

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS GEOLÓGICAS

Departamento de Geodinámica



**DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE UN
PROCEDIMIENTO DIGITAL PARA LOS ANÁLISIS
MORFOGRÁFICOS**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Miguel Ángel Sanz Santos

Bajo la dirección del doctor

Javier de Pedraza Gilsanz

Madrid, 2001

ISBN: 84-669-1786-1

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE CIENCIAS GEOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE GEODINÁMICA**



**Desarrollo y validación de un procedimiento
digital para los análisis morfográficos**

Tesis Doctoral

Miguel Ángel Sanz Santos

Marzo 2001

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE CIENCIAS GEOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE GEODINÁMICA



Desarrollo y validación de un procedimiento digital para los análisis morfográficos

Tesis Doctoral

Miguel Ángel Sanz Santos

Marzo 2001

Director:

Javier de Pedraza Gilsanz
Departamento de Geodinámica
Facultad de Ciencias Geológicas
Universidad Complutense de Madrid



Esta Memoria es presentada por Miguel Ángel Sanz Santos para optar al grado de Doctor en Ciencias Geológicas. Ha sido realizada bajo la dirección del Dr. Javier de Pedraza Gilsanz en el Departamento de Geodinámica de la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid,.

Madrid, Marzo de 2001

El Doctorando

El Director de la Tesis

Miguel Ángel Sanz Santos

Javier de Pedraza Gilsanz

AGRADECIMIENTOS

Al terminar esta Tesis Doctoral, deseo dejar constancia de mi agradecimiento a las numerosas personas que de uno u otro modo han hecho posible su realización.

Mi mayor gratitud se la dedico a Javier de Pedraza, por su dedicación, apoyo y sobre todo amistad; por poner de su parte el conocimiento en los diferentes campos que abarca el estudio de la Geomorfología, su constancia temporal y por aportar una visión objetiva de la realidad.

La ayuda de José Francisco Martín Duque, Rosa M^a Carrasco, José María Bodoque y Massimo Mattera , ha sido imprescindible para la consecución de este trabajo y por ello les estoy enormemente agradecido; espero que los resultados se correspondan con su gran esfuerzo. También quiero recordar la ayuda del resto de los compañeros del Departamento de Geodinámica (5^a planta).

Al conjunto de profesores y personas de los servicios generales de la Facultad de Ciencias Geológicas, en especial al grupo decanal, por sus muestras de ánimo a lo largo de la etapa final de esta Tesis.

Andrés Díez y Juan Tomás Vázquez por mantener una amistad a prueba de tesis y estar dispuestos en cualquier momento a hablar, no solo de los problemas derivados de la realización de una obra como ésta, sino también de otros temas más cotidianos.

Mi más sincera gratitud a Ángel Salvador Muñoz, compañero del Aula de Informática y Cartografía Automática, por su apoyo incondicional y por ocuparse de la gestión del laboratorio durante los últimos meses; gracias por dedicar a esa actividad más tiempo del que le marcan sus obligaciones y cederme a mí el que necesitaba para la conclusión de esta Tesis.

También deseo recordar aquí a mis familiares más cercanos, padres, hermanos, sobrinos, cuñadas/os, tíos y primos por su constancia y ánimos; en especial a mis padres por su continuo apoyo y el haber creído en mí siempre.

Muchos nombres se me quedarán en el tintero, pido perdón por no recordarlos y mencionarlos aquí; para ellos mi reconocimiento y gratitud por haber aportado, aunque solamente fuera un aliento, a la conclusión de este trabajo.

Por último, deseo expresar mi más profundo agradecimiento y cariño a Aurora, compañera y consejera; sin su estimable ayuda y perseverancia me hubiera sido muy difícil la concluir esta Tesis. Ella me ha animado en todo momento, aportando no solo conocimiento sino también compañía, alentando el esfuerzo que ha supuesto el trabajo a lo largo de estos años. A ella y a nuestros hijos, María y David, deseo dedicar esta Tesis, espero que el esfuerzo haya merecido la pena.

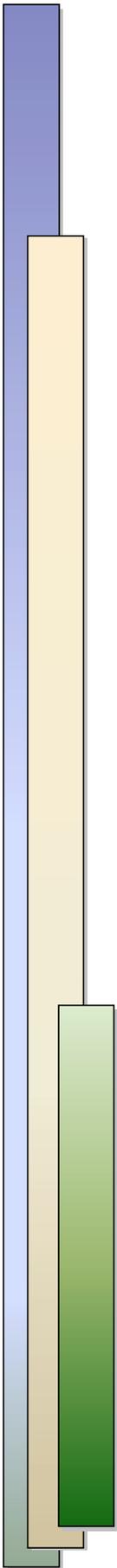
Gracias a todos.

Índice:

I.– Bases teóricas y metodológicas	1
I.1.– Introducción	3
I.1.1.– Problemática e hipótesis de partida	3
I.1.2.– Objetivos	5
I.1.3.– Metodología y desarrollo	6
I.2.– La Morfografía: conceptos y principales enfoques	11
I.2.1.– La Morfometría	14
I.2.2.– La Fisiografía	15
II.– Desarrollo de un procedimiento para los análisis morfométricos del relieve mediante técnicas digitales	19
II.1.– El método de referencia para los análisis morfométricos	21
II.1.1.– Planteamiento	21
II.1.2.– Los elementos del análisis	23
II.1.2.1.– Los puntos singulares	23
II.1.2.2.– Las líneas: perfiles morfométricos	24
II.1.2.2.a.– Topologías y escalas de pendiente	25
II.1.2.2.b.– Articulaciones entre segmentos de pendientes a lo largo del perfil topográfico	26
II.1.2.3.c.– Variaciones y contrastes entre segmentos a lo largo del perfil	28
II.1.2.3.– Superficies: articulaciones entre perfiles	32
II.2.– La discretización del relieve: los modelos digitales de elevación y sus derivados	36
II.2.1.– El muestreo de los valores de partida	37
II.2.2.– Separación de mallado y escala de trabajo	38
II.2.3.– Métodos de interpolación	42
II.2.3.1.– Inversa de la distancia	42
II.2.3.2.– Estimación de superficie de tendencia	42
II.2.3.3.– Métodos geoestadísticos	43
II.2.3.4.– Métodos basados en triangulación	45
II.2.4.– Corrección de errores	45
II.2.5.– La obtención de mapas derivados	46
II.2.5.1.– El gradiente topográfico	46
II.2.5.2.– La Pendiente	47

II.2.5.3.– La curvatura	57
II.2.5.4.– Rugosidad	58
II.2.5.5.– La orientación	63
II.2.5.6.– Desarrollo del segmento	64
II.2.5.7.– Energía del relieve	64
II.2.5.8.– Tendencia del relieve	71
II.2.5.9.– Sentido de la inclinación	72
II.2.5.10.– Carácter del segmento	78
II.2.5.11.– Mapa morfométrico	78
II.2.5.12.– Mapa de tipologías	80
II.2.5.13.– Articulaciones	87
II.3.– Modelo de análisis morfométrico, una aplicación soportada bajo SIG	93
II.3.1.– Primera fase del tratamiento, selección de intervalos de pendiente	95
II.3.2.– Segunda fase del tratamiento. Separación de unidades	100
II.3.2.1.– Grupo de planicies y vertiente	105
II.3.2.2.– Grupo de relieves	112
II.3.2.3.– Grupo de enlaces	117
II.3.3.– Tercera fase de tratamiento: elementos destacables o fisonomías características	118
III.– Validación del procedimiento. Análisis morfográfico en las zonas de San Martín de Valdeiglesias y la Pedriza del Real de Manzanares y su entorno	147
	149
III.1.– Introducción	150
III.2.– Contexto general	150
III.2.1.– Fisiografía	156
III.2.2.– Climatología	159
III.2.2.1.– La distribución de precipitaciones y las temperaturas	161
III.2.2.2.– Las clasificaciones climáticas	163
III.2.2.3.– Valoración morfoclimática	166
III.2.3.– Hidrografía	170
III.2.4.– Encuadre geológico	172
III.2.4.1.– Litología	173
III.2.4.2.– Tectónica	177
III.2.5.– Encuadre geomorfológico	180

III.3.– Unidades del relieve	180
III.3.1.– Introducción	185
III.3.2.– Descripción de unidades	185
III.3.2.1.– Planicie de cumbres	187
III.3.2.2.– Planicie de paramera	189
III.3.2.3.– Pediment superior	192
III.3.2.4.– Pediment inferior	195
III.3.2.5.– Vertientes de sustitución del pediment inferior	197
III.3.2.6.– Laderas y escarpes	200
III.3.2.7.– Depresiones corredor	202
III.4.– Contribución del tratamiento al análisis geomorfológico regional	202
III.4.1.– El tratamiento de la Información morfométrica	202
III.4.1.1.– Los grupos	203
III.4.1.2.– Las unidades	203
III.4.1.2a.– Grupo de planicies y vertientes	203
III.4.1.2.b.– Grupo de relieves	210
III.4.1.2.c.– Grupo de enlaces	215
III.4.1.3.– Los elementos	229
III.4.2.– Precisiones teóricas y cartográficas al análisis geomorfológico derivados del tratamiento morfométrico	229
III.4.2.1.– Respecto a las superficies	231
III.4.2.2.– Respecto a los relieves residuales	243
III.4.2.3.– Caracterización de la superficie intermedia o “de sabana”	247
III.4.2.4.– Respecto a las laderas	250
III.4.2.5.– Precisiones finales	259
IV.– Síntesis y conclusiones	267
V.– Bibliografía	281
VI.– Anexo I: Proyecto cartográfico y cartografía	293
VII.– Anexo II: Programa Pendientes	305
VIII.– Anexo III: Fichas Hídricas y gráficos climáticos	



I.- Bases Teóricas y Metodológicas

I.1.- Introducción

I.1.1. - Problemática e hipótesis de partida

El objetivo básico de la Geomorfología es el análisis de las formas de la superficie terrestre e incluso, como ha ocurrido en las últimas décadas, la superficie de otros planetas.

Para cumplir ese objetivo, es fundamental establecer la configuración geométrica del terreno, es decir, su morfografía. Partiendo de ella y aplicando las oportunas correspondencias con los agentes de la dinámica terrestre, se llegan a establecer la morfogénesis y la evolución de las formas.

Durante la primera mitad del siglo XX y de acuerdo con el modelo más generalizado, el que propusiera Davis (1899) en su Ciclo Geográfico, los estudios geomorfológicos se plantearon mayoritariamente a escala regional y con un contenido evolutivos. A pesar de ello, empezaba ya a desarrollarse una tendencia analítica o de los procesos, cuyos fundamentos aparecen en los trabajos realizados por G. K. Gilbert durante las dos últimas décadas del siglo XIX; a él se deben una serie de conceptos básicos sobre el modelado fluvial, concretados en cinco leyes:

“... ”

- **Ley de la estructura:** *a igualdad de acción, la escultura progresa más fácilmente en las rocas menos resistentes.*
- **Ley de la estructura y la pendiente:** *la capacidad de los agentes erosivos para esculpir el terreno, es tanto mayor cuanto mayor es la pendiente.*
- **Ley de la estructura y la igualdad de la acción:** *la erosión depende de la resistencia de los materiales y la pendiente.*
- **Ley de las divisorias:** *la relación entre pendiente y caudal es inversa; a mayor caudal, menor pendiente necesaria para su flujo.*
- **Ley de la igualdad de acción e interdependencia:** *cada uno de los elementos del sistema erosivo influye a los otros; una variación*

local, se propaga a todo el sistema hasta establecer el equilibrio dinámico.

...”

(G. K. Gilbert 1880)

A tenor de estos planteamientos, irán consolidando dos escuelas bien definidas: una más descriptiva y geográfica, dedicada a los estudios del paisaje (la fisiográfica); y otra más analítica enfocada al estudio de los procesos (la genética).

A comienzos del siglo XX, tanto los trabajos de la escuela fisiográfica como los de la genética hacen referencia a la morfografía como el elemento base de las clasificaciones, dando a esta rama de la geomorfología un amplio avance. En la escuela fisiográfica surgen autores como Powell (1896), Salisbury (1907), Fenneman (1916, 1928), Passarge (1919-1921) o los españoles Hernández-Pacheco (1934, 1944-1956) y Dantín Cereceda (1912, 1922, 1942), que establecen las bases de los estudios del paisaje; en la escuela analítica son Horton (1932, 1945) y Strahler (1950) los pioneros de una clara tendencia “cuantitativa” o morfométrica, que rápidamente se polariza hacia cada uno de los procesos que generan la forma del terreno.

En la década de los años 1960 aparecen lo que se ha dado en denominar “estudios del medio físico” y en los que la geometría del terreno, uno de los elementos básicos de la configuración del territorio, pasa a tener gran importancia. Este desarrollo inicial se ha centrado en la obtención de los mapas derivados de la altimetría, sin profundizar en las aportaciones que la información morfográfica puede proporcionar sobre las fisionomías que configuran el paisaje.

En el caso de las Ciencias de la Tierra, la informática ha facilitado la creación de herramientas destinadas a la gestión de grandes cantidades de información procedente de distintos medios, así como la creación de lo que actualmente se conoce como Modelos Digitales del Terreno¹ (MDT).

El uso de los MDT en los “estudios del medio físico” y en particular los Modelos Digitales de Elevación (MDE), ha propiciado en la última década del siglo XX la reaparición de los análisis morfométricos y el desarrollo de las clasificaciones fisiográficas. Pero, como hemos señalado, en casi todos los casos se han dirigido mayoritariamente a la obtención de mapas derivados, sin otro criterio que el de servir como un elemento más de la clasificación fisiográfica final; esta escasa profundización en

1.- Se entiende como Modelo Digital del Terreno un conjunto de datos numéricos que describen la distribución de una característica del territorio (Doyle 1978).

el análisis de los MDE y sus derivados, ha truncado las expectativas iniciales de conseguir una metodología de medición y análisis geométrico de las formas del terreno. De hecho, los resultados se limitan a la obtención de las derivadas primera y segunda del modelo digital de elevaciones, es decir, el valor de pendiente y la cuantificación de la curvatura, así como una serie de modelos asociados a estos valores.

Investigaciones como la desarrollada por W. F. Wood (1914-1971), pionero en los análisis de los MDT y aun no muy bien comprendido en nuestros días, marcan un camino hacia la profundización en el cálculo y el desarrollo de procedimiento de análisis, cuantificación y abstracción de formas y procesos en base a los MDT; ésta es nuestra base de partida y en su objetivo se centrará esta Tesis.

I.1.2.- Objetivos

Los objetivos generales que se pretenden con este trabajo son fundamentalmente dos: el primero es recuperar una serie de técnicas del análisis geomorfológico y, sobre su base, proponer unos métodos que permitan discretizar el relieve en función de un modelo digital, con unos criterios de escala y de búsqueda de formas; el segundo, que se apoya en el anterior, es elaborar unos criterios de clasificación fisiográfica mediante el tratamiento digital de la información.

Se busca por tanto desarrollar una serie de técnicas que, partiendo de una representación del relieve (MDE), nos permitan aproximar un modelo basado en la discretización del mismo y que aporte criterios para la clasificación del territorio, tanto a escala regional como a escala de proyecto.

Tomando como punto de partida el desarrollo teórico-metodológico anterior, se pretende igualmente validar el modelo. Para ello se aplicará a unas zonas con morfologías específicas; de acuerdo con ello, a los objetivos generales hay que asociar otros concretos y aplicados, que tratan de resolver problemas geomorfológicos en un área geográfica específica. Así:

- A “gran escala” el problema planteado es eminentemente “evolutivo” o histórico. Se han elegido, por tanto, unidades geomorfológicas de ámbito regional; es el caso de las superficies de erosión presentes en el Sistema Central. Aquí se investigará la vertiente meridional de la zona de enlace entre las Sierras de Gredos y Guadarrama, donde hay planteados problemas referentes a la existencia o no de una superficie de erosión intermedia entre las parameras y la rampa, y que ya han sido señaladas por diversos autores (por ejemplo: Pedraza, 1978; Cabra, 1981; Centeno, 1983 y 1988; Sanz, 1988, etc.)

- A “escala media y de detalle”, se trata de establecer métodos de identificación y clasificación de las geometrías específicas de elementos y unidades geomorfológicas. El caso particular se desarrolla para formas originadas sobre rocas graníticas, más concretamente las denominadas mega-formas: domos en general, lanchares, berrocales, etc.

Por tanto, este estudio se plantean desde dos perspectivas diferentes, aunque con un mismo fin: un primer paso es la elaboración de una metodología general para los análisis geomorfológicos, y otro su validación aplicándola a una serie de problemáticas geomorfológicas en las que se viene trabajando desde hace varios años.

De acuerdo con lo dicho previamente, el objetivo fundamental de este trabajo es el desarrollo de un método para la obtención de datos morfométricos aptos para realizar un análisis morfográfico del relieve. Para ello se partirá de la separación de los posibles mapas derivados, y sobre la base del modelo digital del terreno y de las posibles combinaciones entre ellos. El resultado obtenido será la base de un sistema de clasificación fisiográfica con el que obtendremos las relaciones espaciales entre los diferentes elementos que conforman el paisaje. Este procedimiento permitirá: precisar la delimitación de elementos y unidades que constituyen el análisis geomorfológico, realizar un análisis detallado de la morfografía, y realizar una clasificación de las formas del terreno en la que no intervengan parámetros genéticos o evolutivos.

La combinación de esta metodología con la estandarizada en los estudios geomorfológicos, aportará nuevos datos para la explicación de la génesis de los elementos constitutivos del relieve; además el análisis contextual de las relaciones espaciales permitirá la ubicación temporal de las diferentes unidades geomorfológicas.

Por último, utilizando distintas escalas de trabajo y aplicando las técnicas propuestas, comprobaremos las cualidades de ajuste del modelo planteado y podremos valorar, al situar diferentes condiciones ambientales de las zonas reales consideradas, si el modelo está exento o no de las condiciones evolutivas y genéticas que han dado lugar a las diferentes formas del terreno consideradas en el análisis.

I.1.3.- Metodología y desarrollo

De acuerdo con los objetivos marcados, la metodología seguida en esta Tesis se divide en dos partes. La primera de ellas se centra en la generación de un procedimiento general para el análisis de datos morfométricos. La segunda trata de inte-

grar dicho procedimiento en los estudios geomorfológicos como una fuente de información más; para ello, se aplica el modelo propuesto a una serie de problemas concretos. Esta segunda parte es, a la vez, un método de validación de dicho modelo.

