con pendientes muy diferentes, pero en general escarpadas. Con frecuencia aparecen coluvionadas, si bien a una escala que imposibilita su representación en el mapa geomorfológico.

1.2.6.2. Formaciones superficiales

Dado el carácter fundamentalmente erosivo de todo el sistema fluvial para esta región durante el periodo Cuaternario, únicamente aparecen mejor definidas las formaciones superficiales de edad holocena, si bien coexisten con otras asociadas a los periodos fríos pleistocenos (conos de deyección de la Sierra).

- Fondo de valle aluvial

Abarcan los lechos mayores de los cauces actuales (terrazza actual, llanura inundable, llanura de inundación), en los cuales se encajan los canales o lechos menores de uno a dos metros. Conforman un depósito de diferente espesor, desarrollado las más de las veces directamente sobre el sustrato. Su origen se debe casi exclusivamente a la dinámica fluvial, razón por la que se han diferenciado de los fondos mixtos aluvial-coluvial.

La formación sedimentaria está caracterizada por un depósito típico de origen fluvial: cuerpos lenticulares en sección de gravas y arenas, procedentes de rellenos de canal, con estructuras

internas de migración de barras y *point bar*, y bancos limo-arcillosos, derivados de episodios de inundación. Son comunes los canales abandonados y las cortas de meandro, así como diferentes tipologías de barras fluviales. Sobre esta superficie se apoyan glacis, conos de deyección y coluviones. Se consideran de edad holocena.

- *Glacis-terrazza*

Son la tipología de terraza más común. Presentan una marcada asimetría, con un amplio desarrollo en las márgenes situadas al oeste y suroeste del canal actual, y práctica inexistencia en la orilla nororiental. Así sucede en los ríos Aguiñejo, Rianza, Serrano y Duratón ya en el dominio de la subcuenca terciaria, donde dominan las formas amplias y escalonadas en las márgenes izquierdas, y las vertientes escarpadas y disectadas, con retroceso actual, en las derechas. Este hecho ha sido puesto de manifiesto para los ríos Moros y Eresma por Fernández García (1988a), y por Tanarro (1995) para los ríos San Juan y Castilla.

Su desarrollo indica una migración constante de los cursos fluviales principales hacia el este desde el Pleistoceno inferior, época en la que comenzó su encajamiento a partir de la superficie culminante desarrollada en el dominio de la cuenca; todo parece indicar que este proceso continúa en la actualidad, lo que condiciona importantes procesos erosivos de origen natural en las márgenes derechas, con abundantes acarcavamientos.

Litológicamente están formadas por cantos y bloques envueltos en una matriz arenosa, con facies limo-arcillosas en los tramos superiores. Aunque no se caracterizan por la buena representación de estructuras sedimentarias, en general pueden distinguirse secuencias de relleno y abandono de canal y localmente algunas correspondientes a migraciones laterales de los mismos.

- *Terrazas fluviales*

Escasas —prácticamente inexistentes— en el dominio del macizo cristalino, sólo comienzan a formarse cuando los ríos principales se abren en la subcuenca terciaria Valverde-Ayllón. Como en su mayor parte, los sistemas de terrazas corresponden aquí a la tipología de 'glacis-terrazza', las terrazas fluviales (*s.s*) quedan restringidas a los niveles más bajos, o bien en cañones fluvicársticos (Las Vegas), inmediatamente por encima de la llanura actual, donde tienen un carácter solapado y encajado.

- *Fondo aluvial en torrenteras*

Depósitos de origen torrencial, situados en el fondo de los principales encajamientos tipo 'garganta'. En planta, presentan un trazado irregular, con numerosas discontinuidades, ya que se adaptan a las condiciones del fondo del valle.

Son frecuentes allí donde la red fluvial ha conseguido penetrar de modo importante en el

dominio montañoso (Navafría y Valsáin). En el primer caso, aparecen en las gargantas de las Pozas, Peña Negra, Los Tejos y Cega; en los cursos torrenciales de la red fluvial que drena el sector comprendido entre los puertos de Navacerrada y Malagosto, los más significativos corresponden a los cursos del Puerto del Paular, Seco, Chorranca, Carneros, Chorro Grande, Chorro Chico, Siete Arroyos y Cambrones. Por su posición y relación con los restantes elementos, se consideran de edad holocena.

- Fondo de valle aluvial-coluvial

Formación superficial desarrollada en depresiones semiendorreicas, rellenas por un depósito de origen mixto: 'aluvial' procedente los canales que las drenan, y 'coluvial' debido a la arroyada de las vertientes. Se diferencian de lo que definimos como 'navas' en que los fondos aluvial-coluvial se aproximan más a fondos aluviales, lo que les confiere una menor influencia de los procesos de encharcamiento, hidromorfismo y acumulación de materia orgánica. Se desarrollan en cualquier dominio de la red y sobre cualquier sustrato, pero siempre en relación con tramos donde existe un menor encajamiento o disminución de la pendiente (arroyos de la Valdileja y la Tejera, en la Sierra de Ayllón), y en la posición de numerosos surcos subsecuentes (Mataendrino, Orejanilla). También son abundantes en la subcuenca terciaria. Son de edad holocena.

- Navas

Aparecen dos tipologías: las desarrolladas en el piedemonte, y las formadas a expensas de los relieves de las campiñas.

Las primeras están representadas a lo largo de todo el piedemonte de los Montes Carpetanos, siendo más escasas en Somosierra-Ayllón. Se trata de zonas deprimidas respecto a los relieves circundantes y de fondo plano, con un funcionamiento, por lo general, semiendorreico. Se ubican, bien en fondos de pequeñas depresiones tectónicas y surcos subsecuentes exhumados, bien se originan en zonas de alteración preferentes del sustrato del piedemonte, normalmente a favor de fracturas. Se diferencian de las navas de altura fundamentalmente por la asociación de las segundas con los procesos periglaciares. De hecho llegan a configurar suelos diferentes: histosoles las navas de altura —que en ocasiones forman turberas—, y cambisoles gleicos las de piedemonte.

Las navas del dominio de las campiñas tienen también un carácter semiendorreico. Equivalen a las 'zonas de encharcamiento' y 'depresiones tipo nava' definidas por Fernández García (1988a) en zonas occidentales muy próximas.

- Conos de deyección

Se originan como consecuencia de la descarga de materiales procedentes de cursos de régimen torrencial, allí donde tiene lugar una brusca disminución de la pendiente, lo que provoca la

sedimentación del material transportado. Se pueden diferenciar dos tipos: los conos y abanicos aluviales de piedemonte, y los desarrollados en el dominio de la cuenca sedimentaria.

Los primeros son frecuentes a lo largo de toda la Sierra, en el contacto entre las laderas y el piedemonte; tienen su mejor desarrollo allí donde la red ha conseguido penetrar en el *horst* principal de los Montes Carpetanos (Navafría, San Ildefonso), y en relación con la mejor definición de los canchales y coluviones periglaciares de las cabeceras torrenciales. Así, las masas heterométricas que los componen, parecen tener su origen en relación con procesos de solifluxión en las laderas de la Sierra, los cuales transportan esos materiales hacia los fondos de torrenteras, a partir de donde dan origen a los conos. Sanz Santos *et al.* (1991) y Pedraza *et al.* (1991), distinguen entre conos de deyección antiguos o de primera generación, con facies gruesas y finas y degradados por la red actual; y conos de deyección modernos o de segunda generación, de edad más probable würmiense.

Los conos holocenos de la cuenca sedimentaria se originan allí donde los tributarios de cierta entidad convergen con un curso principal, depositando los materiales que arrastran.

- Abanicos de piedemonte (rañas)

Grandes abanicos aluviales, que actualmente tienen una morfología lobulada y digitada, debido a la disección que sobre los mismos ha ejercido la red fluvial. Generados en regímenes hídricos de alta energía (torrenciales), probablemente bajo clima árido (Ibáñez *et al.*, 1986), su ápice llega a enlazar con los canchales y coluviones periglaciares de la Sierra de Ayllón.

Su origen corresponde, como mínimo, a un periodo de rexistasia entre dos de biostasia. El primero, previo a su formación, sería el responsable de una intensa alteración con formación de alterita; el siguiente, originaría una fuerte alteración en los suelos de la propia raña. Su edad ha sido asignada como Plioceno-Pleistoceno Inferior (Molina y Armenteros, 1986).

- Depósitos de arroyada en manto

Desarrollados de forma más común al pie de los frentes de cuesta, en su enlace con fondos de valle aluviales, aluviales-coluviales y navas. Son muy comunes en los corredores formados por las depresiones tipo graben del piedemonte de Pedraza, especialmente en los sectores Gallegos-Prádena, Torre Val de San Pedro-Valleruela de Sepúlveda, y Caballar-Arevalillo de Cega.

1.2.7. Morfologías cársticas

Han sido estudiadas de forma específica para este sector por Moreno Sanz (1989), quien ha destacado la escasa importancia de las formas exocársticas con respecto a las endocársticas. Estas últimas, aparecen tratadas normalmente de forma indirecta, debido a su interés tanto arqueológico como espeleológico. Trabajos de esa índole son, por ejemplo, la descripción de

cavidades de la región de Prádena realizada por la Sección de Espeleología de Ingenieros Industriales (SEII, 1981), o el *Avance al Catálogo de Cavidades de la Provincia de Segovia* (Fernández Tabera, 1979). Las galerías y cavernas son relativamente abundantes en el entorno de las localidades de Pedraza (de la A, de Antonio López, de la Argolla, de la Cárcel, de los Derrumbes, de la Griega, del Huerto), Prádena (El Jaspe, Carrasca, Los Enebralejos, La Dehesilla, Las Grajas), y Torreiglesias-Losana (La Vaquera, Sima de la Torca, río Viejo). Los espeleotemas mejor desarrollados aparecen en Los Enebralejos, con distintas tipologías de estalactitas, estalagmitas, incluso columnas; existen además rellenos de conductos en El Jaspe (Moreno Sanz y Sanz Donaire, 1983).