En general, esta metodología se basa en el análisis primario de los contrastes del relieve y, concretamente, en la identificación de los cambios de pendiente que presentan la superficie del terreno, su continuidad y su grado de variación.

En el desarrollo de la primera parte, se han seguido las siguientes etapas para la obtención del modelo final.

- Delimitación de los elementos básicos de análisis: en este punto se ha realizado un pequeño estudio del comportamiento de la pendiente y cuáles son los elementos destacables y medibles que podemos extraer, así como las variaciones que deben considerarse para establecer los criterios de separación entre los distintos subdivisiones que, con posterioridad, darán lugar a criterios de clasificación. Esta primera fase sirve para determinar los elementos puntuales, lineales y superficiales que conforman primariamente el relieve.
- Discretización del relieve: el procedimiento de análisis se basa en un modelo discreto de la superficie del terreno, cuya precisión dependerá del tipo de formas a analizar y de la escala de trabajo. En esta fase se pretende comparar los métodos de generación de los modelos digitales del terreno, haciendo un estudio de cada uno de ellos para seleccionar aquel que represente mejor las características del territorio.
- El siguiente paso ha sido la extracción de los elementos derivados del modelo digital (pendiente, energía del relieve, curvatura, orientación, rugosidad y convexidad) y su valoración para el análisis de las formas.
- Todo lo extraído individualmente se ha combinado buscando la simplificación del relieve y la obtención de unidades homogéneas por su fisionomías, lo que permite la división y síntesis de la orografía en grupos de elementos con características similares.
- Por último, se han elaborado una serie de aplicaciones informáticas que permiten extraer de forma automática el conjunto de elementos descriptivos del relieve y facilitan su portabilidad a programas de gestión de Sistemas de Información Geográfica.

Junto a la validación del métodos propuesto se ha planteado la resolución de problemas geomorfológicos a diferentes escalas de trabajo, lo que permite la generalización del mismo.

En los niveles en que se realiza la valoración, se partirá de los postulados geomorfológicos básicos y se les aplicarán los procedimientos informáticos desarrollados en la parte metodológica, y así se procederá al ajuste final del modelo propuesto. El método seguido y sus correspondientes etapas, que serán detalladas en apartados ulteriores de esta Tesis, aparecen resumidas en el Esquema I.1.

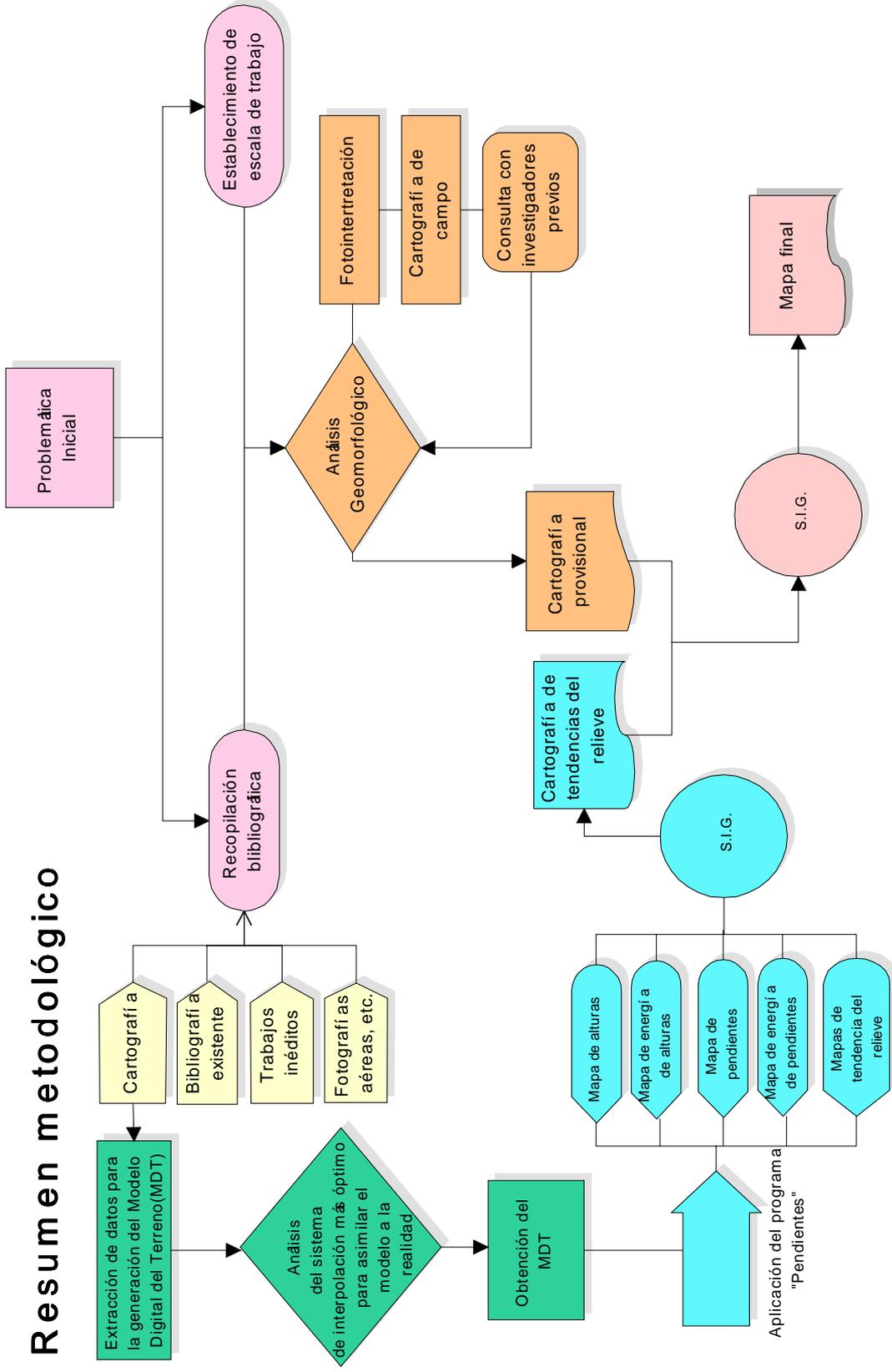
Para obtener la cartografía geomorfológica se han seguido las técnicas habituales de estos casos: trabajos de campo, fotointerpretación, y la revisión de cartografías ya realizadas sobre la zona. Este análisis ha dado como resultado un mapa geomorfológico previo, que sigue una clasificación del relieve jerarquizada; dicho mapa es el punto de partida para la discusión de una serie de problemas geomorfológicos, y que tienen cierta importancia en el conjunto del Sistema Central.

Paralelamente a la elaboración de la cartografía geomorfológica se ha realizado un Modelo Digital del Elevación (MDE), cuya precisión es acorde con la escala de trabajo del mapa geomorfológico provisional. Para la modelización se han ensayado varios métodos de interpolación, seleccionando el que mayor ajuste ha dado con el mapa topográfico a escala 1:50.000 del Servicio Geográfico del Ejército. El análisis de este MDE se ha realizado con un programa informático que hemos elaborado al efecto; esto ha permitido generar un conjunto de mapas derivados (pendientes, energía del relieve, energía de pendientes, alturas, ...), así como obtener mapas de tendencias del relieve, técnica que nos permite analizar el MDE punto a punto.

Una vez implementados todos los mapas, se han incluido como parte de un Sistema de Información Geográfica basado en Idrisi, para poder operar con ellos y obtener mapas de segunda generación. En estos mapas derivados, la información se simplifica en función de criterios morfográficos para obtener un mapa resumen de las morfografías del territorio; en él quedarán representadas las unidades principales y los elementos del territorio, siempre en función de la escala de trabajo.

Una vez realizado todo el modelo informático, se ha cruzado con el mapa geomorfológico previo para comprobar la coherencia de los datos. El cruce de los datos y las nuevas incógnitas derivadas del proceso han sido a su vez comprobadas en campo, permitiendo de este modo manifestar lo que cada uno de los modelos aporta al conocimiento morfográfico del territorio.

Resumen metodológico



Esquema I.1: Resumen metodológico del desarrollo de la Tesis Doctoral.

El resultado de todo el procedimiento de análisis aparece integrado en un *mapa geomorfológico final*, obtenido mediante los datos del Sistema de Información Geográfica, la cartografía de campo y la fotointerpretación.

De acuerdo con lo anterior el desarrollo del trabajo puede resumirse como sigue:

1ª Fase.

- Establecer los conceptos básicos y las definiciones de los parámetros elementales que servirán para la obtención de las unidades y elementos morfométricos.
- Obtener una representación fiable de la superficie del terreno.
 - Análisis de las metodologías de obtención de datos.
 - Discriminar la técnica de tratamiento más idónea para la modelización de la superficie del terreno.
 - Interpolación y corrección de errores.
- Obtener los mapas derivados del MDE que conforman parámetros singulares del relieve.
 - Separar los elementos fundamentales del paisaje desde el punto de vista morfométrico.
 - Calcular los parámetros derivados básicos, tanto cuantitativos como cualitativos.
- Delimitar las unidades y elementos morfométricos constitutivos del paisaje.
 - Separar los grupos fundamentales.
 - Dividir en unidades los grupos anteriores y puntualizar la unidades que requieran más precisión.
 - Extraer los elementos singulares del relieve independientemente de las unidades.
 - Obtener por superposición el mapa morfométrico final.

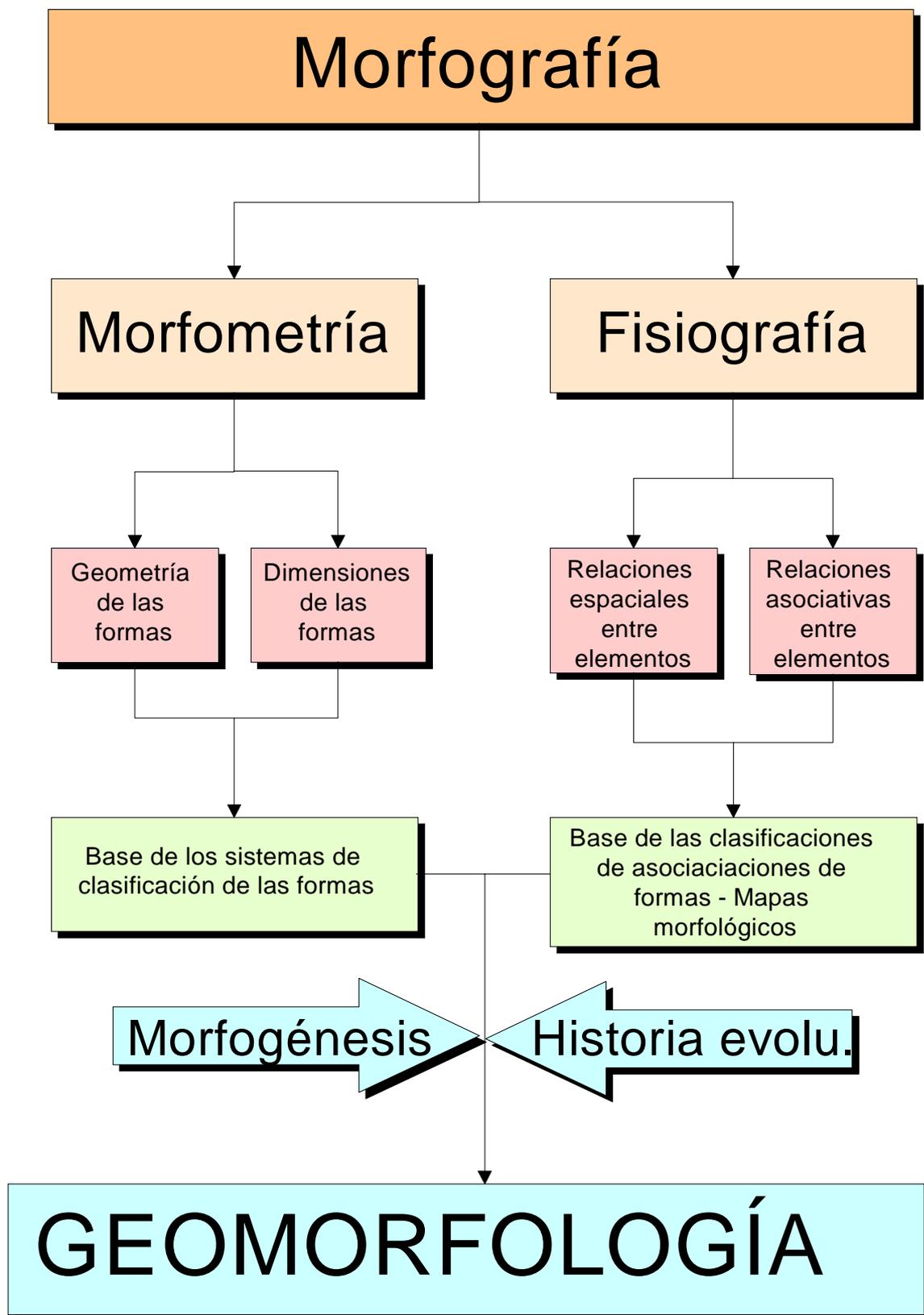
2ª Fase.

- Establecer las problemáticas de partida en base a las incógnitas geomorfológicas a estudiar.
- Desarrollar la cartografía geomorfológica de las áreas de estudio desde todas las técnicas estándar de los estudios geomorfológicos.
- Cruzar los resultados obtenidos en la 1ª fase con los de la etapa anterior ajustando así las cartografías y determinando el grupo de criterios morfométricos que aporten información a los problemas planteados desde la perspectiva geomorfológica.
- Obtener una cartografía única, que englobe todos los criterios de análisis morfométrico y geomorfológico del entorno de estudio.

Pretendemos pues aportar una serie de técnicas que posibiliten la obtención de elementos y unidades morfográficas, ayudando así a resolver ciertos problemas asociados con las relaciones espaciales entre diferentes elementos constitutivos del paisaje. Estas relaciones y el dimensionamiento de las formas, tanto mayores como menores en función de la escala de trabajo, permitirán la obtención de cartografías morfométricas y la calcificación de las mismas desde el punto de vista geométrico.

I.2- La Morfografía: concepto y principales enfoques

Etimológicamente la Morfografía se ocupa de la representación y descripción de las formas del terreno; podríamos decir que es la parte geográfica de la geomorfología (Esquema I.2). Teniendo en cuenta lo anterior y en tanto que la geografía se ocupa de las relaciones e interrelaciones entre los elementos que configuran la superficie terrestre, por extensión también la Morfografía desarrolla ese cometido en lo referente a las formas terreno. Esta parte de la Geomorfología siempre se ha encontrado ligada a los aspectos descriptivos, de clasificación y de inventario de las formas. Aunque la morfografía es el análisis básico y primario para catalogar las diferencias que conforman el paisaje, en los últimos años sus aportaciones han ido relegándose a un segundo plano al quedar dispersas en los diferentes estudios genéticos y evolutivos.



Esquema I.2: Objetivos, ramas y aportaciones de la Morfografía dentro del campo de la Geomorfología

De acuerdo con lo anterior, estamos ante un conjunto de técnicas, procedimientos y métodos de análisis, útiles para establecer la configuración del relieve y las relaciones espaciales entre cada uno de sus elementos constitutivos. Por tanto, también podría decirse que la Morfografía es la “matemática” de las formas del terreno, ya que considera sus aspectos aritméticos, topológicos y geométricos; los primeros dan información sobre las dimensiones de las formas del terreno, los segundos sobre sus relaciones espaciales y los terceros sobre los tipos de formas que presentan los diferentes relieves que constituyen el paisaje. Ciertamente, los análisis morfográficos se realizan a partir de abstracciones más o menos complejas del relieve terrestre; esto permite simplificar la orografía real del terreno en un modelo y así poder procesarla como base general de aplicación en Geomorfología.

Los fundamentos básicos que conformaron la Morfografía, fueron matizándose con el tiempo, y ésta perdió su significado globalizador para dar paso a especialidades. Los análisis topológicos se orientaron hacia la cartografía y los aritméticos a la cuantificación de determinados procesos genéticos; esto favoreció el abandono de los primeros postulados y la Morfografía se hizo subsidiaria de otras ramas de la Geomorfología. Tal es así, que hoy es frecuente encontrar referencias que aluden a una Morfografía general (la clásica) y unas morfografías específicas (Morfografía fluvial, Morfografía glacial, etc.), que en conjunto suelen constituir lo que también se refiere como Geomorfología Cuantitativa.

Aunque durante las últimas décadas apenas se han tratado estos temas desde una perspectiva conceptual y metodológica, en la práctica la mayoría de los trabajos de geomorfología deben comenzar estableciendo “la geometría del terreno”; es evidente, por tanto, que los análisis morfográficos clásicos (de Morfografía general) son primordiales. Incluso si se hacen mapas geomorfológicos genéticos, lo previo es una cartografía morfográfica a la que posteriormente se le asignan los atributos genéticos y en muchos casos los cronológicos.

Este método de trabajo que, podríamos decir, minusvalora las aportaciones de la Morfografía al análisis geomorfológico, limita también el análisis de las relaciones espaciales de los diferentes elementos que constituyen el paisaje. Los medios actuales para el tratamiento de la información espacial y el análisis de factores múltiples, permiten profundizar en ese campo de las relaciones entre formas y en el estudio detallado de cada una ellas.

De acuerdo con sus objetivos, la Morfografía puede dividirse en dos campos: por un lado está el análisis de las formas del relieve desde un punto de vista cuantitativo (dimensiones y similitudes con formas geométricas a través de diferentes escalas de observación), por otro el establecimiento de sus relaciones en base a la pos-

terior clasificación. En el primero de los casos estamos ante la Morfometría o geometría del relieve y en el segundo ante la Fisiografía o estructura del relieve.

Los planteamientos expuestos anteriormente, con ligeros matices, se ajustan a las premisas fundamentales que dieron origen a esta rama de la Geomorfología.

I.2.1.- La Morfometría

El objetivo básico y primordial de la Morfometría es la cuantificación de las formas del terreno; establece las características geométricas que servirán para la posterior clasificación de las mismas. Podría decirse que la Morfometría es la parte de la Geomorfología que analiza los parámetros configuracionales de las formas del terreno.

Casi desde los inicios de la Morfometría en la década de 1930, uno de sus principales objetivos fue establecer las correspondencias entre la geometría del terreno y los procesos que la originan, intentando llegar a la formulación de “leyes morfométricas”. Este enfoque hizo que los análisis genéticos prodominaran (incluso desplazarán) a los geométricos, hecho ya señalado por autores como Hart (1986) y Evans (1972); como consecuencia de ello, el análisis de los parámetros geométricos queda supeditado al de los procesos geomorfológicos sectoriales. Se deben buscar por tanto relaciones que impliquen a las formas, independientemente del proceso que las genera, recuperando así los estudios morfométricos generales.