Las formas exocársticas tampoco son excesivamente comunes. Sin embargo, por su participación en la configuración del terreno, son descritas con más detalle que las anteriores. La 'efectividad morfológica' de los fenómenos cársticos se produce en tanto ejercen su influencia en el relieve asociados a otros procesos, como los fluviales, definiendo formas fluvio-cársticas como 'valles ciegos', 'valles secos' y 'cañones'.

1.2.7.1. Formas resultantes de la disolución de las rocas

Aparecen sobre todo en el bloque mesozoico de Prádena-Casla, al ser éste el más próximo a la Sierra y haber estado sujeto por tanto a la acción de los cursos descendentes de la misma. Todo ello habría estado favorecido por la tectonización de los materiales en su contacto con el zócalo cristalino, a favor del cabalgamiento Gallegos-Siguero.

- Dolinas

De pequeñas dimensiones, y morfología en embudo, son genéticamente asociables al tipo de hundimiento (subsidiencias o colapsos). Localmente denominadas 'torcas' o 'hundas', son comunes en el entorno de Prádena y Arcones, en las proximidades de la ermita de Las Vegas (paraje Las Torcas), al NO de Casla y el valle del río Viejo cerca de Torreiglesias.

- Dolinas aluviales (carst cubierto)

Forman pequeñas depresiones, también en forma de embudo, reflejas en hundimientos de los depósitos de conos de deyección del pie de la Sierra. Se sitúan en dos sectores principales, formando dos pequeños —pero singulares— 'campos de dolinas': La Dehesa (Arcones), estudiado por Galve y Moreno Sanz (1991); y en el arroyo de los Pollares, en Prádena.

Otro caso singular de dolinas aluviales es el sistema cárstico cubierto por materiales detríticos neógenos localizado en las campiñas de Ayllón cerca de las localidades de Francos y Valvieja, donde han aparecido recientemente hundimientos cilíndricos de hasta 13 m de profundidad y 5 m de diámetro. A su desarrollo contribuye igualmente la naturaleza carbonática de los clastos que forman los detríticos cenozoicos que cubren las dolomías mesozoicas.

- *Dolinas capturadas (valles secos)*

Se trata de sistemas de dolinas alineadas, incluso uvalas, capturadas por la red fluvial, conformando pequeños cañones, valles ciegos, y valles secos, de paredes verticalizadas pero con fisonomías en planta irregular. Los casos más significativos aparecen al NO de Casla, y al E de Valleruela de Sepúlveda.

- *Lapiaz*

Las pequeñas acanaladuras de corrosión cárstica no son frecuentes, y cuando aparecen se encuentran muy modificadas por la acción antrópica del arado (Moreno Sanz, 1989); las tipologías más comunes son el lapiaz en surcos (*rillenkarrén*), y el cavernoso o en "nidos de abeja" (ver Tanarro, 1995). Se encuentran bien definidos en las proximidades de la ermita de la Virgen de la Lastra, y en Castillejo, ambos en el término municipal de Arcones.

- *Sumideros*

Conductos verticales que suponen la conexión de aguas superficiales con la red subterránea. Existe un magnífico ejemplo en el arroyo de los Pollares, en Prádena, que se sume en la cueva de El Jaspe; otro sumidero más difuso es el propio canal del río Cega en Las Vegas.

- *Pavimentos*

Adquieren un desarrollo muy localizado en tanto se encuentran muy degradadas; por esta razón, no aparecen representados cartográficamente. Se originan allí donde la superficie de erosión del piedemonte sobre materiales carbonáticos coincide con los planos de estratificación en las dolomías; aparecen además ligeramente 'pulidas' por corrosión.

1.2.7.2. Formaciones superficiales de acumulación de residuos insolubles

Son poco frecuentes, y aparecen en su variedad más común de *terra rossa*.

- *Depósitos de decalcificación (terra rossa)*

Residuo insoluble de un proceso de disolución cárstica. Formado fundamentalmente por materiales de textura limoarcillosa, y naturaleza de óxidos e hidróxidos de hierro, e illitas-caolinitas. Por lo general, rellenan depresiones alargadas de fondo plano, de origen fluvicárstico. Precisamente por estar removilizadas posteriormente por procesos fluviales, presentan características más típicas de depósitos de naturaleza aluvial-coluvial.

Molina y Armenteros (1986) estudian estos depósitos en el sector suroriental de la cuenca del Duero, y asocian su origen al proceso de formación de la superficie de piedemonte pliocena.

LEYENDA DEL MAPA GEOMORFOLÓGICO

I. MORFOLOGÍAS ASOCIADAS A LAS SUPERFICIES DE EROSIÓN

1. Poligénico

1.1. Formas de denudación

-  Superficie de erosión tipo penillanura formando cumbres, parameras y hombreras
-  Superficie de erosión de piedemonte sobre el macizo cristalino
-  Superficie de erosión de piedemonte sobre la cobertera mesozoica (mesas y plataformas)
-  Superficie de erosión tipo penillanura (preceñomanense) exhumada
-  Superficie de erosión tipo penillanura (preceñomanense) en proceso de exhumación
-  Relieves residuales tipo monadnock
-  Relieves residuales de culminación plana

1.2 Formaciones superficiales

-  Alteritas

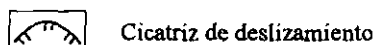
II. MORFOLOGÍAS ESTRUCTURALES

1. Asociadas a la estructura tectónica (tectoestructurales)

-  Laderas de origen tectónico
-  Escarpe tectónico (falla) con expresión morfológica

2. Asociadas a la disposición de los materiales (litoestructurales)

-  Escarpe estructural en series monoclinales (frente de cuesta)
-  Dorso de cuesta
-  Escarpe estructural en series horizontales y subhorizontales
-  Hog-back
-  Cresta o barra
-  Relieve residual lineal
-  Superficie estructural

III MORFOLOGÍAS ASOCIADAS A PROCESOS MORFOGENÉTICOS RECIENTES Y ACTUALES**3. De origen gravitacional****3.1. Formas del modelado**

Cicatriz de deslizamiento

3.2. Formaciones superficiales

Lengua de deslizamiento



Coluvión

4. De origen periglacial**4.1. Formas del modelado**

Circo-nicho de nivación



Circo solifluidal



Regueros de arroyada nival



Escarpes y perfiles de gelifracción

4.2. Formaciones superficiales

Derrubios de vertiente (canchales o pedreras)



Derrubios empastados (coluviones periglaciares)



Morrenas de nevero



Derrubios estructurados (morrenas de glaciar rocoso)



Lenguas y coladas de avalancha nival



Navas de altura



Lenguas y lóbulos de soligelifluxión



Suelos estructurados

5. De origen glaciar**5.1. Formas de erosión**

Circos glaciares



Rocas pulidas

5.2. Formaciones superficiales

Depósitos de till (morrenas)

6. De origen fluvial**6.1. Formas de erosión**Regueros (*gullies*)Cárcavas (*badlands*)

Cañones y valles de fondo plano



Incisión lineal



Saltos de agua (cascadas)



Conos o abanicos rocosos



Barrancos, vaguadas y vagonadas



Vertientes glaciares



Terraza erosiva



Gargantas

6.2. Formaciones superficiales

Fondo de valle aluvial (terrazza actual)



Terrazas fluviales



Glacis-terrazza



Fondo aluvial en torrenteras



Fondo de valle aluvial-coluvial



Navas



Conos de deyección



Abanicos de piedemonte (raña)

Depósitos de arroyada en manto (*sheet flood*)**7. De origen cárstico****7.1. Formas resultantes de la disolución de las rocas**

Dolinas



Dolinas aluviales (carst cubierto)



Dolinas capturadas (valles secos)