A tenor de lo dicho previamente, también se incluyen en el contexto de la Morfometría todo un conjunto de procedimientos de medida y cuantificación de los diferentes procesos geomorfológicos (medidas de caudales, tamaño de los cantos, velocidades de desplazamiento de masas, etc). En principio dichos procedimientos podemos separarlo en dos grandes grupos: uno es el dedicado a la cuantificación de los parámetros **espaciales** (dimensiones y aspecto) que comportan las formas del terreno y sus elementos constitutivos (tamaño de cantos, formas de los mismos, perfiles micrométricos de grietas, extensiones de superficies de erosión, dimensiones de las cordilleras, etc); y otro el dedicado a la cuantificación de los parámetros **dinámicos** (físico-químicos) de los agentes morfogenéticos (velocidad de las aguas de un río, cantidad de material transportado por arroyada, velocidad de creep, etc.) y que podríamos aglutinar bajo el epígrafe *morfodinamometría o medidas de la dinámica terrestre*.

En esta tesis tratamos la *Morfometría* con ese cometido que la implica en el conjunto de medidas cuantitativas y cualitativas de las formas del terreno, y cuya escala de referencia estará en función de la escala de análisis a la que estemos trabajando en cada caso. Esta acepción de *Morfometría* también dependerá de los objetivos de análisis del estudio, por lo que no se tendrán en cuenta todos los tipos de medidas, procedimientos y objetivos posibles; solamente se considerarán aquellos que posibiliten la consecución de los fines planteados en cada uno de los apartados del trabajo.

I.2.2.- La Fisiografía

La Fisiografía se ocupa del análisis de las relaciones espaciales que presentan las formas del terreno; esto permite situar a éstas en su contexto regional. Los objetivos básicos que persigue la Fisiografía son:

“ ... analizar, describir y cuantificar el sistema de relaciones que ligan a las formas del terreno con los restantes elementos que configuran la superficie terrestre. ” (Pedraza et al., 1996).

Estos se plantean con un procedimiento generalista y un método descriptivo, que permiten concretar los rasgos primarios del relieve.

El término Fisiografía fue muy utilizado como sinónimo de Geomorfología durante bastante tiempo; de hecho son varios los autores que ven en la Fisiografía el precedente de la Geomorfología moderna, por ello la primera, puede considerarse como el método descriptivo en que se basa la segunda.

Aunque en realidad la Fisiografía tiene su origen en la antigüedad, pues la mayoría de las primitivas descripciones geográficas de los territorios se consideran claramente fisiográficas, los precedentes más directos de esta ciencia podemos encontrarlos en la obra de Humboldt (1769-1859). En Europa fué Passarge (1931) quien utilizó con frecuencia los términos “Fisiografía” y “Fisonomía” para referirse a cualidades externas de las formas que constituyen el paisaje, reservando la denominación de “Fisiología” para las genéticas. En esta misma línea “fiscogeológica” o geográfica y, en suma, naturalista, Eduardo Hernández-Pacheco (1934, 1955-1956) y Juan Dantín Cereceda (1912, 1922, 1942) son los pioneros en España de los estudios fisiográficos y, en gran medida, paisajísticos.

Otra escuela o enfoque de lo fisiográfico es la que desarrollaron en los Estados Unidos de Norteamérica Salisbury (1907) y Feneman (1916, ref. 1928). Su objetivo fue la “identificación, clasificación y descripción “ de las grandes unidades del relieve a escala regional; son sistemas de división y clasificación del territorio en grandes unidades homogéneas, a las que se denominó *divisiones fisiográficas*; cuyo precedente está en el trabajo de Powell (1896). En los modernos “estudios del medio físico” se tiende a realizar una descripción del paisaje en la que, sobre la base de las asociaciones entre los componentes del medio, se organiza el territorio en porciones con características fisonómicas bien diferenciadas respecto a su entorno, buscando una homogeneidad en lo referente a su aspecto. Este planteamiento da impulso y renueva la antigua Fisiografía, otorgando un carácter muy aplicado a los trabajos de clasificación y ordenación territorial; así nacieron las metodologías de clasificación y evaluación territoriales, entre las cuales es pionera la conocida universalmente como de los *Land System* (Chirstian, 1958 y Christian y Stewart, 1968).

En España, retomando las ideas de los primeros fisiógrafos, son numerosos los trabajos en este campo; destacamos los realizados en el Departamento de Geodinámica por cuanto son de los primeros y más continuos al respecto (Pedraza y Garzón 1978; Pedraza 1978; Pedraza *et al.*, 1986; Centeno, 1988; Martín Duque, 1997; Carrasco, 1998).

Las clasificaciones fisiográficas intentan expresar de forma sintética todos los componentes relevantes, bióticos y abióticos, que conforman la superficie terrestre. Estos intentos de globalización de los parámetros del medio, dan lugar a numerosos métodos de clasificación en función de las necesidades de los estudios; un resumen de ellos aparece en la tabla I.1.

Tabla I.1: Tipos de clasificaciones fisiográficas (simplificada a partir de la de Martín Duque 1997)

Método	Objetivos	Base	Ejemplos
Descriptivo	Cualifican elementos o unidades.	Atributos externos.	Geometría, forma, etc.
Genéticos	Cualifican elementos o unidades .	Atributos deducidos.	Métodos analíticos.
Mixtos	Cualifican elementos o unidades .	Atributos externos y deducidos.	Dependiendo de las escalas de trabajo se utilizarán elementos descriptivos o métodos analíticos.
Globalizadores	Asociación de elementos.	Establecimiento de relaciones generales	Modelos en función de criterios de clasificación.
Temático-sectoriales	Elemento específico.	Relaciones parciales	Clasificaciones climáticas, edáficas.
Sintéticos	Híbrido entre globalizoras y temáticas.	Se parte de relaciones parciales para ir globalizando.	
Metodológicos	Estructuras y contenidos de las clasificaciones.	Criterios intrínsecos de las clasificaciones.	Investigación básica.
Funcionales	Propiedades intrínsecas parciales.	Adecuación de las propiedades a fines prefijados.	Proyectos de desarrollo e investigación.

La base conceptual y la metodología utilizada para estas clasificaciones siempre ha estado influida por los estudios geomorfológicos; no es extraño por tanto, que en ellas estén presentes las dos tendencias predominantes que se detectan en esa ciencia (figura I.1)

Las clasificaciones del territorio que se basan en un método geográfico, otorgan el mayor peso a las características configuracionales y a las relaciones entre todos los elementos que componen el medio. Por tanto, las unidades así obtenidas representan complejos ambientales, más que funcionales.

Las clasificaciones del territorio que se basan en el método geológico, y por tanto, en parámetros genéticos y evolutivos, definen unidades en las cuales lo configuracional es importante; sin embargo, son asociaciones de formas del terreno ligadas genéticamente a un proceso de la dinámica terrestre.

Una clasificación fisiográfica debe basarse en parámetros configuracionales del terreno. Los parámetros genéticos y evolutivos no son relevantes en principio y pueden desvirtuar el objetivo general; inicialmente, este no es otro que llegar a una jerarquización del relieve en unidades o asociaciones de formas con características fisonómicas similares. De acuerdo con este planteamiento, los criterios que usaremos en esta Tesis para clasificar las unidades del relieve a partir de los estudios morfométricos serán los descriptivos, globalizadores y sintéticos; es decir, los fisiográficos.

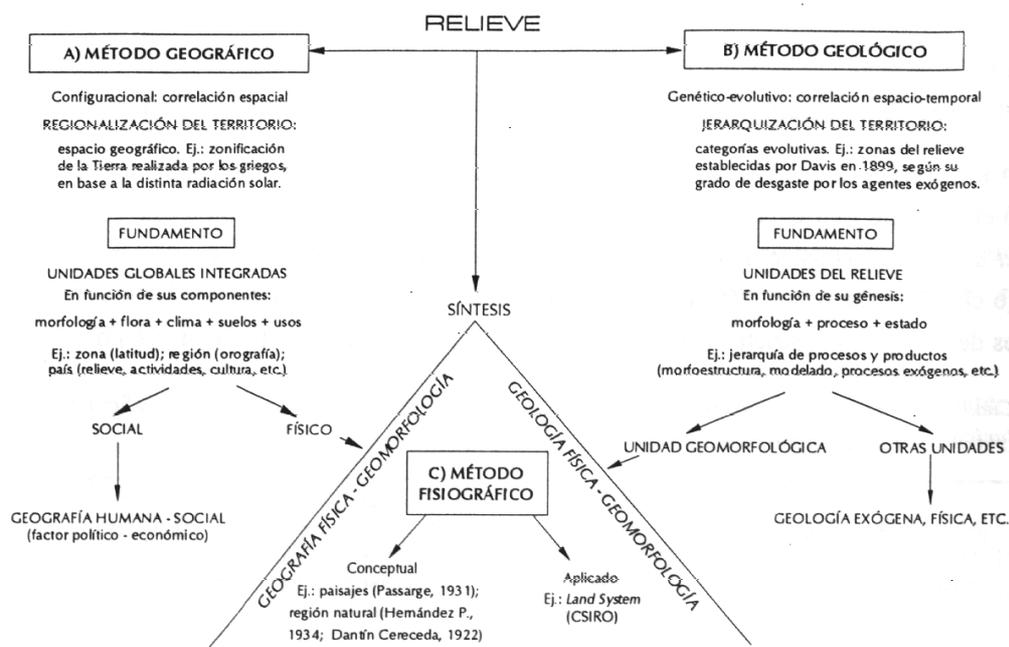
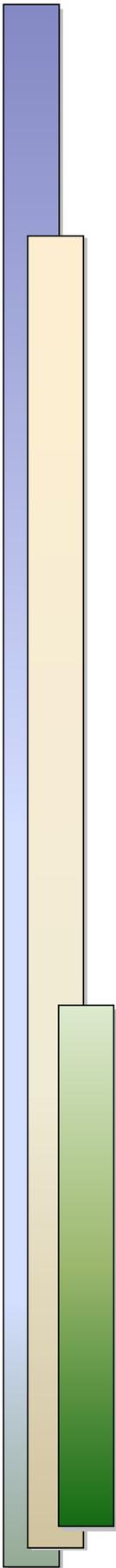


Figura I.1: Base conceptual y metodológica de las clasificaciones fisiográficas Pedraza *et al.* (1996)



II.- Desarrollo de un procedimiento para los análisis morfométricos del relieve mediante técnicas digitales

II.1.- El método de referencia para los análisis morfométricos

II.1.1.- Planteamiento

Un concepto básico a tener en cuenta para los análisis geomorfológicos, es el de “la complejidad de las formas del terreno”, esto es:

“Toda forma del terreno es susceptible de ser descompuesta en otras más sencillas, hasta llegar a la unitaria o elemental, la superficie planar, representada por una pendiente” (Pedraza et al. 1996, pag. 51).

Atendiendo a este concepto, la unidad de referencia principal en morfometría es la **pendiente del terreno**. Las diferentes pendientes y sus asociaciones en el relieve, nos van a permitir separar las formas básicas: puntos, líneas y volúmenes; elementos todos comunes con la geometría (Lugo 1991).

A tenor de lo expuesto previamente, el procedimiento más común para realizar análisis morfométricos encaminados a determinar y cuantificar las formas del terreno, sigue la secuencia siguiente:

- ◆ *Determinar* escalas de pendientes cuantitativas y cualitativas en función de la fisonomía del terreno. Por otro lado se establecerán los criterios para diferenciar tipologías de pendientes; este proceso se basa fundamentalmente en el sentido de la inclinación que permite reflejar morfologías opuestas o suplementarias, sea cual sea la pendiente.
- ◆ *Analizar* las variaciones en la inclinación según la tendencia altimétrica, lo que proporcionará las diferentes articulaciones entre segmentos de pendiente. Se deben considerar los siguientes parámetros:
 - Variación de la pendiente: refleja toda modificación del valor de la inclinación que, en una escala cualitativa, será: *progresiva* (no existen rotu-

ras o inflexiones bruscas del terreno), *cambiantes* (las inflexiones se producen de forma suave) y *rupturas* (las inflexiones son netas).

- Segmentación: separa las porciones de terreno comprendidas entre dos rupturas o cambios de pendiente sucesivos. Diferenciando los siguientes tramos: horizontal o subhorizontal ($< 3-5^\circ$), rectilíneo ($> 3-5^\circ$), cóncavo (pendiente variable progresivamente creciente), y convexo (pendiente variable progresivamente descendente).

Las clasificaciones de este tipo de segmentos son muy variadas, pero en su mayoría se basan en la desarrollada por Young (1972).

- ◆ *Establecer* la asociación entre los diferentes segmentos de un perfil y concretar las relaciones de cambio o continuidad entre ellos, para lo que se deben considerar las referencias tanto para el origen altimétrico del comienzo del segmento como para los sentidos de la inclinación. Los parámetros básicos de este análisis son los siguientes:
 - Longitud del segmento.
 - Energía del relieve de un segmento que indica el contraste entre la energía de posición y su desarrollo.
 - Secuencias asociativas de varios elementos contiguos.
 - Cambios del sentido de la inclinación.
 - Variaciones de la energía de posición para cada segmento en relación con sus contiguos.
 - La tipología de los cambios y rupturas entre los diferentes segmentos al pasar de uno a otro.
 - Tipología de los segmentos.
 - Puntos neutros.
 - Secuencias contiguas.
- ◆ *Determinación* de las líneas de variación de la pendiente a lo largo de varios perfiles consecutivos, lo que nos permite separar superficies y elementos geométricos básicos.

- ♦ *Aislar* porciones de terreno que representen una entidad geométrica que, por determinadas características, se encuentran asociadas dando lugar a formas o geometrías tridimensionales.

Este planteamiento propone un análisis generalizado del territorio basado exclusivamente en parámetros matemáticos, obteniendo como resultados las geometrías del terreno independientemente del proceso geomorfológico que las haya generado. En apartados posteriores desarrollaremos una metodología automatizada para realizar estos trabajos; es aplicable a cualquier territorio y soportada bajo SIG.

II.1.2.- Los elementos del análisis

En lo concerniente a las formas del terreno, las características visuales del paisaje pueden ser divididas en una serie de elementos que lo conforman y que se caracterizan por tener una configuración propia.

Estos elementos básicos se separan en tres grupos según su entidad geométrica: **puntos** (simas, collados, cimas, etc.) que por su singularidad destacan en su entorno; **líneas** (ríos, líneas de cumbres, etc); y **superficies** (replanos, fragmentos de laderas con aspecto similar, etc.). Las características espaciales de cada uno de ellos analizados individualmente (pendiente, orientación, etc.), y las relaciones espaciales con el resto de los elementos, es lo que otorga al paisaje su configuración topográfica singular.

II.1.2.1 *Los puntos singulares*

Los elementos puntuales dentro de un determinado paisaje son infinitos, tanto como las relaciones entre ellos. Nuestra primera percepción del entorno nos informa de los más sobresalientes del mismo respecto a la tendencia general de la topografía, ya sea por su resalte positivo como por el negativo. Estos puntos que visualizamos en el paisaje, en la mayoría de los casos constituyen la referencia topográfica general de una determinada región.

Estos hitos orográficos pueden presentarse en dos situaciones extremas: puntos positivos y negativos. En el primer caso agrupamos todos los puntos que superan la cota de los de su entorno y a los que denominaremos aquí *cimas*. En el segundo se aglutina todos los puntos de cota inferior a los de su entorno y a los que denominaremos aquí *simas*.

Además de estos extremos, dentro de la topografía general de un territorio destacan otros puntos singulares que corresponden a elementos en los que, por un lado, comparten las características de cimas y, por el otro, los de simas; a estos elementos los denominaremos aquí *collados*.

Del análisis de estos elementos puntuales se pueden establecer datos como: alturas máximas y mínimas, alturas medias generales, alturas medias de las cotas máximas y mínimas, etc.; por otra parte, su distribución general permite obtener información del reparto de las cimas, las alturas máximas o alguna distribución general de los puntos singulares que pertenecen a un determinado territorio.

En el tratamiento general de los elementos orográficos puntuales se debe considerar un factor importante, la escala de trabajo. Según sea ésta, elementos que trataremos como puntos a pequeñas escalas, pasarán a ser elementos areales si aumentamos las escalas de trabajo. Por tanto, la concepción de elemento puntual en los trabajos morfográficos está muy controlada por la selección de la escala a la que se realiza el estudio y por tanto los resultados también estarán determinados por dicha selección.

II.1.2.2.- *Las líneas: perfiles morfométricos*

El parámetro de referencia a tener en cuenta en los cálculos morfométricos es la *pendiente del terreno*, y sobre su base se establece una secuencia jerárquica de procedimientos analíticos del relieve. Dado que la pendiente de una porción del terreno es *la tangente trigonométrica del ángulo que forma la línea de máxima inclinación contenida en el plano del terreno con un plano horizontal*, en el caso de los perfiles se considerarán fragmentos del perfil sin buscar su correspondencia con el plano y, por tanto, esas porciones constituyen en el análisis la máxima línea de pendiente.

El criterio a seguir para los análisis de la pendiente en los cálculos morfométricos, se basa en una jerarquización que puede sintetizarse en tres puntos (Pedraza *et al.* 1996):

- ♦ Tipología y escalas de pendientes.
- ♦ Articulación entre segmentos de pendientes a lo largo del perfil topográfico.
- ♦ Variaciones y contrastes entre segmentos a lo largo del perfil.

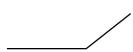
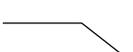
II.1.2.2.a.- Tipologías y escalas de pendiente

Uno de los problemas que se plantea a la hora de trabajar con la pendiente, es el tipo de baremos que vamos a utilizar y la escala de los mismos; en general los más usados son los baremos cuantitativos en los que la pendiente viene expresada en grados. Para su representación cartográfica suelen simplificarse estos baremos, y aparecen así los cualitativos o discretizados en intervalos de pendientes, que en la mayoría de los casos están en función del tipo de estudio que se esté interesado en realizar.

En cualquiera de los casos los valores asignados son absolutos, y por tanto no consideran el sentido de la inclinación o su posición espacial; por ello su uso se restringe al análisis de las variaciones de pendiente acotando los contrastes morfométricos. El estudio de los valores de las escalas en función de los objetivos del análisis que estemos realizando, se verá en un punto posterior cuando se analice la forma de abordar el problema del cálculo de este parámetro.

Uno de los datos sobre el que basaremos gran parte de los análisis referentes a los perfiles morfométricos es el *sentido de la inclinación*, ya que nos va a permitir establecer los criterios de cambio entre las distintas morfologías y la relación que los diferentes segmentos tienen entre sí.

Los valores que puede tomar el sentido de la inclinación, están en función de la tendencia de cambio que muestra la pendiente entre los segmentos del perfil, así: partiendo de un segmento horizontal al que consideramos como *nulo* y que está caracterizado por tener pendiente **0**, se establece que el segmento contiguo tiene cambio *directo* cuando el sentido de la inclinación en él se mantiene por encima del que presenta el segmento nulo, e *inverso* cuando el sentido está por debajo. Como premisa de partida es válida, pero a lo largo del perfil se puede plantear una serie de situaciones relativas entre los segmentos contiguos que se esquematizan en el siguiente cuadro II.1.

Directa	Inversa	Directa ascendente	Directa descendente	Inversa descendente	Inversa ascendente	Opuesta
						

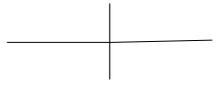
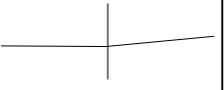
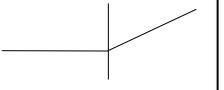
Cuadro II.1: Variaciones posibles del sentido de la inclinación entre dos segmentos consecutivos.

II.1.2.2.b.- Articulación entre segmentos de pendientes a lo largo del perfil topográfico

El siguiente paso en el análisis del perfil son las variaciones de inclinación en función de la tendencia altimétrica, es decir, los cambios de pendiente entre dos segmentos consecutivos teniendo en cuenta sus posiciones altimétricas relativas. Las variables que vamos a considerar en este punto del análisis son las siguientes:

- ♦ **Variaciones de la pendiente:** calcula toda modificación del valor de la inclinación a lo largo del perfil entre segmentos consecutivos. Las posibilidades que podemos encontrar son: *continuo*, cuando se mantiene constante el valor que presenta la pendiente a lo largo de un segmento; *progresivo*, cuando a lo largo de un segmento o entre dos segmentos no se pueden establecer puntos de inflexión; *cambios*, cuando el punto de inflexión entre dos segmentos es suave; y *ruptura*, si existe un punto de inflexión neto. Los valores que limitan uno y otro tipo, dependen fundamentalmente de la escala de trabajo y del objetivo que se pretenda alcanzar en la investigación. Se puede establecer una serie de intervalos de pendiente con carácter de uso general, que estén basados en los cambios de pendiente más usuales; en geomorfología estos pueden ser los que figuran en la tabla II.1.

Tabla II.1: Tipos de variación de la pendiente, asignación de intervalos angulares.

Tipo de variación de la pendiente	<i>Continua</i>	<i>Progresiva</i>	<i>Cambio</i>	<i>Ruptura</i>
	$\alpha = 0$	$0 < \alpha \leq 2$	$2 < \alpha \leq 15$	$\alpha > 15$
Intervalos de ángulo de cada tipo	 0°	 1,5°	 10°	 25°

El límite del tipo *progresivo* se establece entre 0 y 2° ya que la variación producida entre dos porciones de terreno comprendida entre estos dos valores es casi inapreciable; para el tipo *cambio* el intervalo se sitúa entre 2 y 7° , intervalo en el que ya son apreciables las variaciones de la pendiente, por encima de 7° la variación es muy apreciable.

- ♦ **Segmentos:** corresponden a cada porción comprendida entre dos *cambios* o *rupturas*. Las posibilidades que podemos encontrar son: *horizontal o sub-horizontal* cuando la inclinación del segmento se encuentra por debajo de 3°

a 5°, dependiendo este límite del trabajo que realicemos o de los objetivos marcados para el análisis; *inclinado rectilíneo* cuando la pendiente del segmento está por encima de 3-5° y permanece constante a lo largo de él; *cóncavo* será aquella porción de terreno inclinado de pendiente progresivamente creciente en altura; y *convexo* cuando la porción de terreno presente una pendiente progresivamente descendente con la altura.

Se considera aquí la acepción de cóncavo y convexo con su significado coloquial, es decir, referente a la situación del observador, sin analizar la forma de la curva desde el punto de vista del concepto matemático de concavidad y convexidad de una función matemática.

La calificación de estos segmentos se realizan de diversas maneras, si bien los procedimientos estandarizados están basados fundamentalmente en la metodología desarrollada por Young en 1972. En los análisis de la pendiente, este autor sugiere el cálculo del coeficiente de variación de los ángulos a lo largo de la ladera y su comparación con un estándar (no especificado) general para la zona sobre la que se trabaja. Cada porción de ladera, de características determinadas y generales para toda ella, es dividida en elementos según el rango de cambio de ángulo medido en sentido descendente y expresado en tanto por ciento (gráfico II.1).

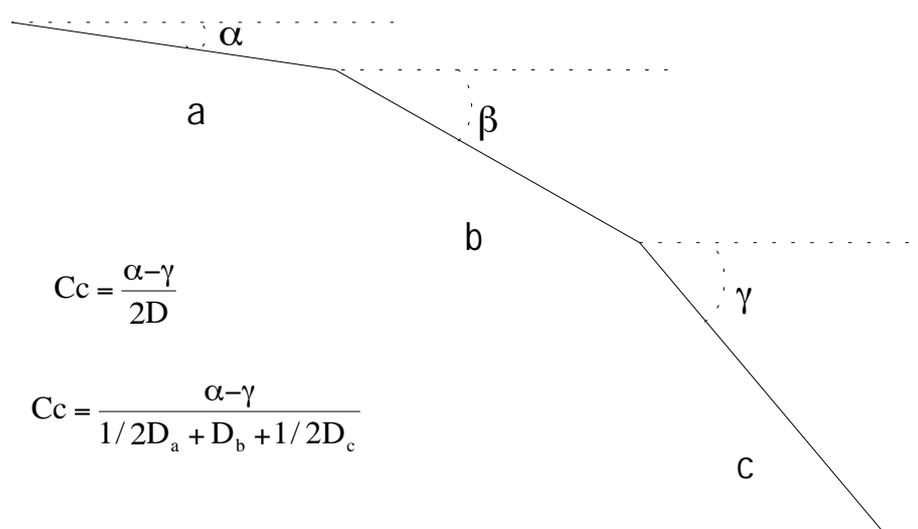


Gráfico II.1: modelo de análisis propuesto por Young (1972) para el estudio de la pendiente. Las dos ecuaciones representan el coeficiente de curvatura: en la primera los segmentos a, b y c tiene igual dimensión, en la segunda sus dimensiones son diferentes. Los ángulos respecto a la horizontal están expresados por α , β y γ .

Una modificación propuesta por el mismo autor, consideraría además del cambio de ángulo el tipo de ladera sobre el que se está midiendo (acantilado, escarpe, ladera de pendiente media, etc).

II.1.2.2.c.- Variaciones y contrastes entre segmentos a lo largo del perfil

Las relaciones de cambio o continuidad entre los diferentes segmentos que constituyen el perfil, nos permitirá hacer las primeras estimaciones de tendencias del relieve y, por ello, un análisis geomorfológico estricto.

Para afrontar estos cálculos debe establecerse un origen de referencia altitudinal, el cual puede ser absoluto (aquél que se ha tomado como referencia para elaborar la cartografía sobre la que trabajamos) o relativo (en cuyo caso será el valor mínimo absoluto del área o perfil concreto analizado). Por otro lado, es necesario establecer también un origen de ángulos y así disponer de un criterio de medidas de pendiente; en general se tomara el origen para el segmento horizontal. Este punto inicial de medida de ángulos permite además concretar el origen absoluto para la referencia de la inclinación, considerándola positiva si el cambio de pendiente se produce por encima del valor cero del origen de ángulos y negativa si es por debajo. En general, en el perfil se trabaja con un sentido de la inclinación relativo entre segmentos; así: se debe tomar como un cambio de sentido positivo cuando la pendiente del segmento siguiente al que se analiza es mayor que la pendiente del segmento analizado, y negativa si es menor, considerando siempre el valor de sentido positivo y negativo absoluto. El gráfico II.2 muestra una propuesta de nomenclatura, tanto absoluta como relativa, del sentido de la pendiente.

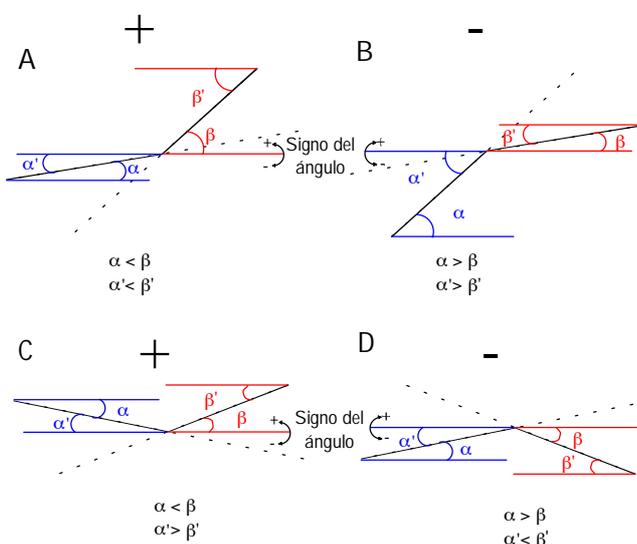


Gráfico II.2: (modificado de Pedraza *et al.* 1996). La figura A muestra dos segmentos que según un análisis individual de izquierda a derecha ambos sería positivos en sentido absoluto, mientras que en un análisis de sentido contrario su signo sería negativo. Si los analizamos comparativamente, tanto en un sentido como en otros los valores del ángulo α son menores que el de β ; en este caso consideraremos que el signo es positivo. En la B tenemos el caso opuesto al anterior y le asignaremos el signo negativo.

Los casos C y D marcan los puntos singulares de cima y sima. El primero se caracteriza por presentar en el sentido izquierda a derecha signos negativo y positivo absolutos respectivamente y valores de los ángulos mayores según el en el sentido del análisis; lo contrario de lo que ocurre en el caso D.

Además de esos cálculos, dentro de este nivel de análisis se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

- ♦ **Desarrollo del segmento:** considera las dimensiones del segmento exclusivamente y se expresará en las unidades correspondientes.
- ♦ **Energía del relieve de un segmento:** es la diferencia de altura relativa o absoluta entre los puntos límite del segmento, en relación con las dimensiones (parámetro desarrollo) del mismo. Este parámetro nos da información de la energía de posición del segmento en función de su desarrollo, lo que nos permite establecer criterios de estabilidad de laderas, cimas, valles, etc; puede venir expresado en valores numéricos o bien en porcentaje.
- ♦ **Tendencia del relieve:** marca las variaciones de la energía de posición (energía del relieve) de un segmento respecto a sus contiguos; podrá ser expresada por la variación del ángulo entre los segmentos o bien por la diferencia de energía del relieve entre los segmentos (numérica porcentual).
- ♦ **Carácter del segmento en los cambios, rupturas de pendiente inclinación:** indica la tipología del segmento a la que da paso el cambio, ruptura de la pendiente o inclinación. El signo de esta variación puede ser positivo o negativo, como hemos explicado al comienzo del apartado.
- ♦ **Cambios en el sentido de la inclinación, puntos neutros:** marcan los cambios en la inclinación al pasar de una dirección determinada a otra totalmente opuesta. En el caso en el que los cambios en el sentido de la orientación se realicen sin un segmento de cima o fondo intermedio, denominamos al cambio o ruptura *punto neutro*. Estos elementos corresponden a lo que definimos en el análisis de los puntos singulares como *cima* y *sima*; en el caso del primero tendrá un signo de ruptura negativo, mientras el segundo será positivo.
- ♦ **Tipologías de los segmentos respecto a sus vecinos:** los segmentos respecto a sus vecinos, posterior y anterior, pueden presentar una de las siguientes cuatro topologías:
 - *Fondo:* cuando el cambio en el sentido de inclinación está caracterizado por rupturas de signo positivo en ambos extremos del segmento (F).
 - *Cima:* similar al anterior pero el signo de la ruptura es negativo (C).
 - *Estabilización:* son segmentos en los que no se produce cambio en el sentido de la inclinación, los signos de las rupturas son alternos, uno positivo y otro negativo (E).

- *Tránsito*: como en el caso anterior son segmentos en los que no se produce cambio en el sentido de la inclinación, pero el signo de las rupturas puede presentar cualquier combinación (T).
- ◆ **Continuidad**: indicará los conjuntos de segmentos que mantienen la misma tendencia en los cambios, ya sea ésta positiva o negativa.
- ◆ **Secuencia**: es la asociación de varios segmentos contiguos que presenta un significado fisiográfico concreto (relieve, valle, etc.).

El gráfico II.3 muestra un perfil teórico; en él se han insertado todos los parámetros de los niveles de análisis hasta ahora expuestos. Se deben hacer una serie de anotaciones para entender los valores que aparecen:

- ◆ Primero: los valores de pendiente en los segmentos con *variación progresiva* se han calculado en función de los valores de cota inicial y final en los extremos del segmento.
- ◆ Segundo: las variaciones de la pendiente *nula y progresiva*, dan expresión del segmento en sí y no del punto de cambio entre segmentos.
- ◆ Tercero: los cálculos de *tendencia del relieve (% y angular)* en los puntos singulares, se han realizado según el ángulo interno del diedro formado por la unión de los dos segmentos en sus puntos de origen y la suma de sus energías de relieve para el porcentual.

Este conjunto de parámetros obtenidos de los perfiles permite establecer los valores claves para el análisis posterior, consistente en: los puntos (líneas en posteriores niveles) que marcan variaciones importantes de la tendencia del relieve, variaciones de ángulos con significados concretos (ángulo característico primario - ángulo más frecuente para un elemento concreto constituyente del paisaje - ángulo límite - ángulo máximo/mínimo característico como pueden ser

Gráfico II.3: El significado de los valores de las diferentes variables del corte es:

- ◆ Variación de la inclinación: **D** - directa, **I** - indirecta, **DD** - directa descendente, **DA** - directa ascendente, **ID** - inversa descendente e **IA** - inversa ascendente.
- ◆ Segmentos (tipo): **R** - rectilíneo, **H** - horizontal, **CV** - cóncavo y **CX** - convexo.
- ◆ Variación de la pendiente: marcado en gris el valor correspondiente.
- ◆ Carácter del segmento, cambio de sentido y puntos neutros: - - carácter negativo, + - carácter positivo, - **NC** - carácter negativo punto neutro de cima, +**NS** - carácter positivo punto neutro de cima, **C+** - cambio de sentido positivo y **C-** - cambio de sentido negativo.
- ◆ Tipología del segmento: **T** - tránsito, **E** - estabilización, **F** - fondo y **C** - cima

Corte Morfométrico



Variaciones de la inclinación entre segmentos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33				
Segmento	R	H	CV	R	R	H	R	R	R	R	H	R	R	CV	R	H	R	R	H	R	H	R	R	H	CV	R	CX	R	H	CV	CV	R					
Variación de la pendiente	Nula																																				
Desarrollo del segmento (uni. de dibujo)	0,89	1,56	1,62	0,95	1,09	1,16	0,77	1,24	0,97	1,31	0,9	1,59	0,72	1,42	0,72	1,49	0,83	2	1,27	1,04	0,9	0,73	0,69	0,75	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	1,13	0,7	1,31			
Energía el relieve (%)	49,4	0	79,6	34,7	77,1	0	40,3	34,7	0	57,3	14,4	47,8	0	85,9	0	83,2	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57,3	0	0		
Tendencia del relieve (ángulo)	49,4°	29°	79,6°	23°	80°	51°	15,4°	24,9°	5,6°	55,6°	90,2°	57,3°	42,8°	17°	33,4°	35,7°	83,5°	85,9°	85,9°	83,2°	177,7945°	90,11791°	89,75,4°	85,4°	85,4°	85,4°	85,4°	85,4°	85,4°	85,4°	85,4°	85,4°	57,3°	123,65,7°	35°	76°	41°
Carácter del segmento	-	-	+	-	-	+	-	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cambio en el sentido																																					
Puntos neutros																																					
Tipología del segmento	T	E	T	T	T	E	T	T	T	F	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	E	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	E	
Continuidad																																					
Terminología Fisiográfica (a nivel orientativo)	Cuesta	Glacis	Talud	Ladera	Pico Sierra	Pirámide	Reilano	Cuesta	Fondo	Cauce	Escarpel	Escarpel	Talud	Glacis	Talud	Escarpa	Ladera	Piedemonte	Sierra	Pico	Arista	Garra	Piedemonte	Canal	Llanura	Artesa											

variaciones - de una forma o proceso- etc.), o bien asociaciones de segmentos que determinen fisiografía concretas.

II.1.2.3.- *Superficies: articulación entre perfiles*

Este nivel del análisis morfométrico del relieve se realiza en dos etapas:

- a) Articulación entre perfiles, definiendo formas bidimensionales.
- b) Articulación entre superficies, dando formas o geometrías tridimensionales.

Para abordar el análisis de estos últimos niveles, previamente debemos realizar una serie de operaciones: primero se estudia la seriación de perfiles, y luego la interconexión de agrupaciones de esos perfiles seriados según direcciones perpendiculares. La elaboración de estos elementos dará información areal sobre la continuidad de los diferentes parámetros expuestos en el apartado anterior, sus dimensiones espaciales, distribución, cambios, etc.

Con estos cálculos se hace más patente la información que aportan los distintos parámetros: en primer lugar tendremos datos cuantificables que suministrarán valores numéricos sobre las formas del terreno; también obtendremos información cualitativa del comportamiento de los diferentes elementos que componen el modelado del terreno. Esta última podrá ser de dos tipos, una referente a las características de las uniones entre segmentos y otra relativa al segmento en sí. La comparación entre los valores numéricos y los cualitativos nos permitirá establecer criterios geométricos de las formas.

El análisis seriado de perfiles consiste en generar una franja de ellos, paralelos entre sí, que cubra la zona problema y en los que se calculan los parámetros ya descritos en los apartados anteriores (ver apartados II.1.2.3.a, II.1.2.3.b y parte precedente de II.1.2.3.c). La comparación de cada uno de los perfiles con los de su entorno permitirá definir las tipologías morfográficas en un ámbito areal, así como su continuidad y distribución.