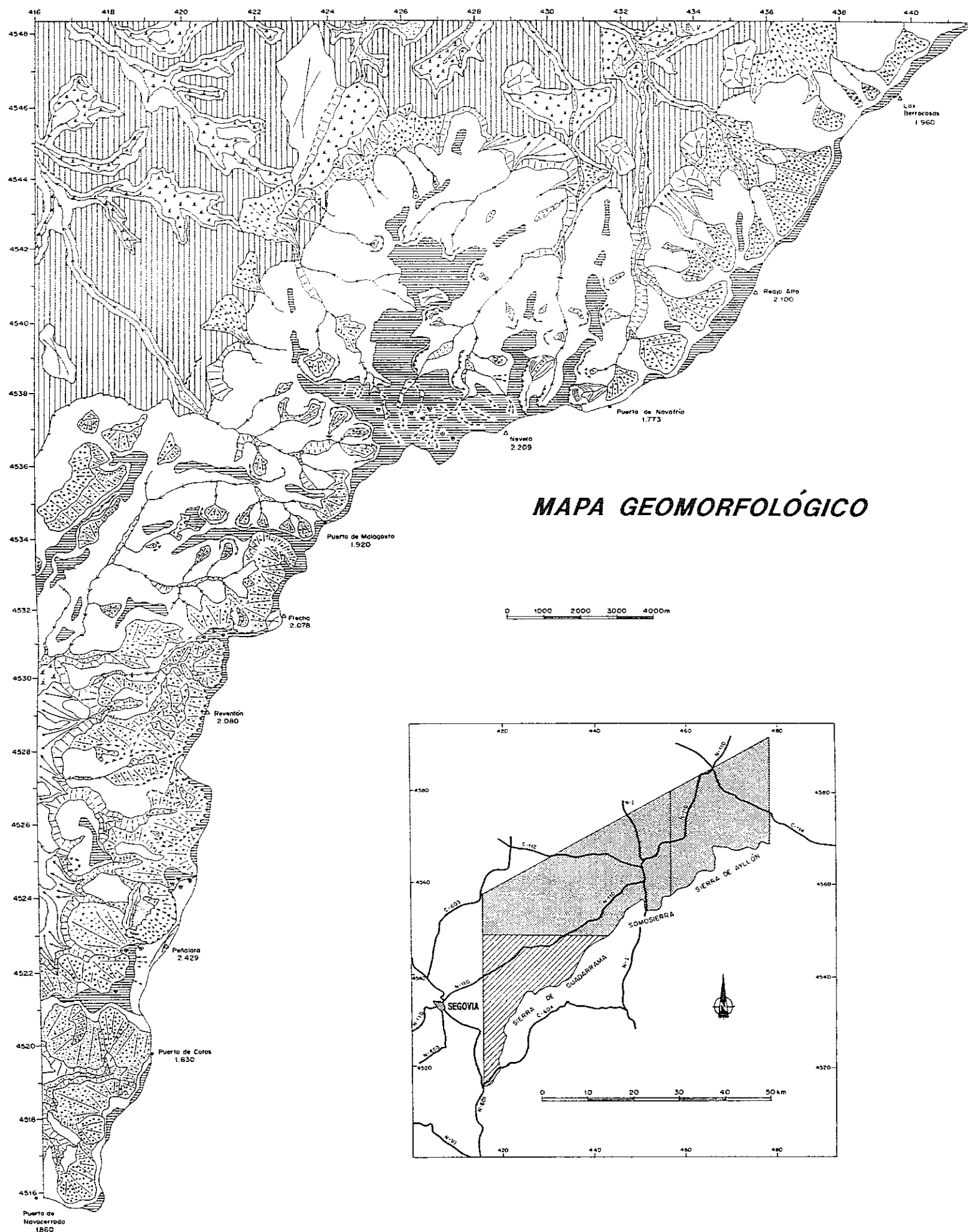


Lapiaz

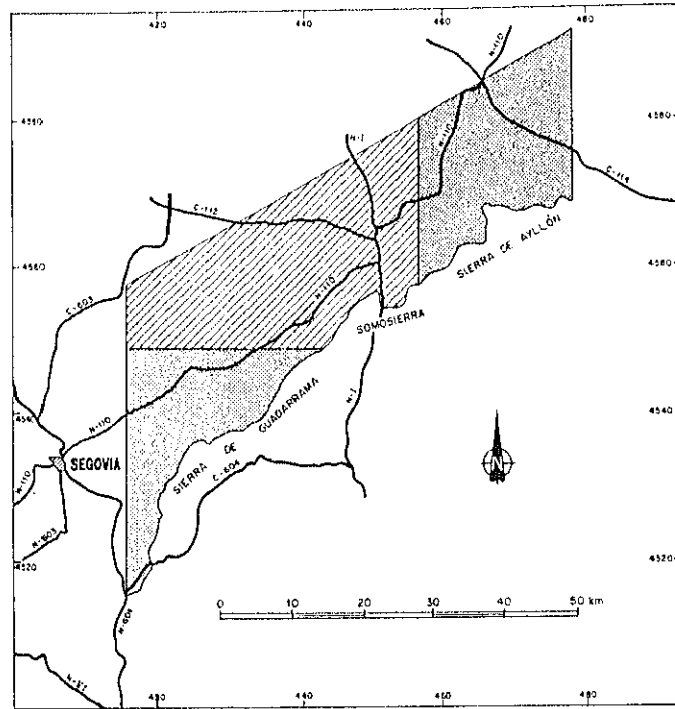


Sumidero

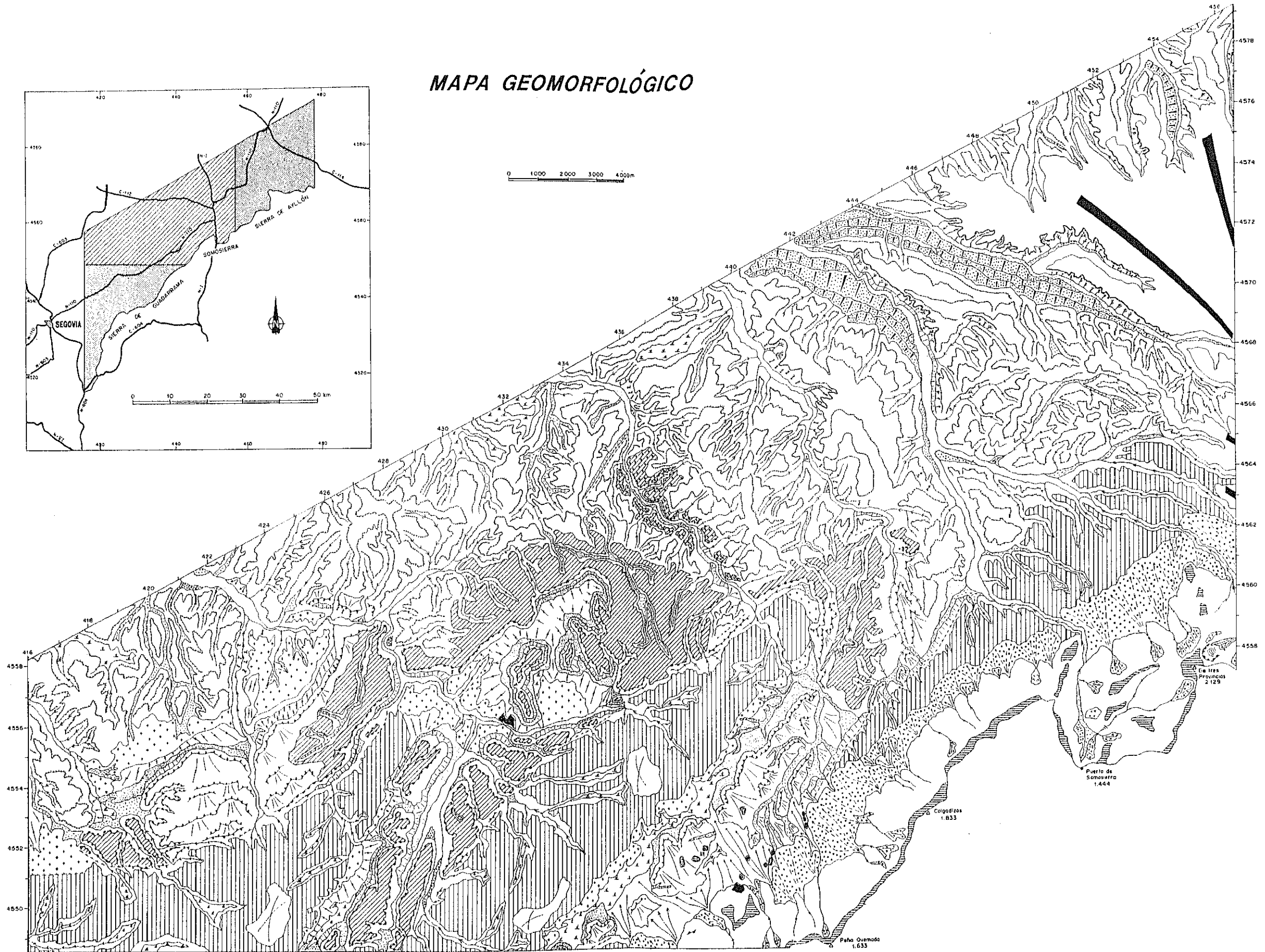
7.2. Formas de acumulación de residuos insolublesDepósitos de decalcificación (*terra rossa*)