Mayor información vamos a tener del estudio y comparación de los parámetros que indican las variaciones y contrastes entre los segmentos; así podremos calcular:

- ♦ **Variaciones en las dimensiones de segmentos:** se extrae de la propiedad *desarrollo*, y nos indica los puntos y líneas de cambio en las dimensiones de los segmentos entre cortes consecutivos.

- ♦ **Energía del relieve:** la presentación de este parámetro en la totalidad del área a estudiar, marcará las zonas que presentan más potencial de sufrir movimientos gravitacionales; además permite cuantificar sus dimensiones y da una media de la diferencia de potencial, tanto respecto al entorno más cercano como a la totalidad del área a analizar.
- ♦ **Tendencia del relieve:** la distribución areal de este parámetro, indicará si existen fuertes cambios del valor de la energía de posición en esas áreas, así como su localización (delimitando la zona donde ocurre y sus contiguas).
- ♦ **Carácter del segmento, puntos neutros:** este parámetro engloba varios de los descritos por separado en los puntos anteriores (ver apartados II.1.2.3. b y parte precedente de II.1.2.3.c), ya que su configuración espacial determina elementos puntuales, lineales y areales del relieve. El desarrollo pleno de las características areales del relieve se alcanza cuando se elabora el cruce de dos series de cortes paralelos, ya que los elementos puntuales reales solamente son obtenidos tras el cruce; una vez realizadas las operaciones, la cantidad posible de elementos que se puede obtener es muy alta, pero en la práctica solamente se da un subgrupo de esa totalidad.

Como elementos puntuales se mostrarán todos los descritos en apartados anteriores como *cimas*, que corresponderán a elementos singulares del conjunto, y *simas*; pueden ser elementos morfológicos reales, o bien producto de la posición visual concreta del cruce de los perfiles, en cuyo caso no deberán configurar un elemento a tener en cuenta en el análisis posterior.

Los elementos lineales obtenidos, identificarán líneas de cumbres, valles, líneas de cambio de concavidad-convexidad, etc. Dentro de los elementos areales se marcarán tipos de ladera, superficies llanas, etc.

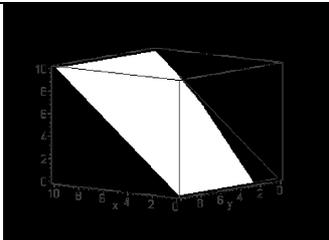
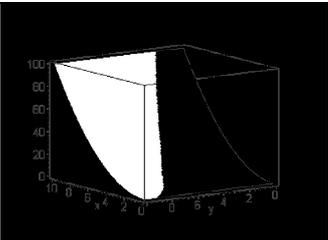
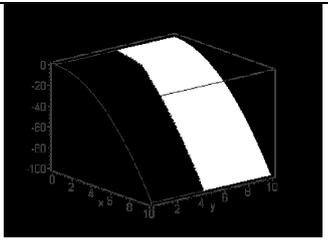
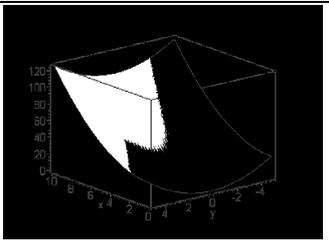
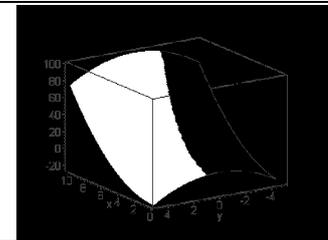
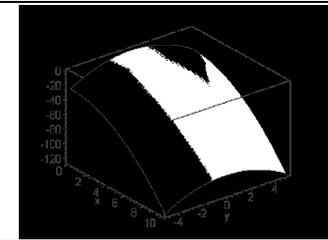
- ♦ **Tendencias - continuidad:** estos dos parámetros se encuentran muy relacionados tras la sucesión de los cortes y aun más cuando se cruzan las series; establecerán las relaciones areales entre distribución de segmentos, lo que nos permite establecer la distribución de porciones areales con características concretas y la relación entre ellas.

Tanto en las series de cortes como en el cruce entre estos, las secuencias se convierten en el proceso diferenciador de los elementos geométricos que determinan las formas del relieve con características morfográficas concretas. Esto constituye la culminación del análisis y conformará la separación de las geometrías que componen el paisaje. Existen varios procedimientos estandarizados que intentan resolver

este análisis, y es lo que se denominó inicialmente “análisis topológico” (aunque este término actualmente tiene unas connotaciones más cercanas a las relaciones entre los diferentes elementos que conforman el paisaje) y se basan en estudios *morfo-topográficos* (Deraison 1969, Gloriod 1969, Sandoval 1991).

En alguno casos y siempre que no sean complejas las formas, pueden asimilarse a una ecuación matemática. Sin embargo, lo normal es que tengamos que dividir el relieve en porciones asimilables a formas muy sencilla relacionadas con planos de geometrías simples. El cuadro II.2 muestra una clasificación de componentes geométricos-topográficos elementales, que puede ser complicada en gran medida si se realizan los cruces entre los diferentes tipos básicos.

El último paso en esta sucesión de análisis, consiste en caracterizar las asociaciones de las formas elementales según su significado fisiográfico concreto; en este caso los cálculos se plantean para elementos en tres dimensiones y las posibilidades de combinación son muy altas. En el cuadro II.3 se muestra un resumen de formas geométricas simples asociables a formas elementales del relieves.

Rectilínea	Cóncavo-rectilínea	Convexo-rectilínea
		
$z = x$	$z = x^2$	$z = -x^2$
Bicóncava	Cóncavo-convexa	Biconvexa
		
$z = x^2 + y^2$	$z = x^2 - y^2$	$z = x^2 - y^2$

Cuadro II.2.- Formas elementales de ladera representadas por la fórmula genérica expresada de forma explícita. La variación de los ejes de curvatura puede ir de horizontal –inclinado-vertical en todos ellos.(Los gráficos han sido generados por el programa MAPLE V para los intervalos de $0 \leq X \leq 10$ y $0 \leq Y \leq 10$)

Diedros : Articulación de diferentes superficies del tipo $Z=X$.			
Articulación entre planos obtenidos para las ecuaciones (expresadas de forma explícita) en los intervalos siguientes:			
A: $z = x+4$	$-4 \leq x \leq -2$	G: $z = -x-6$	$-7 \leq x \leq -6$
B: $z = 2$	$2 \leq x \leq 4$	H: $z = 1$	$-8 \leq x \leq -7$
C: $z = x$	$0 \leq x \leq 2$	I: $z = -x-7$	$-9 \leq x \leq -8$
D: $z = -x$	$-2 \leq x \leq 0$	J: $z = x+11$	$-11 \leq x \leq -9$
E: $z = -x+6$	$4 \leq x \leq 6$	En todas las ecuaciones la variable Y toma valores de $-2 \leq y \leq 2$	
F: $z = 0$	$-6 \leq x \leq -4$		
Bicóncavas - Biconvesas : Asociaciones dando forma ajustable a ecuaciones $z = e^{(-x^2-y^2)}$			
$z = e^{(-x^2-y^2)}$	$z = e^{(-2x^2-y^2)}$	$z = -e^{(-x^2-y^2)}$	
Asociaciones mixtas			
Combinación de $z = 0$ · $z = x^2$ · $z = 0$	Combinación de $z = 0$ · $z = x^2$ · $z = 0$	Combinación de $z = 0$ · $z = x^2 - y^2$	

Cuadro II.3.- Formas complejas representadas por fórmulas genéricas expresadas de forma explícita. Los gráficos se han generado a través del programa de cálculo simbólico MAPLE V.

Como se puede comprobar, este procedimiento de análisis es largo, a veces engorroso y difícil de cuantificar a partir del relieve natural; por ello se debe *discretizar el paisaje* de acuerdo a los objetivos de los estudios y así cuantificar cada uno de los parámetros en cada punto del modelo.

II.2.- La discretización del relieve: los modelos digitales de elevación y sus derivados

Para analizar un territorio desde el punto de vista morfométrico, es casi imposible comenzar tomando como modelo base el relieve real, ya que no podríamos procesar la enorme cantidad de datos que ello conlleva. Para estudiar las formas del terreno a una escala dada y con objetivos predeterminados, simplificamos el relieve mediante una discretización del mismo; en los últimos años, los modelos digitales de alturas empiezan a mostrarse como una herramienta fundamental para estos trabajos.

Los trabajos en Ciencias de la Tierra aplicando modelos digitales, tienen su origen en el Laboratorio de Fotogrametría del Instituto de Tecnología de Massachusetts en la década de los años 1950 (ref. Felicísimo, 1994); en él se establecen los principios para la resolución de problemas relacionados con la topología del terreno.

Pero la concepción de los modelos digitales de elevación como actualmente los conocemos (una malla de puntos que se corresponden con altitudes del terreno y cuya representación gráfica es una modelización de la superficie topográfica de un área concreta del territorio real) no comienza hasta mediados de la década de los años 1960; en 1967 el Laboratorio Análisis Espacial y Gráficos por Computadora de Harvard presenta el programa SYMAP para el manejo de cartografía digital, el cual incorpora una serie de utilidades de interpolación para generar mapas de isolíneas. La modelización en tres dimensiones se consigue posteriormente con el programa SYMVU desarrollado por este mismo laboratorio.

En la década de los años 1980 el Servicio Geológico de Estados Unidos estandariza la información de un modelo digital de elevación en formato matricial (malla de filas y columnas en la que cada nodo del mallado representa la altura del terreno real), además de establecer la denominación de MDE (Modelo Digital de Elevación en inglés *Digital Elevation Model – DEM*) como nomenclatura estándar, dejando la referencia de MDT (Modelo Digital del Terreno – *Digital Terrain Model DTM*) con un significado más general, destinado a cualquier conjunto de datos numéricos que

describe la distribución espacial de una característica del territorio (Doyle 1978); queda claro, pues, que los modelos digitales de elevación son uno más de los diferentes modelos digitales del terreno que pueden crearse.

En la actualidad los MDE presentan un desarrollo importante, en gran medida influenciados por la proliferación de los análisis del medio físico y los estudios ambientales que, a su vez, utilizan y se benefician de la gran progresión que han tenido los Sistemas de Información Geográfica (SIG). En dichos procedimientos utilizando SIG estos modelos se incorporan como un elemento más, y son la base para la obtención de parámetros secundarios como la pendiente, orientación, etc.

Los problemas que se plantean a la hora de realizar un modelo digital de elevación, pueden simplificarse en los siguientes puntos:

- ◆ Muestreo de los valores de partida.
- ◆ Separación del mallado y escala de trabajo.
- ◆ Método de interpolación.
- ◆ Corrección de errores.
- ◆ Obtención de modelos derivados.

Cada uno de estos puntos se tratará de forma individualizada, exponiendo los pros y contras de los diferentes métodos y dejando para un apartado posterior las modificaciones concretas propuestas por nosotros en esta Tesis.

II.2.1.- El muestreo de los valores de partida

La cantidad de datos que deben considerarse para la generación del MDE, está en relación con la definición que se quiera conseguir y la escala con la que se esté trabajando. No es tanto la cantidad como la calidad de los medios de obtención de datos lo que importa; es en estos segundos en los que debemos ser más exigentes y seleccionar adecuadamente el método posterior de interpolación.

Los procedimientos para adquirir datos son diversos y en general presentan un alto coste en tiempo y esfuerzo. Esos procedimientos podemos clasificarlos en dos grandes categorías: directos e indirectos. En los métodos directos la toma de datos se realiza sobre el terreno; mientras que en los indirectos se utilizan documentos ya elaborados. El cuadro II.4 muestra algunos ejemplos de ambos.

Directos		
<i>Método</i>	<i>Características</i>	<i>Medios</i>
Topografía	Exige la presencia física sobre el terreno. Se necesita mucho tiempo para la adquisición de datos. Muy costoso.	Estaciones de medida topográfica con salida digital o analógica.
Métodos Aerotransportados	No se encuentran limitados por la accesibilidad de la zona, pero sí por la rugosidad del terreno	Son altímetros incorporados a radar de alta precisión. El vehículo de transporte puede ser avión o un satélite.
GPS	Sistema de posicionamiento global. Es necesario posicionarse en el punto geográfico que se desea medir; se necesita tiempo para medición precisa, así como mucho soporte técnico (cuatro satélites para la mediciones precisas), escasa cobertura vegetal y tener una segunda estación de apoyo.	Sistema de localización geográfica soportado por la triangulación entre la estación de medida y un conjunto de satélites de referencia que permite la obtención de las tres coordenadas espaciales de un punto.
Indirectos		
Restitución	La adquisición de datos se realiza con relativa rapidez en comparación a los métodos anteriores. Uno de los puntos en contra más importantes, es el coste de los aparatos para la restitución de las imágenes.	Método manual o automático de procesado de imágenes estereoscópicas generadas por pares de fotografías aéreas o espaciales. Los sensores de obtención de las imágenes pueden ser variados.
Digitalización	Es un método asequible económicamente para la mayoría de las personas; según sea automático o manual se necesita scanner o tabletas digitalizadoras. En cualquier caso necesita un proceso de filtrado y corrección de errores.	Consiste en el paso de la información de mapas topográficos en soporte impreso a formato digital. Los métodos pueden ser automático (scanner), semiautomático (tabletas digitalizadoras) y manual (malla uniforme en soporte impreso semitransparente).

Cuadro II.4. Diferentes procedimientos para la obtención de datos en la generalización de modelos digitales de elevación (modificado de Felicísimo, 1994).

En general el procedimiento más utilizado es la digitalización, mientras los restantes sirven como apoyo y para la obtención de datos de respaldo en la corrección de errores.

II.2.2.- Separación de mallado y escala de trabajo

Existen varias posibilidades de trabajar con los valores obtenidos de partida a la hora de generar el MDE: la disponibilidad, el reparto espacial de los datos y, sobre

todo, el destino que queramos dar a nuestro modelo digital, serán los que nos aconsejen seleccionar el tipo de mallado; el volumen de datos de partida y la definición que se desee obtener, marcarán la escala de trabajo.

La estructura de datos en el MDE depende de las interrelaciones entre los elementos base que conformarán el resultado final, así tomaremos como elemento base cada una de las tripletas de valores de altura y coordenadas de los mismos, que conforman un conjunto de datos finito y explícito respecto a la altura. El cuadro II.5 muestra un resumen de las diferentes estructuras en las que pueden ser presentados los datos de partida.

Estructuras de los MDE	VECTORIALES (basados en entidades de puntos y líneas definidas por sus coordenadas).	Contornos: es un vector constituido por un conjunto de pares de coordenadas que describen la trayectoria de una línea isométrica; pueden ser introducidos elementos puntuales sin ser desvirtuada la estructura.	Secuencial (las líneas se almacenan como cadenas de cotas)
		Perfiles: corresponden a cadenas de coordenadas con cotas variables.	Analítica (las líneas se encuentran almacenadas como segmentos de Bézier, polinomios, etc).
		Triángulos: está definido por un conjunto de triángulos irregulares adosados formando una malla. Los triángulos resultan de la unión de tres puntos cercanos no colineales. La distribución de puntos y triángulos no tiene que presentar un patrón establecido.	
	TESELADOS (Los datos corresponden a los valores medios de las unidades elementales de superficie no malla que teselan el terreno con una distribución regular, sin solaparse y recubriendo la totalidad del área).	Matrices: están constituidos por conjuntos de números que representan una característica del terreno, en el caso de los MDE es la altitud, repartidos siguiendo un patrón regular, que da lugar a una malla. Pueden considerarse como las estructuras más utilizadas.	Regulares: los valores se distribuyen según un patrón regular en una malla de celdas unidad cuadrada, conformando filas y columnas equidistantes.
Polígonos: es similar al anterior, pero en este caso las unidades elementales de superficie pueden presentar formas diferentes a la cuadrada, por ejemplo triángulos regulares o hexágonos.		Escalable: en este caso la malla está compuesta por submatrices jerárquicas y de resolución variable. Las posibles ventajas respecto al método Regular es la adecuación mejor de la malla a los datos existentes, aunque el desarrollo de métodos de tratamiento de datos no está muy avanzado.	

Cuadro II.5 Modelos de estructuración de datos en los MDT (modificado de Felicísimo, 1994). La representación de las diferentes estructuras planteadas puede verse en la figura II.1

Del conjunto de posibilidades expuestas, las de mayor uso actualmente son las Matrices Regulares y los Triángulos, denominados usualmente TIN (*triangulate irregular network*-red de triángulos irregulares).

Nosotros aquí hemos optado por los modelos matriciales regulares, ya que son los que presentan un mejor desarrollo técnico y la mayoría, por no decir la totalidad, de los programas de tratamiento de Sistemas de Información Geográfica permiten la incorporación de estos datos, basándose muchos de sus cálculos y gestión de la información en este tipo de estructuras.

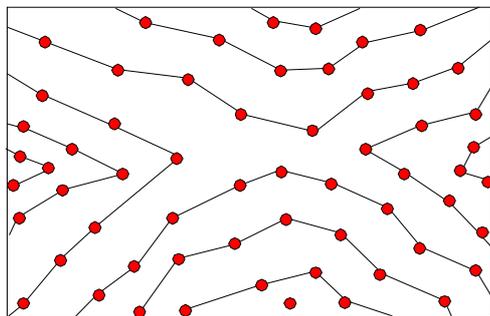
El otro gran problema que se plantea a la hora de preparar un MDE, es la escala de trabajo y la precisión que deseamos obtener durante los procesos de interpolación para crear la malla regular; en general se abusa de los datos de partida, ya que se intenta obtener más información de la contenida en los valores iniciales. Los resultados, aunque muy espectaculares en apariencia (favorecidos actualmente por la facilidad de obtener modelos tridimensionales de la topografía), hacen perder la perspectiva de la definición de los datos de partida y en la mayoría de los casos conducen a resultados que se apartan mucho de la realidad.

No es fácil establecer criterios o tablas de correspondencia entre el número de datos y la precisión que estos ofrecerán en el resultado; estas valoraciones son difíciles de estimar, ya que influyen muchas variables: la distribución espacial de los datos, la precisión con la que han sido tomados, el número de los mismos, la escala de partida, la precisión final, etc. En el caso que se trata aquí, los datos de partida han sido obtenidos por la digitalización de las cartografías existentes, con lo que se dispone de una nube densa y con reparto suficiente para cubrir todo el área convenientemente.

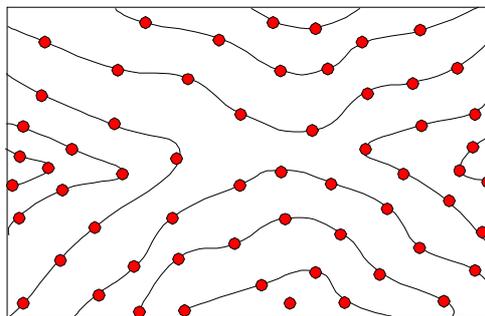
La definición del mallado que hemos seleccionado para los diferentes mapas, ha estado en función de la escala de los documentos con los que se han obtenido los datos previos a la generación de la malla de trabajo. Así, si el documento de partida es un mapa 1:50.000 la máxima resolución del mallado se ha establecido en 50 metros de interlineado e intercolumnado en la malla, es decir, un punto cada milímetro de la hoja topográfica. Este límite lo establecemos no por problemas con la precisión de los medios mecánicos, que en muchos casos son muy superiores, sino en los posibles errores humanos cometidos en el proceso de introducción de los datos.

El problema de la selección de escala queda trasladado a la escala de los documentos disponibles sobre el área de trabajo, ya sean estos impresos, digitales o soporados bajo cualquier otro medio. Así pues, la selección de la escala de trabajo depende de la información cartográfica disponible sobre una determinada zona. Si se desea una mayor precisión, deben obtenerse los datos a través de una medida *in situ* sobre el terreno.

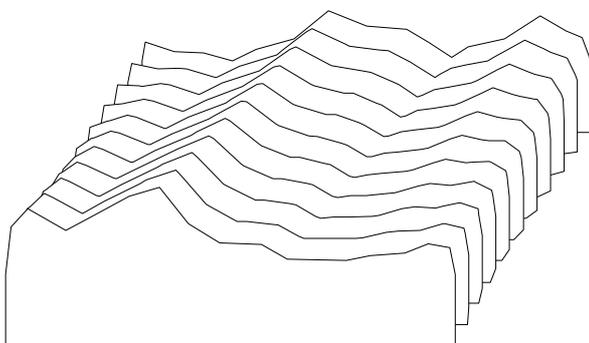
Contornos secuenciales



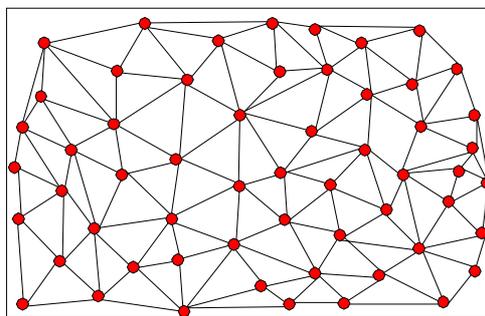
Contornos analíticos



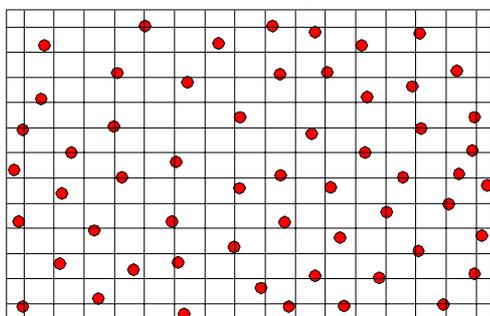
Perfiles



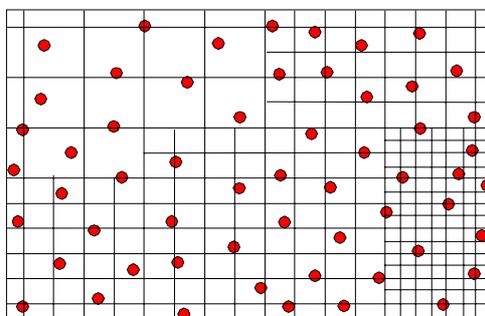
Triangulación



Matrices regulares



Matrices escalables



Polígonos

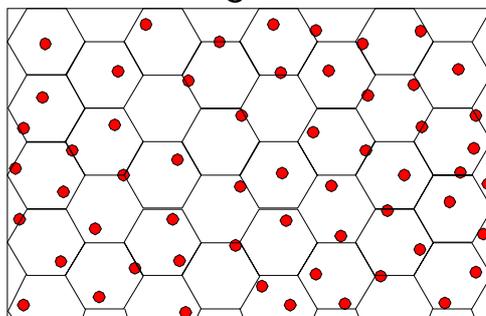


Figura II.1 Diferentes estructuras de datos. Las cuatro superiores corresponden a estructuras vectoriales, mientras la tres inferiores a estructuras matriciales.

II.2.3.- Métodos de interpolación

Los métodos para obtener las mallas regulares de datos son muy diversos y con frecuencia contienen algoritmos de interpolación más o menos precisos y sofisticados. Los más utilizados son los que usan algoritmos en función de: una potencia de la inversa de la distancia de los puntos origen al punto que se debe calcular; la estimación de superficies de tendencia de los puntos en el entorno del punto a calcular; y el *Kriging* (estimación del valor a través de una media ponderada en función de la distancia).

II.2.3.1.- Inversa de la distancia

Este método calcula la interpolación de los datos, asignando un peso a cada uno de los puntos del entorno del punto problema en función de una potencia de la inversa de la distancia entre ambos. La ecuación es:

$$Z_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n z_i d_i^k}{\sum_{i=1}^n d_i^k}$$

Donde Z_{xy} representa el valor a estimar, z_i los diferentes valores considerados, d_i la distancia entre el punto a calcular y cada uno de los puntos estimados, y k representa la potencia a la que se eleva la distancia entre los puntos.

Este es un procedimiento rápido para la obtención de los mallados, pero su resultado se encuentra muy limitado por la distribución de los datos seleccionados y el rango en el que varían estos. Es un método que debe destinarse al visionado rápido de la información, no siendo el más adecuado si se van a generar mapas derivados de un modelo obtenido.

II.2.3.2.- Estimación de superficies de tendencia

Se basa en el ajuste de la nube de puntos de partida a una ecuación polinómica de orden k que representa la superficie del terreno. La ecuación general es:

$$Z_{xy} = \sum_{i=0}^k \sum_{j=0}^{k-1} a_{i,j} \cdot X^i \cdot Y^j$$

El parámetro $a_{i,j} \cdot X^i \cdot Y^j$ representa la ecuación polinómica de ajuste ($a_{00} + a_{10} \cdot X + a_{01} \cdot Y + \dots$).

El método aplicado al entorno del punto problema se resuelve con ajustes puntuales del relieve; si se aplica a la totalidad de los datos obtendremos modelos que expresan tendencias generales del relieve, obviando en gran medida los detalles de ajuste puntual.

El valor de k dependerá de la relación que queramos obtener entre la complejidad de la operaciones a realizar y el ajuste con los datos de partida, correspondiendo al orden del polinomio. La selección del valor de k debe hacerse en función del que representa el mínimo error posible entre los valores obtenidos y los reales; este se obtiene a través de la suma de las desviaciones entre los datos obtenidos y los reales, es decir:

$$\sum_{x,y} (\hat{z}_{x,y} - z_{x,y})^2 \langle E_{\max}$$

Donde E_{\max} representa el error máximo aceptables y prefijado, $\hat{z}_{x,y} - z_{x,y}$ representa la diferencia entre el valor calculado y el real.

Este procedimiento tiene ciertos problemas, debidos fundamentalmente al número de datos sobre el que se realiza el cálculo y a la distribución de los mismos. Si el número de datos es escaso, el modelo obtenido pierde representación de la superficie real; fenómeno que se hace patente en los bordes del área de cálculo, donde el número de valores es bajo, obteniéndose resultados más dispares cuanto mayor es el valor de grado de la ecuación. Si la distribución de los datos es homogénea los resultados son buenos, en el caso contrario (por ejemplo, si la información está muy concentrada en determinadas zonas) los resultados se verán muy controlados por el patrón de distribución. Un ejemplo claro de este tipo de problemas lo tenemos cuando los datos de partida proceden de la digitalización de curvas de nivel con excesiva densidad; para evitarlo se pueden aplicar cálculos en los que la distancia entre los datos digitalizados sea igual a la distancia entre las curvas de nivel.

II.2.3.3.- Métodos geoestadísticos

Estos métodos, desarrollados por Materno y su escuela a principios de los años 1970, basan su estimación de valores de malla en una media ponderada que se en-

cuentra relacionada con la distancia de los puntos seleccionados al punto problema. El procedimiento más utilizado es el *Kriging* o *Krigeage*, que se considera la variable desde un punto de vista regional y calcula su valor en un punto determinado a partir de unos valores de ponderación similares a los utilizados en el inverso de la distancia; de esta manera el estimador presente una varianza de la estimación mínima, sea lineal e insesgado (en promedio el error es nulo). La ecuación general sobre la que se basa este método de interpolación es:

$$\hat{Z}_{xy} = \sum_{i=1}^k \lambda_i \cdot Z_i$$

Donde k representa el conjunto de datos que están situados en torno al punto que deseamos calcular, y λ representa los pesos asignados a cada uno de los datos del entorno.

Previo al cálculo de la malla debería realizarse una estimación estadística de la relación espacial de los datos, la cual no puede hacerse por los métodos estadísticos convencionales ya que éstos consideran los datos aleatorios e independientes entre sí; debemos pues buscar dicha relación en la geoestadística, la cual no sólo considera el valor de un punto concreto de la variable sino también la posición de dicho punto en relación con las otras muestras y su posición espacial. Esta correlación se realiza a través de una de las funciones denominadas variograma o semivariograma, que nos definirán las relaciones espaciales entre los puntos.

Esta función calcula la variación de la correlación entre los datos en función de la distancia y viene expresada por la ecuación:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2 \cdot n} \sum_{i=1}^n (Z_{pi} - Z_{pi-h})^2$$

Donde n es el número de pares de valores separados por una distancia h, Z_{pi} es el valor de la variable en un punto determinado, y Z_{pi+h} corresponde al valor de la variable en un punto situado a una distancia h del anterior.

El método es óptimo siempre que se cumpla que el variograma sea válido para todo el modelo, es decir, la interdependencia de los datos debe ser función exclusiva de la distancia entre ellos. La desventaja más destacable del método es la cantidad de cálculos necesarios para obtener el modelo, que se hace más significativo en el cálculo del variograma; por poner un ejemplo, si partimos de 5000 datos (se obtienen fácilmente si digitalizamos un mapa 1:50000) el número de pares de datos se sitúa en 12497500 ($N \cdot (N-1) / 2$), lo cual requiere un tiempo de procesado muy alto.

II.2.3.4.- *Métodos basados en triangulación*

Además de los procedimientos anteriormente descritos, actualmente se utilizan otros basados en la generación de mallas que realizan una teselación triangular del territorio, situando los puntos iniciales como vértices de los triángulos y calculando a lo largo de las aristas los valores intermedios entre vértices; esta interpolación de las aristas puede realizarse linealmente, a través de un polinómico, etc. Los más usados son los métodos de redes de triángulos irregulares y Thiessen o teselación Voronoi.

Conviene precisar que estos métodos no nos aportan la precisión que se necesita y, además, se encuentran muy controlados por la forma de la malla de triangulación, por lo que no se utilizarán para la generación de la malla base.

II.2.4.- **Corrección de errores**

Al tratar este tema hay que considerar que los modelos de elevación son una simplificación de la superficie del territorio y, como toda simplificación, presenta errores. Esos posibles errores son consecuencia de:

- ◆ El procedimiento en la obtención de valores iniciales. En estos casos pueden ser achacados a mediciones incorrectas o defectuosas de los valores de la variable. Los primeros pueden ser “enmascarados” por atenuación en el mallado final, ya que cada punto del modelo es una ponderación de los vecinos; el segundo, un error de cota por ejemplo, es más difícil de ser atenuado, aunque si el error es importante es fácil de localizar y corregir. Las fuentes principales de estos errores son:
 - Errores de digitalización.
 - Deformación de los documentos de partida.
 - Errores de precisión de los aparatos de medida o digitalización.
 - Errores humanos en la manipulación de los datos.

- ◆ El procedimiento en la interpolación del modelo. Estos defectos son producto de la discretización del modelo y del tipo de operaciones matemáticas que se eligen dentro de los programas de interpolación para generar la malla final. Este error puede ser calculado si disponemos de puntos de control para comparar el modelo a la realidad.

Para el presente estudio, los errores han sido corregidos en función de los valores de los residuales de la alturas, de los datos de partida, y de los calculados para el modelo. Una vez analizados todos, se han eliminado aquellos que presentan mayor dispersión y se ha generado el modelo nuevamente; el máximo error considerado como válido ha sido de 10 metros. El primer modelo obtenido es a su vez analizado para comprobar la inexistencia de errores de altura significativos; en caso de ser detectados son corregidos dentro del modelo. Una vez corregidos los datos de partida y los puntos con errores de altura, se vuelve a generar el modelo.

II.2.5.- La obtención de mapas derivados

Tomando como punto de partida el modelo digital de elevación, se pueden realizar una serie de mapas derivados que nos aportan información de la configuración del relieve. Los parámetros o funciones derivadas más frecuentes que se obtienen a partir del modelo digital de elevación son: *el gradiente topográfico, la pendiente, la curvatura, la orientación y la rugosidad*. A estos parámetros, todos ellos cuantitativos, pueden añadirse otros tantos, cuantitativos y cualitativos, que nos permiten afinar más en la explicación de la configuración geométrica del relieve.

A continuación expondremos brevemente el procedimiento para calcular esos parámetros, que son los más estandarizados, y después nos referiremos a otros que presentamos aquí como nuevos, éstos son: *desarrollo del segmento, energía del relieve, tendencia del relieve, sentido de la inclinación, carácter de los segmentos, mapa morfométrico, mapa de tipologías y articulaciones*. Para la automatización de los cálculos se ha desarrollado un programa específico en esta Tesis Doctoral, al que hemos denominado *Pendientes*; una explicación de su uso se encuentra en el Apéndice II

II.2.5.1.- *El gradiente topográfico*

El gradiente topográfico suele expresarse haciendo referencia a un plano de ajuste del entorno inmediato del punto que se quiere evaluar, dentro de la malla de datos del modelo de elevación; constituye la primera derivada del modelo de elevación respecto a los ejes de coordenadas (Felicísimo, 1994). En el cálculo de este parámetro se obtienen medidas del entorno más próximo del valor, lo que en cierto modo suaviza los posibles valores que se obtienen de la variable gradiente.

En lo referente a los estudios morfográficos y geomorfológicos el cálculo del gradiente es de vital importancia, ya que determinará (atendiendo únicamente al pa-

rámetro altura o diferencia de altura) los entornos donde existe mayor posibilidad de ocurrencia de determinados procesos como la arroyada, los movimientos de masa, ángulos críticos de estabilidad, etc. Por tales motivos, tanto en los programas como en los cálculos desarrollados para esta tesis, se ha buscado el mayor valor del entorno con relación al punto problema.

Esta evaluación de los valores críticos de gradiente deben hacerse no solamente del conjunto de los inmediatos, sino también aplicar un desglose del cálculo en las direcciones principales; es decir, si el cálculo se realiza con las cuatro magnitudes más próximas, aparte del análisis de grupo deberían realizarse otros según la dirección E-O y la N-S por separado. Esto nos permitirá conocer las posibles fronteras de cambios en ambas direcciones.

En los modelos raster, la fórmula de cálculo puede obtenerse a través de los cuatro o los ocho píxeles vecinos más próximos. En el primero de los casos, si el modelo digital se ha discretizado a partir de curvas de nivel, es frecuente la aparición de aterrazamientos; una forma de suavizado de estos escalonamientos es la consideración de los ocho vecinos más próximos.

Tanto si calculamos la variación de altura entre los puntos vecinos (ocho o cuatro) o el gradiente de altura, entendiendo este último como una medida de la diferencia de altura entre dos puntos en relación a la distancia horizontal que los separa, se observa que las diferencias de las consideraciones de búsqueda varían en gran medida el resultado final. El gráfico II.4 muestra los posibles resultados entre diferente tipos de cálculo, estas variaciones pueden enfatizar u ocultar rasgos del territorio; es por ello que se debería considerar este tipo de selección a la hora de realizar el estudio.

Como se puede comprobar en el gráfico II.4 los mapas 0, 4, 40, 43, 50, 60, 63, 70, 71, 74 enfatizan en función de la escala de representación elegida las áreas de relieves con mayor contraste de altura respecto a las zonas más llanas, pudiendo tomarlas como base para separar los elementos orográficos más destacables del territorio. Los mapas antes mencionados, en general presentan una gran coincidencia en las áreas resaltadas, con pequeñas variaciones que se encuentran en función del método de cálculo del valor asignado a cada punto del modelo.

II.2.5.2.- *La pendiente*

La pendiente del terreno, como hemos visto en el apartado del análisis de los perfiles morfométricos, constituye uno de los parámetros fundamentales de los aná-

lisis de las formas, pues conforma la herramienta base para la detección de los cambios que separan una geometría de otras.

Las definiciones de esta variable del paisaje pasan por muchas tipologías: desde la basada en consideraciones matemáticas que la establecen como *la tangente del ángulo que forma la recta con el eje horizontal en un sentido positivo*; la obtenida del mapa derivado anterior que define *la pendiente en un punto del terreno como el ángulo existente entre el vector gradiente en ese punto y el eje que representa los valores de altura*; o bien como coloquialmente suele expresarse *< la inclinación del terreno respecto a la horizontal >*. En realidad, la pendiente constituye la primera derivada de la función altura de cada uno de los puntos del territorio.

Tanto las definiciones del significado de pendiente como las fórmulas utilizadas para su cálculo, pueden seguir los métodos más variados. Igual que en el caso de los gradientes topográficos, existen variaciones según el método elegido para su cálculo partiendo del modelo digital; la ecuación más utilizada en los programas gestores de SIG y también aquí por nosotros es :

$$\gamma = \arctan \sqrt{a_{10}^2 + a_{01}^2}$$

Donde a_{10} representa el gradiente según el eje x y a_{01} el gradiente respecto al eje y (calculados en función de los valores de los puntos superior e inferior, derecho e izquierdo del punto problema, partidos por la distancia que los separa). Según este método se obtiene la máxima pendiente que corresponde con la orientación del punto que se analiza.