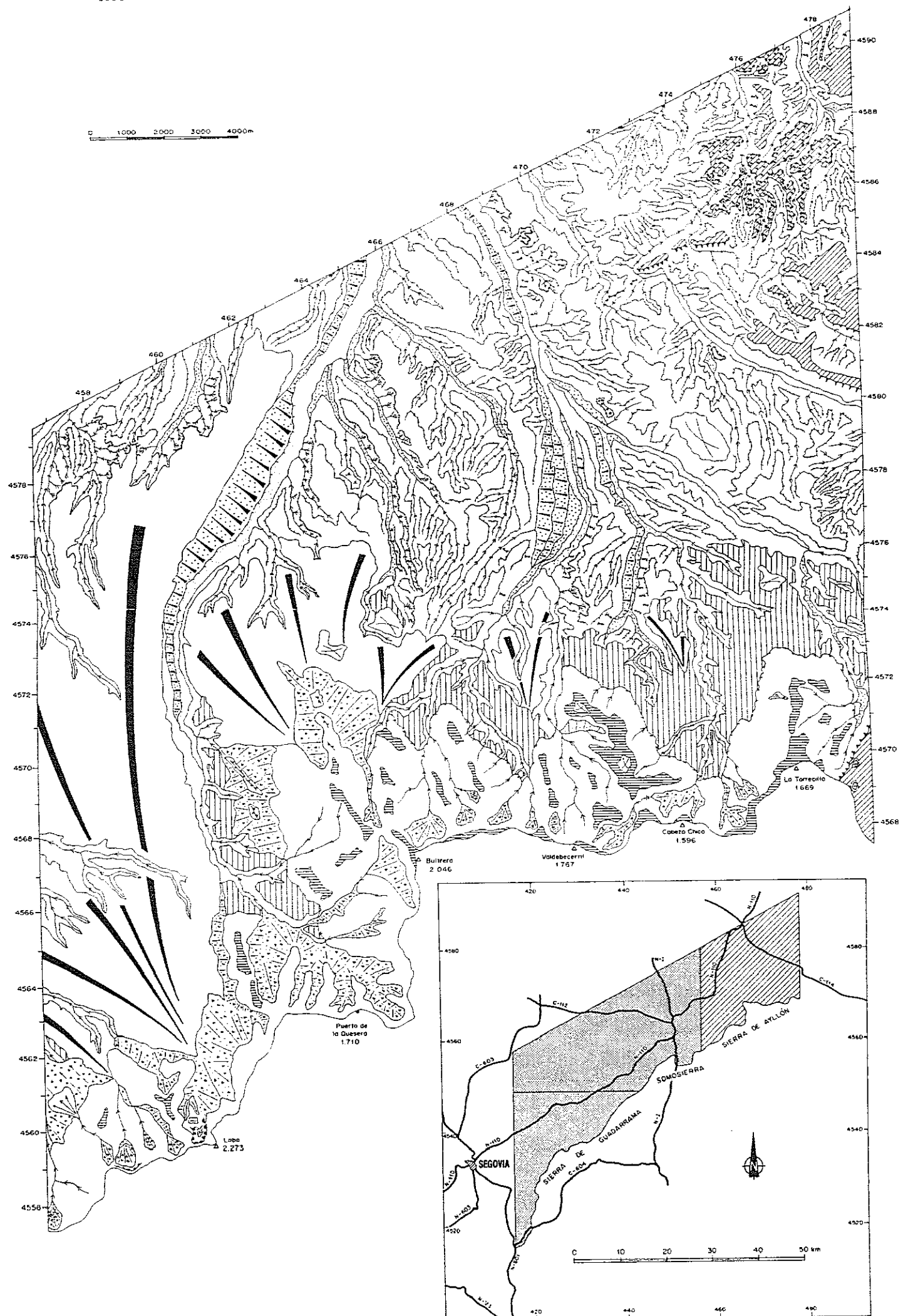
MAPA GEOMORFOLÓGICO



0 1000 2000 3000 4000m



MAPA GEOMORFOLÓGICO



I.3. SÍNTESIS

El objetivo último de este anexo ha sido completar la caracterización geomorfológica del territorio seleccionado, como paso previo a su utilización con fines aplicados. Como síntesis, se pueden extraer unas conclusiones sobre la evolución geomorfológica cuaternaria. Por otro lado, aunque indirectamente, el estudio ha permitido profundizar en determinadas cuestiones genético-evolutivas, pero que, por su carácter de aportación, merecen destacarse.

I.3.1. Evolución geomorfológica cuaternaria

Las morfoestructuras del Sistema Central en este sector, resultado de una evolución geomorfológica a escala geológica, siguen siendo dominantes en el paisaje actual (superficies de erosión), y sólo de forma escasa han sido modeladas por los procesos morfogenéticos cuaternarios, asociados a dos sistemas fundamentales: fluvial y periglacial.

- *Procesos fluviales y asociados*

Los procesos fluviales, y en general los relacionados con las redes de drenaje, en cualquiera de sus modalidades dinámicas, han sido los más efectivos desde un punto de vista morfogenético; su influencia se ha ejercido tanto en las laderas como en el piedemonte.

En el primer caso, la acción fluvial no ha llegado a producir una disección similar a la ocurrida en las vertientes meridionales —probablemente como respuesta a la existencia de un nivel de base más elevado en el Duero que en el Tajo—, salvo en Somosierra, Navafría, Navacerrada y la Quesera, donde importantes accidentes tectónicos han permitido una progresión de la red en los dominios de la Sierra.

En el piedemonte, el encajamiento fluvial ha sido continuo, al menos, desde el Pleistoceno Inferior, a partir de una superficie de piedemonte que biselaba por igual restos del macizo cristalino, de los materiales mesozoicos, y de los materiales terciarios de relleno de la cuenca, los cuales cubrían parte de los anteriores, enlazando con el nivel de culminación de la raña y los páramos. Muchos de los valles actuales tienen pues carácter antecedente o epigenético.

La efectividad morfogenética de los procesos fluviales se vio favorecida por la actuación conjunta de procesos gravitacionales, los cuales contribuyeron en gran medida a definir el modelado de los diferentes tipos de valles: gargantas, cañones, vaguadas, etc.

También los fenómenos cársticos han contribuido al modelado de ciertos sectores del conjunto descrito, si bien únicamente en tanto han ejercido su influencia en asociación con otros procesos, sobre todo fluviales, favoreciendo la incisión y dando origen a un amplio conjunto de cañones fluvio-cársticos y 'valles secos'.

- *Procesos periglaciares*

Los procesos ligados a la morfogénesis en ambientes fríos (periglaciares) pueden considerarse relativamente efectivos en el ámbito de la Sierra, y son responsables del remodelado de morfologías previas, habiendo contribuido a la formación de vertientes regularizadas, valles asimétricos y valles de fondo plano, así como al origen de elementos específicamente periglaciares, como canchales o escarpes de gelifracción. A su vez, su participación en la génesis de formaciones superficiales coluvionares de la Sierra ha sido notoria.

La discusión a este respecto se centra en el verdadero significado de los procesos periglaciares. Así, utilizado con categoría de ambiente o piso montañoso, es decir, tal cual se entiende a nivel global, con la presencia de *permafrost* —que en este caso tendría que ser alpino—, es más que probable que hubiera 'suelos helados' con carácter permanente en las zonas elevadas de estas sierras durante el Pleistoceno Superior (Gallardo *et al.*, 1987, 1988), si bien su correspondencia con un verdadero *permafrost* no ha sido probada. Es posible entonces referir el hecho periglaciario a un significado morfogenético de procesos originados por ciclos hielo-deshielo y coberteras nivales, con categoría de ambientes periglaciares (ver Pedraza *et al.*, 1996a).

Uno de los criterios más utilizados para delimitar la acción periglaciaria pleistocena en estas sierras ha sido la gelifluxión-solifluxión (Fränzle, 1959; Brosche, 1978, 1982). Basándose en ese proceso, Fränzle (*op. cit.*) consideró que durante el periodo würmiense podría haber llegado hasta los 1.000-1.100 m, con el límite de las nieves perpetuas (piso nival) próximo a los 1.950-2.000 m. Brosche (1978) en cambio, situó ese límite inferior en 400-500 m para el ámbito de Peña de Francia-Gata y Gredos, y en torno a 700 m para la submeseta norte, lo que explicaría su incidencia en el piedemonte.

En efecto, varios trabajos (Moreno Sanz, 1989; Tanarro, 1995) han puesto de manifiesto la efectividad de los procesos ligados a ambientes fríos en los relieves estructurales del piedemonte, a tenor de la tendencia regularizada en la morfología de múltiples vertientes de cañones y hoces, en las cuales, la presencia de una cubierta de derrubios carbonáticos con tendencia a la ordenación interna, similares a *grezés liteés*, cubren en amplias extensiones las laderas a modo de coluvión. En el transcurso de este trabajo, han sido reconocidas lenguas de solifluxión en este ámbito, como las existentes en el valle del arroyo de Santa Águeda, en las proximidades de la localidad de Arahuetes.

El glaciario, por contra, puede considerarse casi anecdótico desde un punto de vista de su influencia en la configuración actual del relieve. La mayor parte de esas morfologías periglaciares y glaciares han sido atribuidas al máximo würmiense (20.000 a 10.000 BP), si bien parece muy probable que las tradicionales fases frías pleistocenas reconocidas para Europa Central también hubiesen tenido su influencia aquí (Sanz Herraiz, 1988; Pedraza, 1994c).

En definitiva, a la vista de las cronologías asignadas en la literatura a las formaciones superficiales del entorno estudiado, podemos considerar que el periodo que se ha venido correlacionando con la fase würmiense alpina habría sido el de máxima actividad morfogenética, teniendo un carácter eminentemente erosivo (rexistásico). Pero éste tampoco debe haber sido el único a lo largo del cuaternario, periodo que en síntesis se ha caracterizado por una importante actividad erosiva (vaciamiento) de toda la región. Así, según recoge la literatura y se confirma en nuestro estudio, las morfologías del modelado sobre las morfoestructuras tienen su origen en el periodo Pleistoceno, dentro del cual existieron fases frías de máxima actividad morfogenética; gran parte de las morfologías tienen por tanto un carácter 'heredado'.

1.3.2. Aportaciones del estudio morfogenético

A pesar de no ser el objetivo fundamental de nuestro trabajo, del estudio geomorfológico teórico se han podido extraer una serie de conclusiones relativas a la génesis y evolución del relieve; dichas conclusiones se centran en torno a aspectos no suficientemente explicados hasta el momento para este sector, razón por la cual pueden considerarse aportaciones directas derivadas de este trabajo de investigación.

- Las superficies de erosión

Del estudio realizado es posible obtener una serie de conclusiones, las cuales permiten profundizar en la interpretación genética de las superficies de erosión, aspecto que, como vimos al analizar la problemática geomorfológica, es del máximo interés.

Existen claras evidencias de que la superficie precretácica (precenomanense) forma parte de amplios sectores de la rampa oriental de esta vertiente norte de Guadarrama, por exhumación de la cobertera cretácica (Orejanilla, Tejadilla, La Mata, Arahetes, Cañicosa, Colladillo, Mataendrino, Pradenilla, Ceguilla, Galindez, Torreval de San Pedro). También sucede esto hacia el oeste, en general en el entorno de los surcos subsecuentes (Espirido, Hontoria).