El gráfico II.5 muestra la salida de la hoja de San Martín de Valdeiglesias según este método. El programa desarrollado en esta Tesis permite obtener además la pendiente de seis formas diferentes y siempre en función de los cuatro u ocho vecinos más próximos. Los métodos de cálculo buscan el valor máximo del gradiente, el valor medio o el valor mínimo entre los píxeles vecinos. La ecuación para cada uno de los puntos representa el cálculo del gradiente para los puntos del entorno del punto problema, basándose en:

$$\gamma = \arctan \left(\frac{|h_0 - h_1|}{d} \right)$$

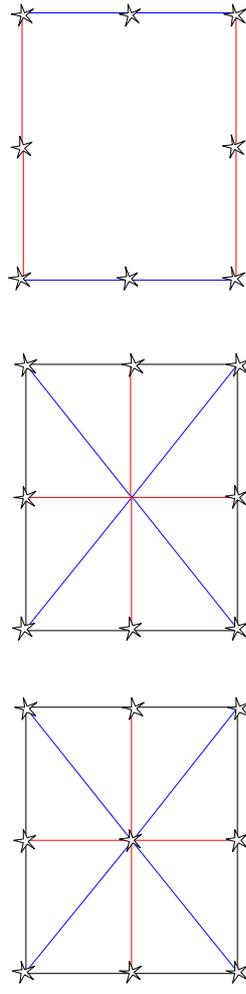
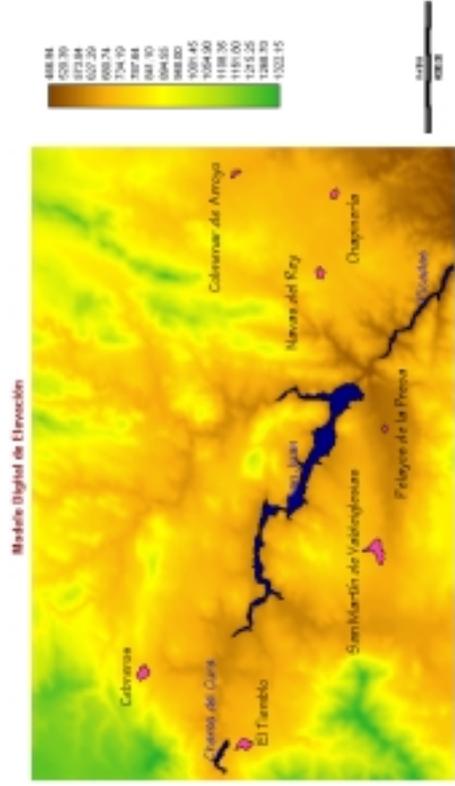
Donde el valor h_0 representa la altura del punto a calcular y h_1 la del vecino más próximo, d representa la distancia horizontal que separa ambos puntos.

Para no obtener valores negativos en la pendiente se ha aplicado el valor absoluto al término h_0-h_1 . Una vez obtenida la pendiente en cada punto (cuatro puntos para el caso de cuatro vecinos – cuadrantes - y ocho en el caso de ocho vecinos – octantes -) se procede al cálculo del mayor valor de pendiente, la media aritmética de todos ellos y el mínimo, generando los diferentes mapas que se muestran en el gráfico II.6.

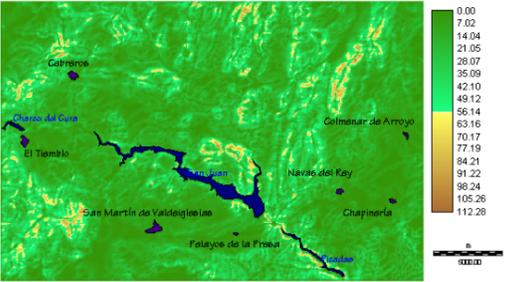
Gráfico II.4. Representación del contraste altitudinal de los diferentes puntos que constituyen el modelo digital de elevación. El primero de los mapas corresponde al MDE de partida, los tres gráficos siguientes muestran las tres formas de búsqueda de valores en torno al punto central. Las fórmulas de cálculo se realizan de la siguiente manera: en el primero de los casos se calcula la diferencia de altura entre el punto central y los 8 vecinos más próximos; en el segundo de los casos la diferencia de alturas se establecen entre los opuestos, omitiendo el punto central; y en el tercero se establece primeramente la media de altura de cada uno de los lados del cuadrilátero, estas medias se comparan con su opuesta.

Las imágenes inferiores se agrupan como sigue: las tres primeras columnas muestran los contrastes altitudinales, mientras que las tres siguientes indican el gradiente altitudinal de cada pixel; en ambos grupos de tres, la primera imagen representa el valor máximo, la segunda la media y la tercera el mínimo. Cada una de las filas representa un procedimiento para realizar la medición del valor central respecto a los vecinos más próximos, así tendremos:

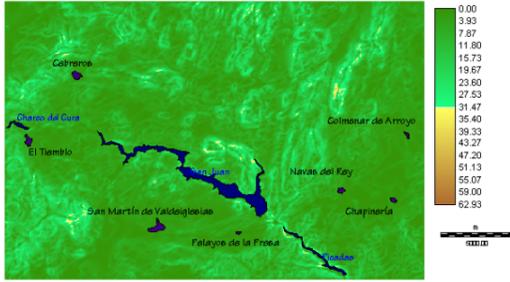
- 1ª Fila: se consideran todas las combinaciones de los tipos de búsqueda 1 y 2.
- 2ª Fila: exclusivamente se analizan los ocho vecinos más próximos con el valor central (tipo de búsqueda 1).
- 3ª Fila: los valores que se analizan pertenecen a los elementos centrales de los lados del cuadrilátero respecto al punto central (líneas rojas de tipo de búsqueda 1).
- 4ª Fila: igual a la anterior pero en este caso con los valores situados en los vértices (líneas azules del tipo de búsqueda 1).
- 5ª Fila: en ella se representan los valores según el cálculo de valores opuestos de los ocho vecinos más próximos (tipo de búsqueda 2).
- 6ª Fila: es igual a la anterior pero solamente considerando los opuestos de los centros de los lados del cuadrilátero.
- 7ª Fila: similar a las dos anteriores, pero considerando los puntos opuestos de los vértices.
- 8ª Fila: estas representaciones son exclusivas del tercer tipo de búsqueda.



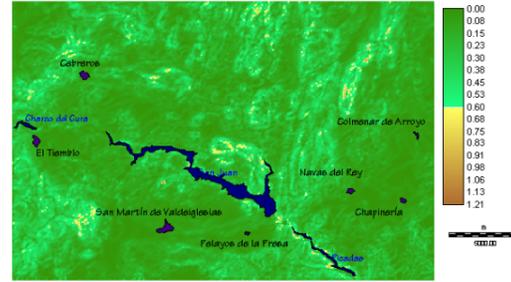
Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (0)



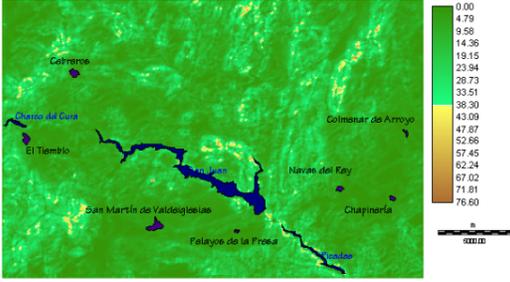
Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (1)



Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (2)



Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (10)



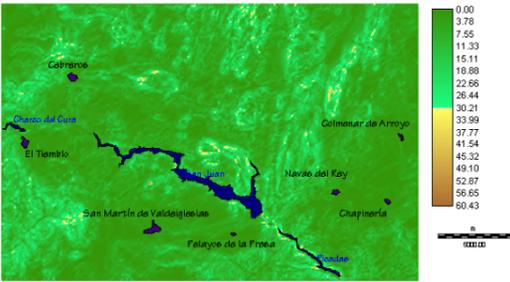
Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (11)



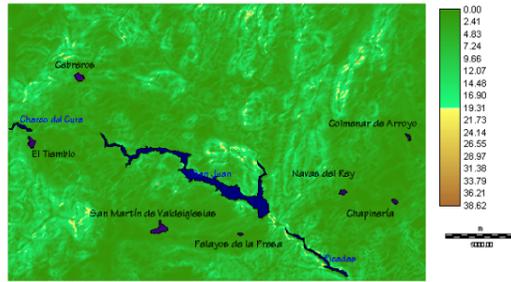
Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (12)



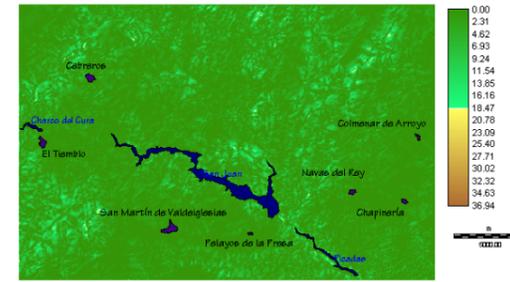
Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (20)



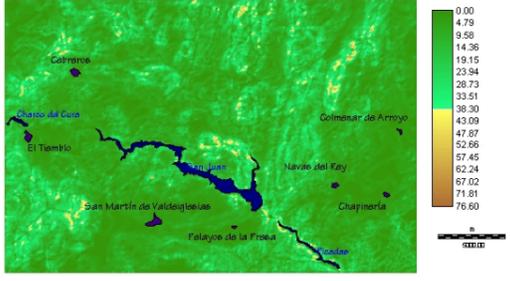
Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (21)



Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (22)



Mapa de contrastes altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (30)



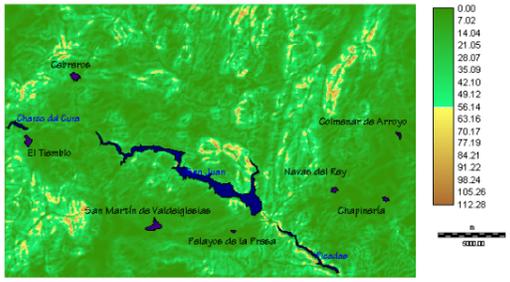
Mapa de contrastes altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (31)



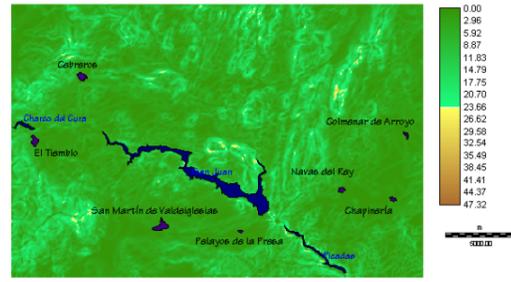
Mapa de contrastes altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (32)



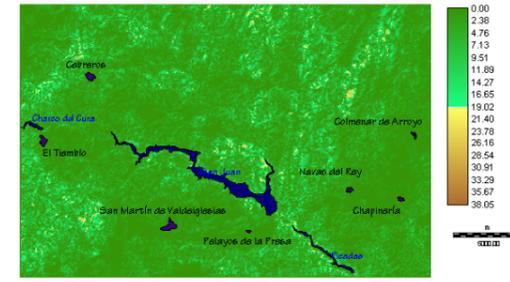
Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (40)



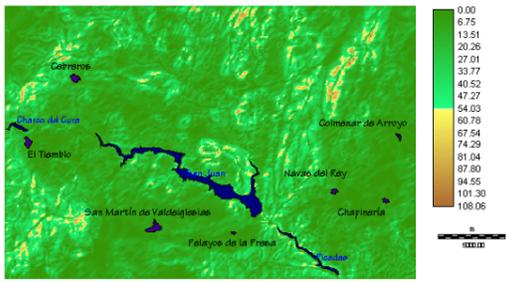
Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (41)



Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (42)



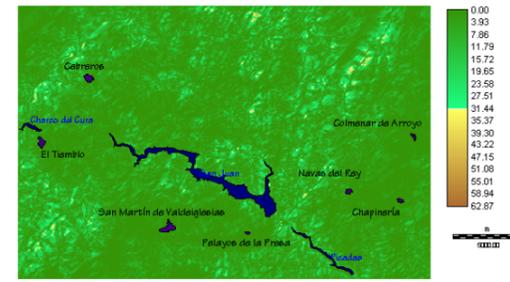
Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (50)



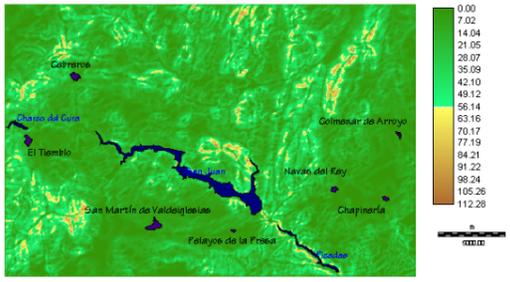
Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (51)



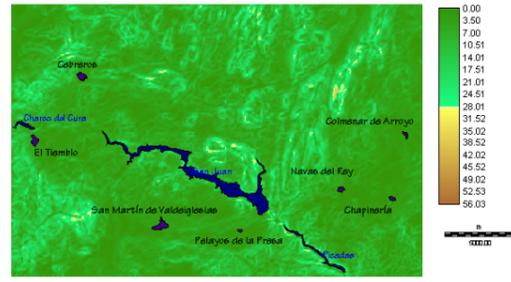
Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (52)



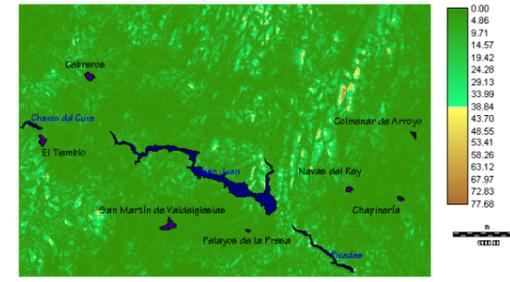
Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (60)



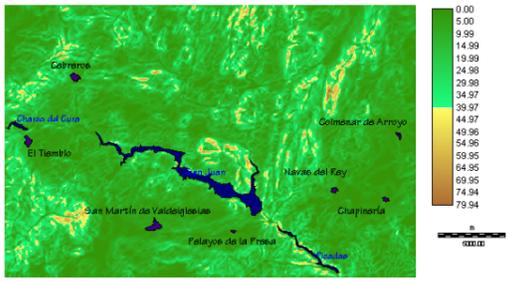
Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (61)



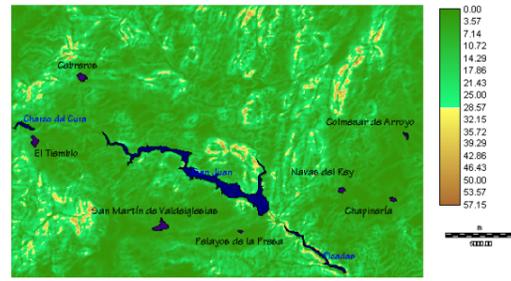
Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (62)



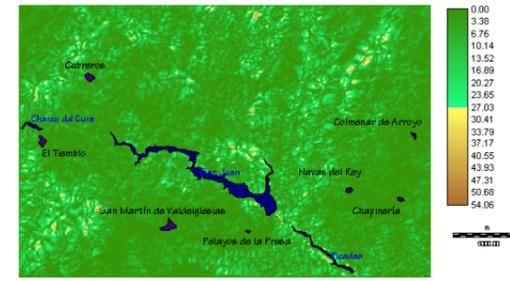
Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (70)



Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (71)



Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (72)



Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (3)



Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (4)



Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (5)



Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (13)



Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (14)



Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (15)



Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (23)



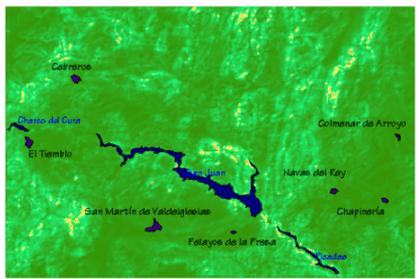
Mapa de contrastes altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (24)



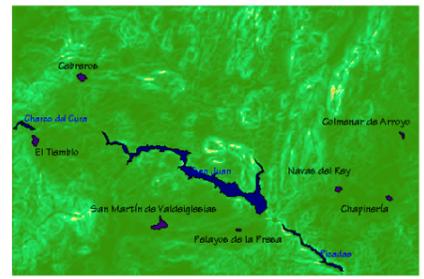
Mapa de contrastes altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (25)



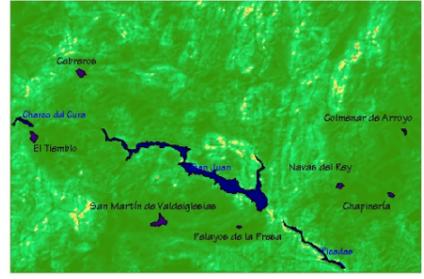
Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (33)



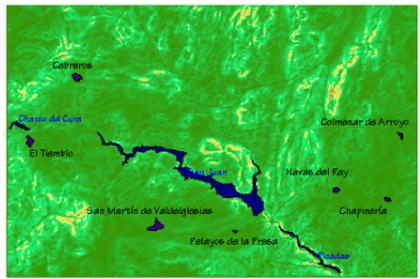
Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (34)



Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (35)



Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (43)



Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (44)



Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (45)



Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (53)



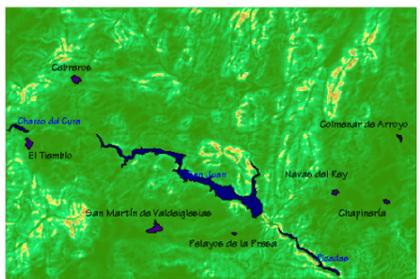
Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (54)



Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (55)



Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (63)



Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (64)



Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (65)



Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (73)



Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (74)



Mapa de contraste altitudinal de San Martín de Valdeiglesias (75)