A este respecto, es posible establecer una relación directa entre la paleogeografía mesozoica y la evolución posterior del relieve, en el sentido de que las superficies exhumadas son más abundantes en la región de Prádena-Pedraza, donde existió un mayor espesor de sedimentos cretácicos como consecuencia de la existencia de escalones paleogeográficos durante el Mesozoico (ver Alonso, 1981). De este modo, cuando se produce la 'inversión del relieve', como consecuencia de los movimientos alpinos, esta zona presenta mucho mayor espesor de cobertera mesozoica para ser desmantelado, lo que explicaría una mayor abundancia actual de estos materiales en la zona, e incluso que las superficies de erosión se desarrollasen en gran parte sobre estos materiales de la cobertera mesozoica, que por exhumación posterior habrían

permitido aflorar en amplios sectores la superficie precenomanense. Lo contrario sucedería hacia el oeste; por ejemplo, en Ituero y Lama, el espesor es insignificante, y habría sido desmantelado con relativa facilidad; y en Gredos inexistente, por lo que la reelaboración habría sido directamente sobre el macizo.

La existencia de diferentes niveles de base para las submesetas Norte y Sur, también habría condicionado la diferente evolución (erosión) en ambas vertientes del Sistema Central, menos marcada en la septentrional.

La superficie precenomanense exhumada, puede definirse como un aplanamiento general 'ondulado', que se conserva bien en las proximidades de los afloramientos cretácicos; en zonas más alejadas, pudiera estar remodelada por otro tipo de procesos que la simple exhumación, incluso haber enrasado con las superficies del piedemonte; restos de esas superficies serían la culminación de los relieves tipo *monadnock* (cabezos), y relieves de culminación plana, existentes en estas zonas (Peña Redonda, Pico de la Dehesa).

Otra conclusión que podemos destacar es el hecho de que la formación de relieves residuales tipo *inselberg* sobre el macizo cristalino en una superficie grabada, durante finales del Cretácico y buena parte del terciario, es poco probable en este sector, en tanto habría estado impedida en la práctica totalidad del Guadarrama septentrional en buen grado por la existencia de la cobertera mesozoica, no desmantelada para esas épocas. Ello explicaría la escasez de estos relieves en toda la región.

Como síntesis de esta discusión, podemos señalar que es muy probable que cada sector del Sistema Central tenga su propia 'historia evolutiva', condicionada por toda una serie de factores entre los cuales los paleogeográficos deben haber jugado un papel importante. En el caso que nos ocupa, el factor determinante es la existencia de una amplia y espesa cobertera sedimentaria mesozoica cubriendo gran parte del macizo hasta épocas recientes.

La discusión actual en torno al origen de estas superficies, tiende a otorgar mayor importancia a una única superficie (la poligénica heterócrona, o mesozoica), que habría sido remodelada después según diferentes condiciones morfogenéticas, y que en realidad es donde estriban las mayores diferencias en la interpretación de los diferentes modelos evolutivos.

- Nuevas morfologías de origen glaciar y periglaciar

En el transcurso de este trabajo se ha realizado la primera descripción de dos nuevos focos glaciares en la Sierra de Guadarrama: los complejos glaciares pleistocenos del Arroyo de las Pozas y del Chorro. La singularidad de estos hallazgos se debe al hecho de que se sitúen en la vertiente septentrional de los Montes Carpetanos (Sierra de Guadarrama), donde hasta ahora sólo habían sido descritos otros dos: el de Peñalara-Eresma (Sanz Herraiz, 1977), y el de Romalo Pelao (Centeno *et al.*, 1983), que a pesar de situarse en el contexto de la vertiente

septentrional de Guadarrama, tiene una orientación local SE. Son más convergentes, por tanto, con los glaciares de Las Cerradillas o Barandillo —aunque con menor extensión—, en la vertiente septentrional de Cuerda Larga, y mucho más aún con el de Tres Provincias, de orientación NE. La aportación en este sentido, no se deriva tanto de la singularidad del hallazgo, sino por el hecho de que muy recientemente (Pedraza y Centeno, 1987; Martín Duque, 1992) se estén describiendo nuevos focos glaciares en un espacio tan estudiado como es la Sierra de Guadarrama.

Por otro lado, el estudio sobre fenómenos periglaciares ha permitido profundizar en la génesis de morfologías de tipo ‘circo solifluidal’.

- El complejo del Arroyo de las Pozas

Citado hasta ahora como nevero por Sanz Herraiz (1977, 1988) y Centeno (1982) su atribución a un origen claramente glaciar por el reconocimiento de unos depósitos que denotan flujo de hielo, se debe al trabajo de investigación de esta tesis doctoral.

El conjunto que dio origen a este complejo se situaba en la actual cabecera del Arroyo de las Pozas, muy próximo al Puerto de Navafría, al pie de los relieves de El Alto del Puerto y Regajoniesto, límites orientales de la superficie de Los Pelados. Se trataba de un glaciar de circo tendente a ladera que, partiendo de los 1.960 m, descendía en sentido E-NE hasta los 1.660 m, en las proximidades de la confluencia del arroyo de las Pozas con el arroyo que se origina en el collado del Puerto de Navafría. Dicho glaciar alcanzó un recorrido total de 1.100 m, y un espesor máximo de hielo aproximado de 80 m.

Lo que fue la cuenca de alimentación del glaciar presenta en la actualidad una típica fisonomía de circo. Dentro de éste aparecen varios umbrales y canchales, algunos de ellos envueltos en una matriz de materiales más finos que presentan fenómenos de solifluxión. El resto de la cuenca de alimentación está constituida por afloramientos rocosos pulidos por el hielo.

El sistema morrénico contiene dos complejos laterales relativamente extensos, pero mal definidos, y una estrecha morrena de fondo, muy degradada por la acción torrencial del arroyo de las Pozas. Del complejo de morrenas laterales, las externas se acomodan en gran medida a la morfología de las laderas que las confinan, siendo por ello difícilmente diferenciables. Únicamente la morrena lateral derecha presenta una cresta bien reconocible, la cual dio origen a su reconocimiento como tal. Las morrenas laterales internas quedan también solapadas a la ladera y, en parte, a las morrenas externas, sin crestas diferenciables (ver figura I.1). El desarrollo importante de fenómenos de ladera, modifica y degrada los depósitos de las morrenas, difuminando aún más su morfología. Aunque mayoritariamente se encuentran cubiertos por vegetación, la naturaleza de los *till*, es fácilmente reconocible en el talud abierto sobre la morrena lateral derecha externa por la carretera que desciende del Puerto de Navafría en sentido norte.

- El complejo glaciar del Arroyo del Chorro

Al igual que el anterior, es descrito por primera vez como consecuencia de este trabajo de investigación. También citado hasta ahora como nevero, se sitúa próximo al anterior y con orientación similar, hallándose confinado a la cabecera del arroyo del Chorro, esta vez en el interior de la citada superficie de Los Pelados.

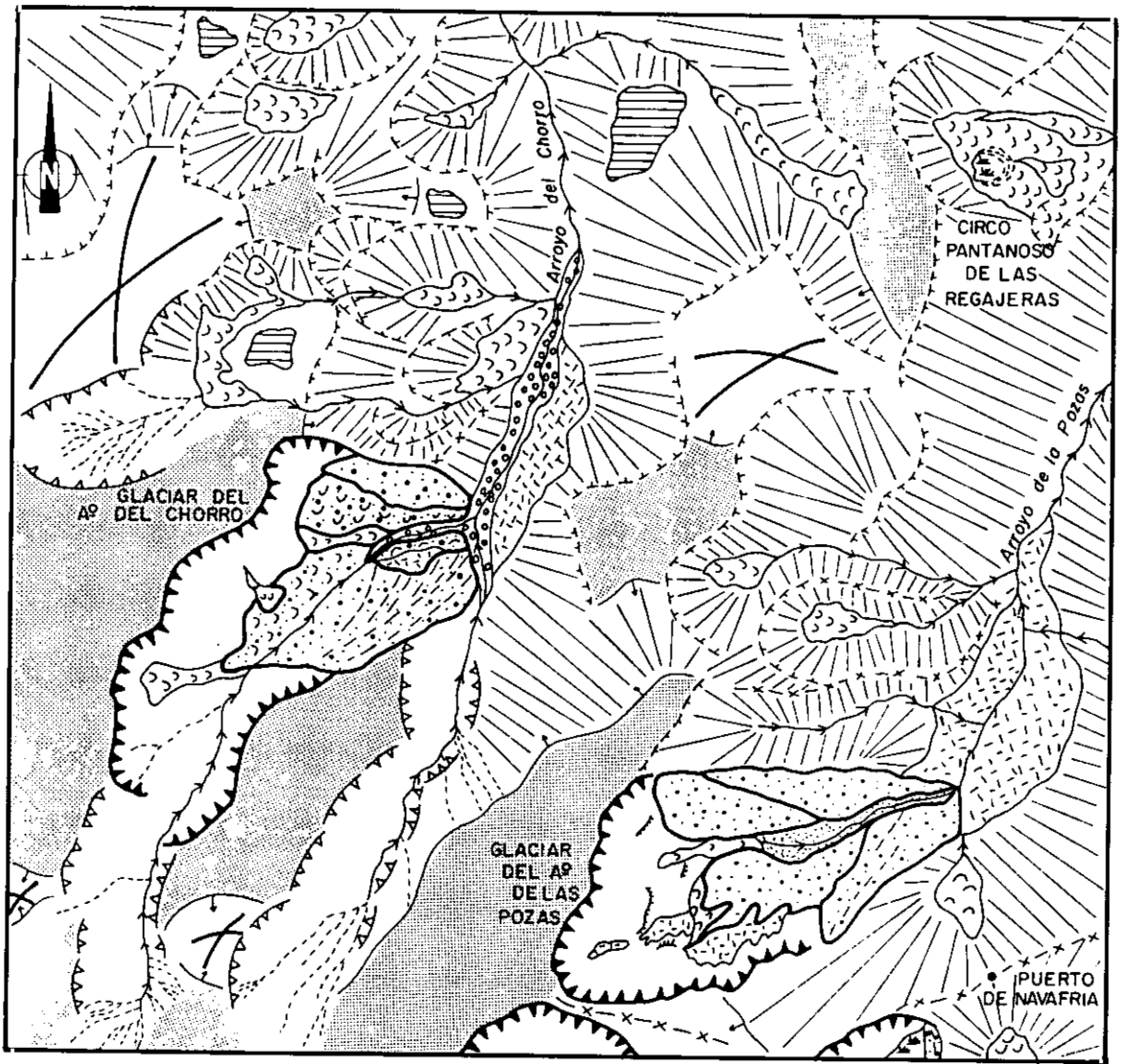
El glaciar que dió origen a este complejo, también de circo tendente a ladera, partía a unos 2.080 m de altitud y descendía hacia el E-NE hasta las proximidades de la confluencia del arroyo del Chorro y del arroyo procedente del Alto del Puerto, a 1.780 m de altitud, habiendo alcanzado un recorrido total de 1.300 m, y un espesor de hielo máximo aproximado de 60 m.

El contorno que limita lo que fue la cuenca de alimentación de este glaciar tiene una forma alargada, con disposición disimétrica e irregular que poco recuerda a una fisonomía de cabecera glaciar de circo. Los escarpes de éste se disponen limitando dos laderas y enlazando con las morrenas, formando un circo 'abierto' en su cabecera (ver figura I.1).

La alimentación del glaciar del Arroyo del Chorro se limitó casi exclusivamente a la ladera occidental. De este modo el hielo fluyó, sobre todo, en sentido Este. Esta ladera posee actualmente recubrimientos de tipo solifluidal, canchales y afloramientos rocosos con el característico pulido del hielo. Del sistema morrénico destaca su disposición oblicua con respecto al circo. La morrena lateral izquierda es apenas perceptible en su parte distal ya que, al igual que ocurría con las del complejo glaciar de las Pozas, se solapa a la ladera sobre la que se apoya. En su parte inicial, esta morrena se encuentra muy degradada y afectada por solifluxión generalizada. La morrena lateral derecha es, por contra, bien reconocible al presentar varias crestas de pulsación. La mayor estructuración de esta morrena puede deberse a la direccionalidad preferente del hielo hacia esta ladera, procedente de la vertiente occidental de la cuenca de alimentación. De nuevo, la naturaleza de los till es visible en el corte efectuado por una pista forestal sobre la morrena lateral derecha.

- *Circos solifluidales*

La identificación y descripción de 'circos solifluidales' para el Sistema Central corresponde a Pedraza y Fernández (1981). A partir de la elaboración del mapa geomorfológico detallado se han localizado varias morfologías de este tipo, en las cuales hemos encontrado a su vez rasgos convergentes con los "circos pantanosos criogénicos" (*bog cirques*), descritos por Dzulynski y Pekala (1980), y cuyo proceso genético principal es la acción combinada hielo-deshielo en el suelo (crioturbación) y la solifluxión. La morfología más típica se sitúa en el entorno del Puerto de Navafría: el circo pantanoso (*bog cirque*) de las Regajeras, fisonomía de circo con un pequeño arco-cordón morrénico en su frente, encerrando una pequeña tolla o turbera; el conjunto se sitúa a su vez sobre un gran deslizamiento (figura I.1).



LEYENDA

- | | | | |
|--|------------------------------------|--|------------------------------------|
| | Circo glaciar | | Deposito mixto fluvio glaciar |
| | Escarpe (umbral) | | Zona pantanosa. Turbera |
| | Till (morrena lateral) | | Incision fluvial. Arroyo |
| | Till (morrena de fondo) | | Interfluvios |
| | Cresta morrenica | | Cicatriz de deslizamiento |
| | Deposito mixto till-solifluidal | | Laderas con recubrimiento coluvial |
| | Nicho de nivacion | | Sup. tipo penillanura. Cumbres |
| | Regeros de arroyada pluvionival | | Relanos estructurales. Hombreras |
| | Deposito solifluidal | | Relleve residual. Monadnock |
| | Cordon estructurado solifluidal | | Cambio de pendiente |
| | Deposito mixto gravit.-solifluidal | | |

Figura 1.1. Esquema geomorfológico de los dos complejos glaciares, y de la morfología de circo solifluidal (pantanoso), descritos como consecuencia de este trabajo de investigación (según Martín Duque, 1992).

Dzulynski y Pekala (*op. cit.*), definían los *bog cirques* como depresiones en forma de anfiteatro, carentes de depósitos morrénicos, superficies estriadas e indicios sub o fluvioglaciares, pero cuya morfología era convergente con la de complejos glaciares o neveros. Su génesis la explicaban en base a la existencia de pequeñas zonas de afloramientos o rezumes de aguas subsuperficiales en ámbitos montañosos (formaciones superficiales, fracturas), que daban origen a pequeñas zonas encharcadas, a partir de las cuales se desencadenaban acciones continuadas de hielo-deshielo y remoción de derrubios por solifluxión. Más en detalle, el proceso es el siguiente: allí dónde se origina el rezume o descarga de aguas subterráneas a partir de pequeños manantiales (suelos encharcados), y en condiciones de permafrost, la acción del hielo-deshielo en la capa activa disgrega el sustrato, elevando los bloques resultantes hasta la superficie en un proceso idéntico al que origina los círculos de piedra; una vez en superficie, el material es removilizado por solifluxión, dando lugar a cordones o lenguas solifluidales.

Aún con la diferencia de condiciones respecto a la definición de Dzulynski y Pekala (1980), para la explicación de las morfologías del entorno del puerto de Navafría nos basamos, tanto en la existencia de datos que indicaban la presencia de una tipología de *permafrost* alpino en Guadarrama para el Pleistoceno Superior (Gallardo *et al.*, 1987, 1988), como en la abundancia de sustratos meteorizados en el entorno del gran accidente tectónico de Navafría, favorable a la existencia de manantiales y la remoción de material por solifluxión.

La presencia de un cordón 'morrénico' en el interior de esta morfología podría deberse al funcionamiento de este circo de origen solifluidal como un pequeño nicho de nivación. De hecho, en este proceso de formación de depresiones de origen solifluidal parecen haber tenido una influencia decisiva en el desarrollo de nichos de nivación, y de los propios circos glaciares.

Dzulynski y Pekala (1980) citaban a este respecto cómo entre los procesos que ayudaban a la formación de los circos de nivación, estaba la acción del hielo-deshielo y el movimiento del material por solifluxión. Según ese razonamiento, los circos de nivación y los *bog cirques* debían ser observados como formas convergentes, desarrolladas bajo condiciones ambientales no necesariamente muy diferentes en sus procesos formadores.

La interpretación de estos fenómenos en el espacio y en el tiempo, permite pensar que este mecanismo de formación de depresiones, tales como deslizamientos, en el que pudieron intervenir varios fenómenos mixtos de gravedad, transporte fluidal y semifluidal, todos ellos en un ambiente periglaciario, pudo constituir en el pasado un factor preferencial para la localización de nichos nivales y circos glaciares. De hecho, esta hipótesis cobra fuerza a la vista de las características del Glaciar del Puerto de Navafría, al sur de este accidente orográfico, el cual se sitúa en plena ladera sin una cuenca torrencial definida, y cuya morfología global es muy similar al circo pantanoso de las Regajeras.

En estos casos, la secuencia evolutiva sería:

DESGLIZAMIENTO - CIRCO SOLIFLUIDAL - NICHOS DE NIVACIÓN - CIRCO GLACIAR

De hecho, algunos autores (Pedraza y López, 1980; Pedraza y Fernández, 1981; Sanz Herraiz, 1988), ya han apuntado que en la localización de los circos glaciares en el Sistema Central, habría sido tan importante o más que la orientación, la existencia previa de depresiones en las que pudiera acumularse la nieve y formarse hielo.

- *Variaciones en la evolución cuaternaria de la red fluvial*

De compleja puede considerarse la evolución de la red en toda la región nororiental del Guadarrama, condicionada por su desarrollo en un área de gran diversidad estructural, caracterizada por la alineación seriada de *horsts* y *grabens* en este sector del piedemonte.

- *Variaciones en el sistema del río Cega*

Un ejemplo significativo de esta complejidad lo constituyen el río Cega y sus tributarios. Así, cuando éste comenzó a encajarse en la superficie del piedemonte, entre finales del Plioceno e inicios del Pleistoceno, su red tributaria habría comenzado a jerarquizarse, encajándose en una superficie a modo de rampa desarrollada entre los 1.200 m en las zonas más próximas a la sierra, y los 1.000 en el contacto con la subcuenca terciaria. A medida que la red fue encajándose por antecedenencia, la estructura tectónica comenzaría a ejercer su control, y el desarrollo de los ríos ortoclinales (subsecuentes) pasaría a ser dominante respecto a la tendencia original cataclinal. Ello habría originado múltiples capturas en los cursos principales. El propio río Cega, desde su nacimiento tendría su salida natural a partir de una línea definida por las poblaciones de Requijada-El Guijar-Muñoveros, más o menos continua a lo largo de varios arroyos; sin embargo, al llegar a las proximidades del Valle de San Pedro, adopta un giro de casi 90° hacia el Este, siguiendo la dirección del *graben* de Torreval-Valleruela de Sepúlveda; al llegar a la localidad de La Velilla, el Cega toma otro nuevo giro de 90°, esta vez hacia el Norte, en realidad siguiendo el curso del Arroyo del Pontón (El Pontón habría capturado al Cega), cortando posteriormente, ya en forma de valle cataclinal (consecuente) el *graben* Caballar-La Matilla, y saliendo finalmente al la subcuenca terciaria.

Este proceso se repite, como hemos señalado, en los tributarios. Significativo resulta el caso de arroyo Sordillo, o río de Santa Águeda. Tras discurrir por el fondo de la depresión tectónica de Collado-La Salceda, pasa a ser subsecuente hasta la localidad de Requijada; allí, en las inmediaciones de esta localidad, forma un codo de 180°, es decir, invierte totalmente su sentido, y posteriormente otro de 90° hacia el Norte, cortando el *horst* de Arahetes; al llegar al nuevo *graben* de Caballar-La Matilla, forma un giro de 90°, pasando otra vez a ser subsecuente, hasta que desemboca en el río Cega en la localidad de Pajares de Pedraza.

- Captura del río del Puerto

Otro caso significativo es la captura de parte de la red fluvial tributaria del río Tajo por el río del Puerto (o Duratón), penetrando a través del accidente tectónico del Puerto de Somosierra y capturando once kilómetros cuadrados de la cabecera de la cuenca del río Grande de Horcajo. Ello se manifiesta en la existencia de codos de captura y rupturas en los perfiles longitudinales, originando la espectacular cascada del arroyo de la Peña del Chorro.

Inicialmente, la superficie de cumbres en este sector habría tenido un aspecto similar al conjunto de los Montes Carpetanos, con vergencia hacia el sur, presentando en su vertiente septentrional una ladera uniforme, a modo de 'paredón', y en la vertiente meridional, el desarrollo de una red, formada por cursos que seguirían esta vergencia (arroyo de Pedrizas, Peña del Chorro), que, tras su captura, pasarían a verter hacia el Duero.

Los mecanismos administrativos no lograron conciliar este problema geomorfológico; así si algo tenía de natural la división provincial de 1833 en este sector fue la elección de la divisoria de aguas como límite entre las provincias de Madrid y Segovia, límite a su vez de las dos grandes cuencas hidrográficas del Duero y del Tajo. Sin embargo, este detalle no fue considerado, de todo lo cual deriva el hecho de que este sector, administrativamente perteneciente a la Comunidad Autónoma de Madrid, tenga gobernadas sus aguas por la Confederación Hidrográfica del Duero.

I.4. REFERENCIAS

- Alcalá, L. (1982). Estudio sedimentológico de los arenales de Cuéllar (Segovia). *Estudios Geológicos*, XXVIII: 345-358.
- Alía Medina, M., Meléndez Amor, J. y Vidal Box, C. (1957). *Livret-Guide de l'excursion C3 en C4: Guadarrama, Massif de Peñalara et variation El Escorial-Manzanares el Real*. V Congrès International, INQUA, Madrid.
- Alonso, A. (1981). *El Cretácico del borde N del Sistema Central (provincia de Segovia)*. Seminarios de Estratigrafía, nº 7. Madrid.
- Areitio, A. y Quiroga, F. (1874). Excursión geológica por la provincia de Segovia. *An. Soc. Esp. Hist. Nat.*, III:333-344.
- Bardají, T., Centeno, J.D. y Sanz Santos, M.A. (1991). Geomorfología. En: *Mapa Geológico de España. Escala 1:50.000. Turégano (457)*. ITGE, Madrid.
- Bernaldo de Quirós, C. y Carandell, J. (1915). *Guadarrama*. Trabajos del Museo Nacional de Ciencias Naturales, Serie Geológica, 11.

- Biro, P. (1937).** Sur la morphologie de la Sierra Guadarrama Occidental. *Annales de Géographie*, 259:25-42. (trad. de C. Vidal Box en *Estudios Geográficos*, 6: 155-168, 1945)
- Biro, P. y Solé Sabarís, L. (1954).** *Investigaciones sobre morfología de la Cordillera Central Española*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid.
- Bravard, Y. (1966).** Notes morphologiques sur la Tierra de Pinares (province de Segovie, Espagne). *Rev. Geogr. Alpine*, 53: 245-264. Artículo traducido por M. de Pisón en *Estudios Geográficos*, XXVIII(102): 107-124, (1966).
- Brosche, K.U. (1978).** Formas actuales y límites inferiores periglaciares en la Península Ibérica. *Estudios Geográficos*, 39(151): 131-161.
- Brosche, K.U. (1982).** Formas periglaciares antiguas en la Península Ibérica. *Estudios Geográficos*, 43(166): 5-16.
- Bullón, T. (1977).** Los fenómenos periglaciares en la Sierra de la Mujer Muerta (Sierra de Guadarrama). *V Congreso de Geografía*, 35-40. Granada.
- Bullón, T. (1981).** Depósitos cuaternarios en las cuencas altas de los ríos Moros y Eresma. Sierra de Guadarrama. *VII Coloquio de Geografía*, T.I., 195-202. Pamplona.
- Bullón, T. (1988).** *El sector occidental de la Sierra de Guadarrama*. Consejería de Política Territorial, Comunidad de Madrid. Madrid.
- Bullón, T., López-Acevedo, V. y Rodríguez, J. (1978).** Consideraciones sobre el karst del cañón del Duratón (Segovia). *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat., Ser. Geol.*, 76:19-29.
- Calderón, S. (1897).** Excursión por el terreno cretácico de los alrededores de Segovia. *Act. Soc. Esp. Hist. Nat.*, XXVI: 91-99.
- Calonge, G. (1986).** Los variados testimonios geomorfológicos de diversos climas pleistocenos y holocenos en el sur de la provincia de Valladolid (cuenca del arroyo del Henar). En: F. López Vera (ed.), *Quaternary Climate in Western Mediterranean*, 45-59. UAM, Madrid.
- Calonge, G. (1987).** *El complejo ecológico y la organización de la explotación forestal en la tierra de pinares segoviana*. Diputación Provincial de Segovia, Segovia.
- Cascos, C.S. (1991).** *La Serrezuela de Pradales. Estudio geomorfológico*. Universidad de Valladolid, Valladolid.
- Centeno, J.D. (1982).** *Síntesis y clasificación geomorfológicas de la Sierra de Guadarrama*. Tesis de Licenciatura. Fac. Cienc. Geológicas, Univ. Complutense, Madrid. (inédito).

- Centeno, J.D., Pedraza, J. y Ortega, L.I. (1983).** Estudio geomorfológico, clasificación del relieve de la Sierra de Guadarrama y nuevas aportaciones sobre su morfología glacial. *Bol. R. Soc. Española His. Nat. (Geol.)*, 8(3-4): 153-171.
- Díez Herrero, A., y Martín Duque, J.F. (1993).** Fenómenos gravitacionales en el entorno de la ciudad de Segovia. Análisis de riesgos y aplicación a la Ordenación Territorial. En: R. Ortiz Silla (ed.), *Problemática Geoambiental y Desarrollo. Actas de la V Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*, 681-692. SEGAOT, Murcia.
- Díez Herrero, A., Pedraza, J. y Sánchez Vaquero, J. (1996).** *Fisiografía y paisaje de las hoces del río Duratón*. Guía de campo de la XII Bienal de la Real Sociedad Española de Historia Natural, Madrid.
- Dzulynski, K. and Pekala, L. (1980).** Bog cirques and solifluxion valleys in granitic rocks. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, 24: 219-235.
- Eraso, A., Graño, S. et al. (1980).** Estudio del karst del Cañón del Duratón (Segovia). *Kobie*, 10:1-127.
- Fernández García, P. (1988).** Evolución cuaternaria y sistemas de terrazas en la subfosa terciaria del Valverde del Majano y el Macizo de Santa María Real de Nieva (Segovia). *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Geol.)*, 84(1-2): 69-83.
- Fernández García, P. y Garzón, G. (1994).** Ajustes en la red de drenaje y morfoestructura en los ríos del centro-sur de la cuenca del Duero. En: J. Arnáez et al. (eds.), *Geomorfología en España*, 471-484.
- Fernández, P., Garzón, G. et al. (1987).** Ejemplo de clasificación y representación gráfica del territorio por unidades geomorfológicas. En: *III Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. Comunicaciones*, 1209-1225. GEGAOT, Valencia.
- Fernández García, P., Pedraza, J. et al. (1990).** Geomorfología. En: *Mapa Geológico de España. Escala 1:50.000. El Espinar (507)*. ITGE, Madrid.
- Fernández García, P., Centeno, J.D. et al. (1991).** Geomorfología. En: *Mapa Geológico de España. Escala 1:50.000. Valverde del Majano (482)*. ITGE, Madrid.
- Fernández Tabera, M. (1979).** *Avance al catálogo de cavidades de la provincia de Segovia*. Comité Regional Castellano-centro de Espeleología, Madrid.
- Fränze, O. (1959).** *Glaziale und periglaziale Forbildung im östlichen Kastilischen Scheidegebirge (Zentralspanien)*. Bonner Geographische Abhandlungen, 26. (Traducido en *Estudios Geográficos*, 1978, 39: 203-231 y 363-418).

- Gallardo, J., Álvarez, A.M. y Cala, V. (1987).** Suelos con fragipan: indicaciones de permafrost. *Actas VII Reunión sobre el Cuaternario*, 81-84. AEQUA.
- Galve, A. y Moreno Sanz, F. (1991).** Las hundas de Arcones. Evolución y riesgos. *Actas de la VIII Reunión Nacional sobre Cuaternario*.
- Garzón, M.G. (1980).** *Estudio geomorfológico de una transversal de la Sierra de Gredos Oriental (Sistema Central Español). Ensayo de una cartografía geomorfológica.* Tesis Doctoral, Facultad de C.C. Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- Garzón, M.G., Pedraza, J. y Ubanell, A.G. (1982).** Los modelos evolutivos del relieve del Sistema Central Ibérico (sectores de Gredos y Guadarrama). *Rev. R. Acad. Cienc. Exactas Fis. Nat.*, LXXVI: 475-496.
- Garzón, G., Centeno, J.D. y Acaso, E. (1991).** *Problemas geomorfológicos del centro y noroeste de la península Ibérica.* Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- Garzón, G. y Fernández García, P. (1993).** Las capturas fluviales de los ríos Voltoya, Zorita, Moros y Eresma. Sus implicaciones geológicas. En: *El Cuaternario en España y Portugal*, 2: 849-859, IGME, Madrid.
- Gladfelter, B.G. (1971).** *Meseta and Campiña landforms in central Spain. A geomorphology of the Alto Henares Basin.* The University of Chicago, Chicago.
- Hernández-Pacheco, F. (1923).** Las arenas voladoras de la provincia de Segovia. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, XXIII: 211-216.
- Hernández-Pacheco, F. (1925).** El glaciar cuaternario de tipo pirenaico de la Buitrera, Riaza (Segovia). *Congreso luso-español para el progreso de las ciencias*, 185-192. Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, Coimbra.
- Ibáñez, J.J., Gallardo, J. y Jiménez, R. (1986).** Revisión de los procesos paleoclimáticos plio-cuaternarios en el sector oriental del Sistema Central: Somosierra-Ayllón (España). En: F. López Vera (ed.), *Quaternary Climate in Western Mediterranean*, 95-109. Universidad Autónoma, Madrid.
- López Vera, F. y Pedraza, J. (1976).** Síntesis geomorfológica de la cuenca del río Jarama en los alrededores de Madrid. *Estudios Geológicos*, 32:499-508.
- Macpherson, J. (1893).** Fenómenos glaciares en San Ildefonso (Segovia). *Actas de la Sociedad Española de Historia Natural*. XXII: 144-147.
- Martín Duque, J.F. (1992).** Nuevos datos sobre el glaciarismo pleistoceno en la Sierra de Guadarrama: los glaciares del arroyo de las Pozas y del arroyo del Chorro, y el circo

pantanosos (bog cirque) de las Regajeras. En: F. López Bermúdez *et al.* (eds.), *Estudios de Geomorfología en España*, 393-401. SEG, Murcia.

Molina, E. y Armenteros, I. (1986). Los arrasamientos plioceno y plio-pleistoceno en el sector suroriental de la cuenca del Duero. *Studia Geologica Salmantica*, XXII: 293-307.

Moreno Sanz, F. (1989). *Zonas kársticas en la vertiente N de la Sierra de Guadarrama*. Tesis Doctoral, Fac. Geografía e Historia, Universidad Complutense de Madrid, Madrid.

Moreno Sanz, F. y Sanz Donaire (1983). Estudio de los sedimentos fluviales en conductos kársticos de Prádena de la Sierra (Segovia). *Actas del VI Coloquio de Geografía*, 73-80. AGE, Palma de Mallorca.

Obermaier, H. y Carandell, J. (1917). *Los glaciares cuaternarios de la Sierra de Guadarrama*. Trabajos del Museo Nacional de Ciencias Naturales. Serie Geológica, 19, Madrid.

Ontañón, J.M. y Asensio, I. (1974). El circo nivoglaciario del collado de Siete Picos en la Sierra de Guadarrama. Trabajos sobre Neógeno-Cuaternario. Inst. Lucas Mallada, C.S.I.C. *Actas de la I Reunión Nacional del Grupo de Trabajo del Cuaternario*. volumen 2, pp. 113-117, Madrid.

Palomares, M., Garzón, G. y Fernández, P. (1992a). Evolución de la sedimentación fluvial durante el Pleistoceno en la Depresión de Valverde del Majano (Segovia). *Actas III Congreso Geológico de España y VIII Congreso Latinoamericano de Geología*, 2:82-86. Salamanca.

Palomares, M., Garzón, G. y Fernández, P. (1992b). Textura y composición de los depósitos fluviales de la depresión de Valverde de Majano (Segovia) como indicadores de los cambios morfológicos y de red de drenaje. *Estudios Geológicos*, 48:111-121.

Pedraza, J. (1978). *Estudio geomorfológico de la zona de enlace entre las sierras de Gredos y Guadarrama (Sistema Central Español)*. Tesis doctoral. Universidad Complutense, Madrid.

Pedraza, J. (1989a). El relieve del Sistema Central Español. En: V. Bielza de Ory (ed.), *Territorio y Sociedad en España, I, Geografía Física*, 52-70. Taurus, Madrid.

Pedraza, J. (1989b). El Sistema Central. En: A. Pérez-González *et al.* (coord.), *Mapa del Cuaternario de España*, 163-173, ITGE, Madrid.

Pedraza, J. (1994a). Sistema Central. En: M. Gutiérrez Elorza (ed.), *Geomorfología de España*, 63-100. Rueda, Madrid.

Pedraza, J. (1994b). Los modelos genético-evolutivos del Sistema Central Español: implicaciones morfotectónicas. *Cuad. Lab. Xeol. Laxe*, 19:91-118.

- Pedraza, J. (1994c).** Periglaciario del Sistema Central. En: A. Gómez Ortiz *et al.* (eds.), *Periglaciario en la Península Ibérica*, 147-164. Monografías de la SEG, 7, Granada.
- Pedraza, J. y López, J. (1980).** *Gredos. Geología y glaciario*. Madrid.
- Pedraza, J. y Fernández, P. (1981).** Terciario y cuaternario de Bohoyo y Arenas de San Pedro. En *Mapa Geológico de España*, E. 1:50.000, Hojas nº577 y 578.
- Pedraza, J. y Centeno, J.D. (1987).** Nuevo foco glaciario pleistoceno en la Sierra de Guadarrama. *Actas VII Reunión sobre el Cuaternario*, 183-186. AEQUA.
- Pedraza, J., Centeno, J. et al. (1987).** Círculos de piedra e hidrolacólitos actuales en el Sistema Central Español. En: *Actas VII Reunión sobre el Cuaternario*, 187-190, AEQUA.
- Pedraza, J., Centeno, J. y Acaso, E. (1989).** *Macizo de Peñalara*. Excursión C-1, 2ª Reunión del Cuaternario Ibérico, AEQUA-GTPEQ, Madrid.
- Pedraza, J., Villasante, R. et al. (1990).** Geomorfología. En: *Mapa Geológico de España. Escala 1:50.000. Cercedilla (508)*. ITGE, Madrid.
- Pedraza, J., Bardají, T. et al. (1991).** Geomorfología. En: *Mapa Geológico de España. Escala 1:50.000. Segovia (483)*. ITGE, Madrid.
- Pedraza, J., Carrasco, R.M. et al. (1996a).** *Geomorfología. Principios, Métodos y Aplicaciones*. Rueda, Madrid.
- Penck, A. (1894).** Das Klima Spaniens während der jüngeren Tertiärperiode und der Diluvialperiode. *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin*.
- Portero, J.M. y Aznar, J.M. (1984).** Evolución morfotectónica y sedimentación terciaria en el Sistema Central y cuencas limítrofes (Duero y Tago). *I Congreso Español de Geología*, III, 253-263. Segovia.
- Prado, C. de (1854).** Note sur la constitution geologique de la province de Segovia. *Bull. Soc. Geol. France*, 11(2):330-338.
- Prado, C. de (1864).** *Descripción física y geológica de la provincia de Madrid*. Junta general de Estadística, Madrid. (reedición facsímil a cargo del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, en 1975).
- Sanz Donaire, J.J. (1976).** Más huellas glacionivales en los Montes Carpetanos al este del Puerto de Lozoya (Provincia de Madrid). *Bol. Real Soc. Geogr.*, 112: 519-534.

Sanz Herraiz, C. (1977). Morfología glaciaria en la Sierra de Guadarrama (Peñalara-Los Pelados). En: *Medio físico, desarrollo regional y Geografía*, 49-55. V Coloquio de Geografía, Granada.

Sanz Herraiz, C. y Campoamor, A. (1981). La organización del paisaje en los valles de la vertiente N. del Sistema Central. En: *El espacio geográfico de Castilla la Vieja y León, Actas del I Congreso de Geografía de Castilla la Vieja y León*, 77-97. Consejo General de Castilla y León. Valladolid.

Sanz Santos, M.A., Centeno, J.D. et al. (1991). Geomorfología. En: *Mapa Geológico de España. Escala 1:50.000. Prádena (458)*. ITGE, Madrid.

SEII -Sección de Espeleología de Ingenieros Industriales- (1981). El karst de Prádena (Segovia). *Jumar*, 5: 91-102.

Schwenzner, J.E. (1937). Zur Morphologie des Zentral-spanischen Hochlandes. *Geographische Abhandlungen*, 10, Stuttgart (trad. por C. Vidal Box en el *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, 41:121-147, 1943).

Solé Sabarís, L. (1952). Geografía Física de España. En: M. de Terán, (ed.), *Geografía de España y Portugal*, tomo I, Montaner y Simón, Barcelona.

Tanarro, L.M. (1994). Morfología de cárcavas sobre el Mioceno situado entre el piedemonte genésico-calcareo de Pedraza-Prádena y el macizo calcáreo de Sepúlveda (Segovia). En: J. Arnáez-Vadillo et al. (eds.), *Geomorfología en España*, 105-115, SEG, Logroño.

Tanarro, L.M. (1995). *El modelado de los valles de los ríos San Juan y Castilla, afluentes al río Duratón (Segovia)*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Geografía e Historia, UCM, Madrid.

Tanarro, L.M. (1996). El modelado de las laderas del cañón de Casla (Segovia): los abrigos o balmas y su significado geomorfológico. En: A. Grandal y J. Pagés (eds.), *IV Reunión de Geomorfología*, 361-374, SEG, O Castro (A Coruña).