Mapa de pendientes

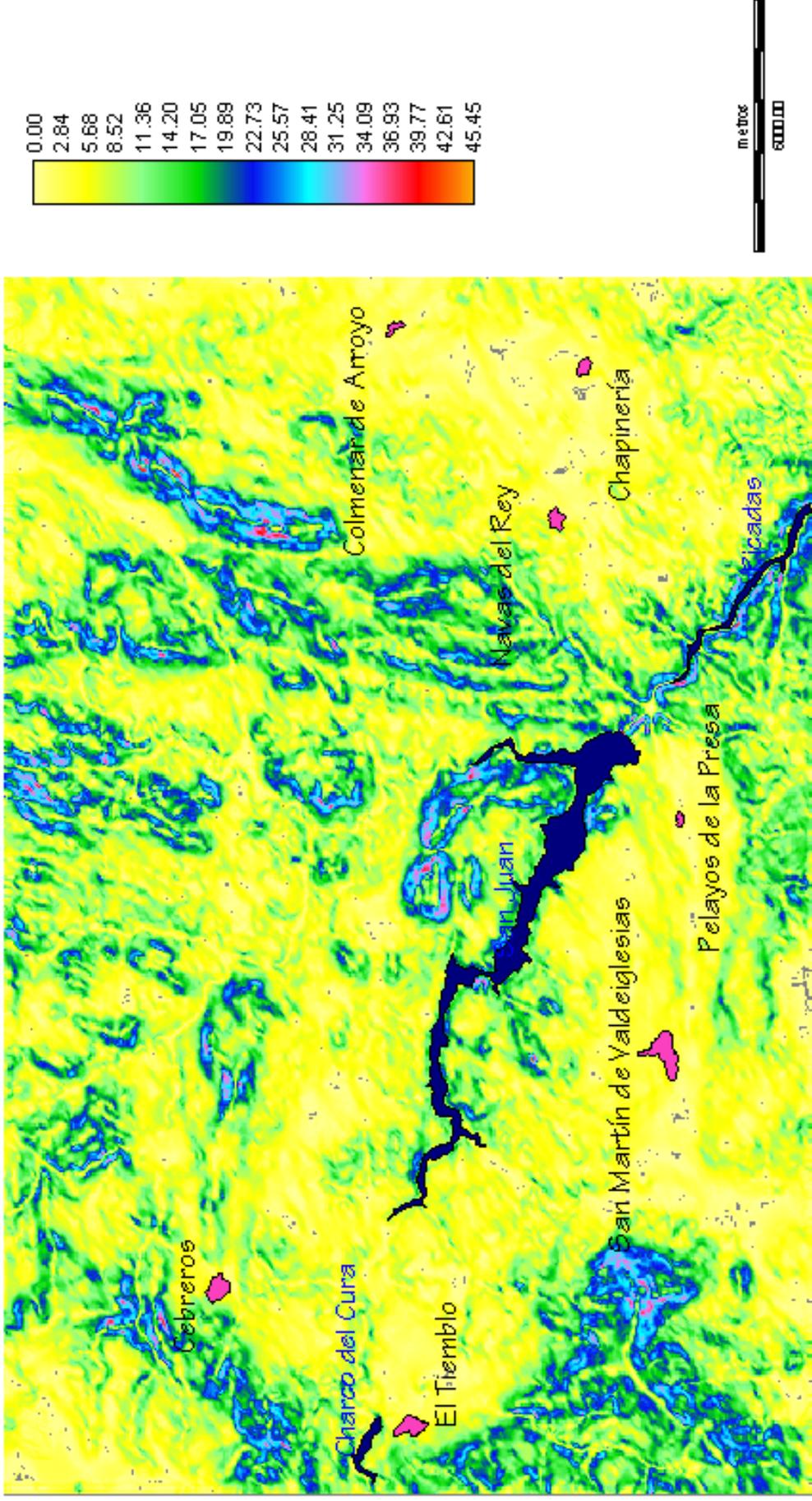


Gráfico II.5: Mapa de pendientes calculado según la fórmula general (Mapa militar de España, E. 1:50.000, hoja 17-22 (557), San Martín de Valdeiglesias)

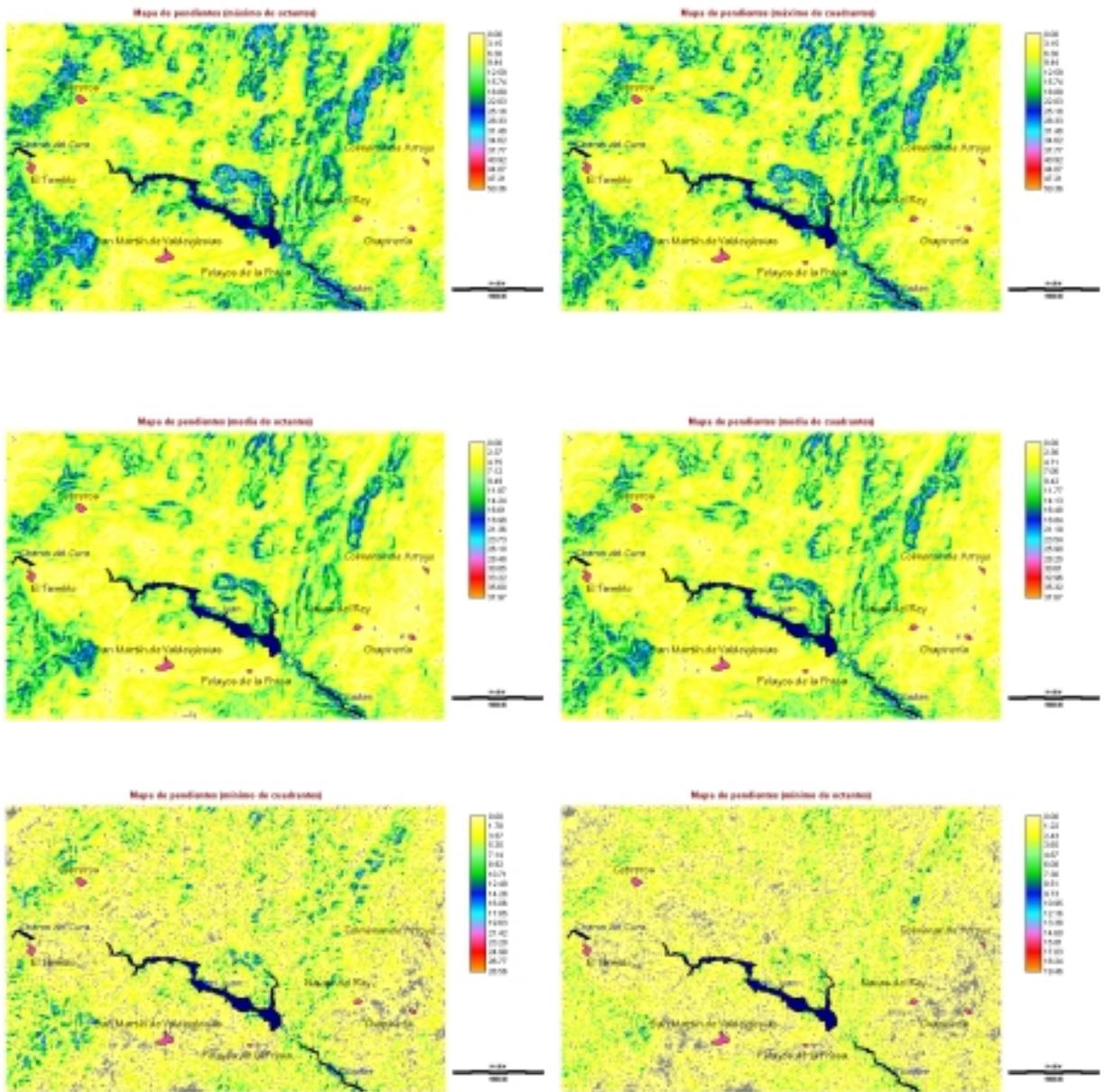


Gráfico II.6. Mapas de pendientes desarrollados por el programa “Pendientes” según los tres métodos de obtención de valor y los dos de búsqueda de valor. Los dos mapas superiores indican las pendientes máximas de los cuatro y ocho vecinos más próximos respectivamente; los dos centrales las pendientes medias y los inferiores las mínimas; los valores de las escalas expresan el rango de pendiente en grados.

Entre los mapas superiores se puede apreciar un mayor resalte de los valores más altos en el análisis de los 8 vecinos más próximos (octantes) que respecto a los cuatro, quedando más resaltados los relieves culminantes de cuerdas; quedan bien diferenciados los elementos lineales y las fisionomías más planas, también quedan claramente definidas y separadas de los laderas.

En los mapas centrales, se representan valores medios de la pendiente y tienen mejor representación las laderas, dando lugar a un mayor rango y de definición. Por último, los mapas inferiores dan más amplitud de rangos en las fisionomías planas, permitiendo diferenciar más claramente la geometría y variaciones en estas áreas (Mapa militar de España, E. 1:50.000, hoja 17-22 (557), San Martín de Valdeiglesias).

II.2.5.3.- Curvatura

La curvatura en un punto es definida por Felicísimo (1994) como la tasa de cambio de la pendiente en el entorno del punto; por tanto, constituye la segunda derivada de la función altitud o la primera de la pendiente.

El procedimiento de cálculo que se ha seguido en el programa *pendiente* se basa en lo expuesto por Felicísimo (op cit) y constituye un parámetro de cuantificación de la curvatura en un punto. Su ecuación viene expresada por:

$$\eta_x = \frac{\gamma_{i,j-1} + \gamma_{i,j+1} - 2\gamma_{i,j}}{d_{col}^2}$$

En este caso se calcula la curvatura según el eje x y los valores de γ corresponden a la pendiente en el punto posterior, anterior y el mismo punto problema; la d_{col} representa la distancia (resolución del mallado) entre la columnas del MDE. Para obtener el valor final de la curvatura debemos calcular ésta según el eje y y sumarlo a la del eje x . Si en nuestro modelo de partida la distancia entre filas y columnas es igual las ecuaciones individuales se pueden unir en una sola ecuación :

$$\eta_{xy} = \frac{\gamma_{i,j-1} + \gamma_{i,j+1} + \gamma_{i-1,j} + \gamma_{i+1,j} - 4\gamma_{i,j}}{d^2}$$

El valor final obtenido por la ecuación es muy bajo, por lo que en el programa *pendiente* este valor se multiplica por 1000 para obtener al menos un dígito entero. La parte positiva del cálculo corresponde a puntos convexos, mientras la negativa conforma los puntos cóncavos, entendidos ambos casos en su significado coloquial de concavidad y convexidad. Un ejemplo del resultado obtenido para este parámetro puede observarse en la gráfico II.7.

Como puede apreciarse en la imagen, la mayoría de los puntos del modelo se concentran en torno a las posiciones centrales de la escala; esto es debido, fundamentalmente, al bajo rango de variación de la pendiente dentro de la zona, lo que da información sobre lo abrupto del terreno. Se puede decir que a menor dispersión en la totalidad de los valores del modelo respecto a la zona central de la escala, el territorio presentará menos cambios bruscos e irregularidades.

II.2.5.4.- *Rugosidad*

En relación a este parámetro no existen criterios claros de estimación y en general los programas siguen diferentes métodos, así (ver al respecto Felicísimo 1994): Balce (1987) utiliza la pendiente media como estimador de un factor de rugosidad; Evans (1972) hace hincapié en los métodos basados en los rangos altitudinales; y Hobson (1972) propone un primer método que compara la superficie real y su representación horizontal, otro que sigue cálculos estadísticos y miden diferencias entre cotas reales y cotas del modelo, y un tercer método que estudia la dispersión de los vectores normales a la superficie. Franklin (1987), por su parte, opina que este parámetro debe ser independiente del resto de factores considerados hasta ahora y propone la suma de los vectores unitarios perpendiculares a la superficie en el punto y su entorno; si el resultado de la suma vectorial es elevado, el terreno es poco rugoso, mientras que si es pequeño es muy rugoso.

Con el programa “Pendientes”, este parámetro puede ser estimado de varias maneras: una de ellas considera la variación media de la pendiente entre el punto a estimar y sus vecinos más próximos (cuatro vecinos); en este método la diferencia de pendiente entre el punto problema y los vecinos es siempre positiva, pero cuanto más cercana a 0 , menos rugoso es el entorno del punto (gráfico II.8).

Otro procedimiento que permite el programa aludido, consiste en el cálculo de la dimensión fractal del MDE. La idea parte de suponer que entre un objeto de dimensión dos (un plano) y uno de dimensión tres (una esfera) existe un espectro de dimensiones fraccionarias que la geometría euclídea tradicional no considera, mientras la geometría fractal sí. El ejemplo más claro está en suponer que se parte de un plano con dos dimensiones y lo arrugamos hasta conseguir una esfera, pasando de dos a tres dimensiones; todos los pasos intermedios constituyen dimensiones fraccionarias entre los dos extremos, que representan dos dimensiones euclídeas. Si se considera el MDE como un paso intermedio en ese proceso de conversión entre el plano y la esfera, podremos buscar un valor que estime en cada punto del modelo en qué posición del espectro de dimensiones se encuentra el entorno del punto problema y siempre en función del nivel resolutivo al que se esté trabajando.

El programa “Pendiente” basa su análisis en estimar cada punto de la malla y su entorno inmediato en la dimensión fractal, aplicando la ecuación básica del cálculo de la dimensión fractal:

Mapa del valor de curvatura

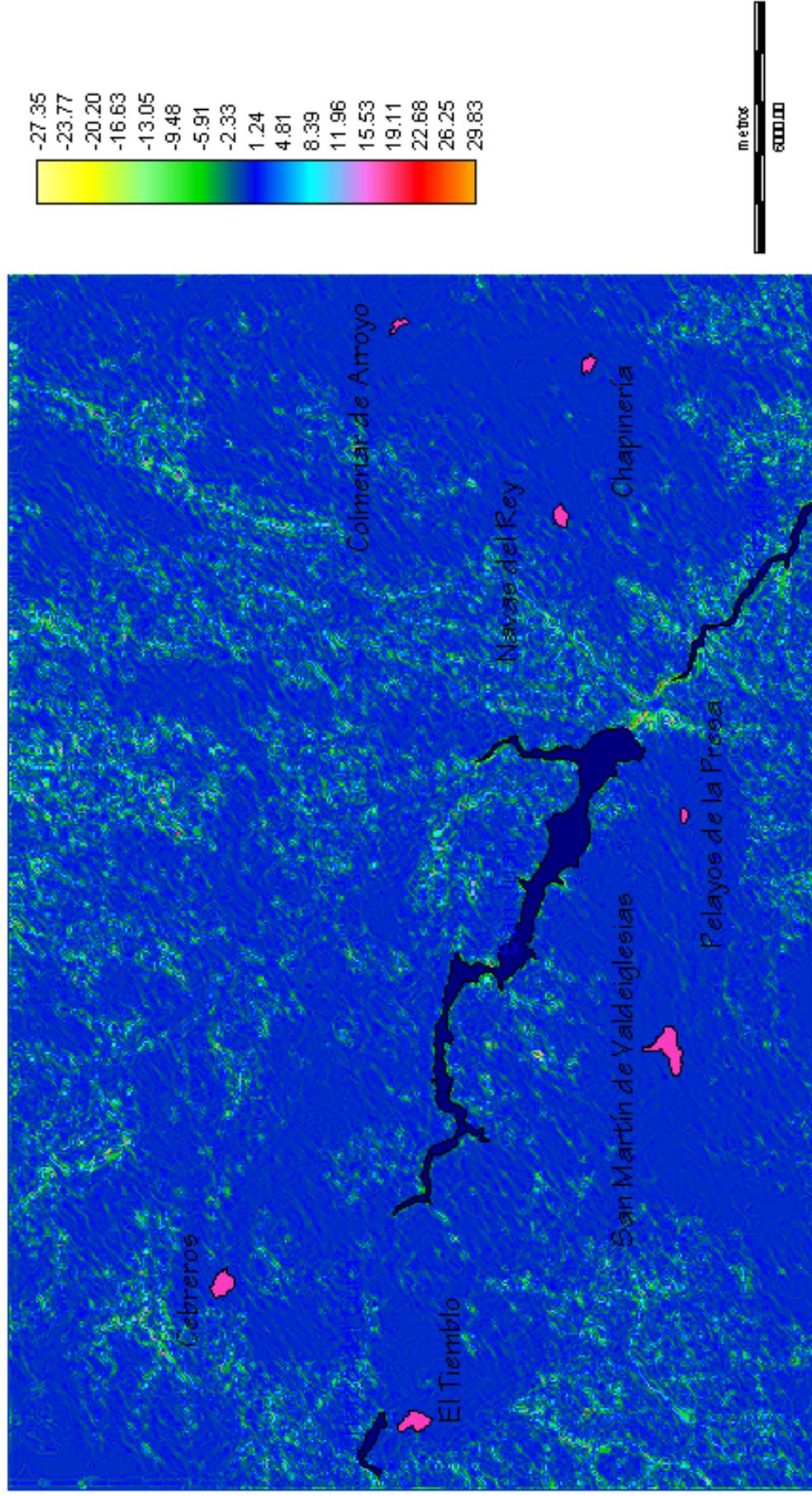
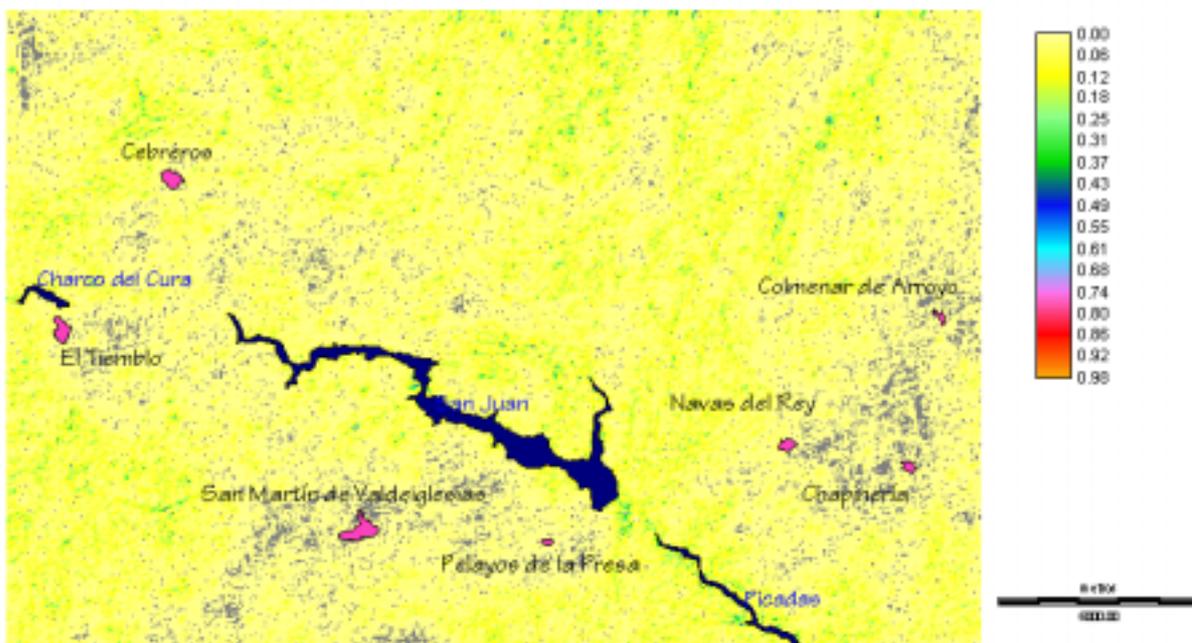


Gráfico II.7 Valores de Curvatura (Mapa militar de España, E. 1:50.000, hoja 17-22 (557), San Martín de Valdeiglesias).

Mapa de variación media de la pendiente



Mapa de rugosidad (dimensión fractal)

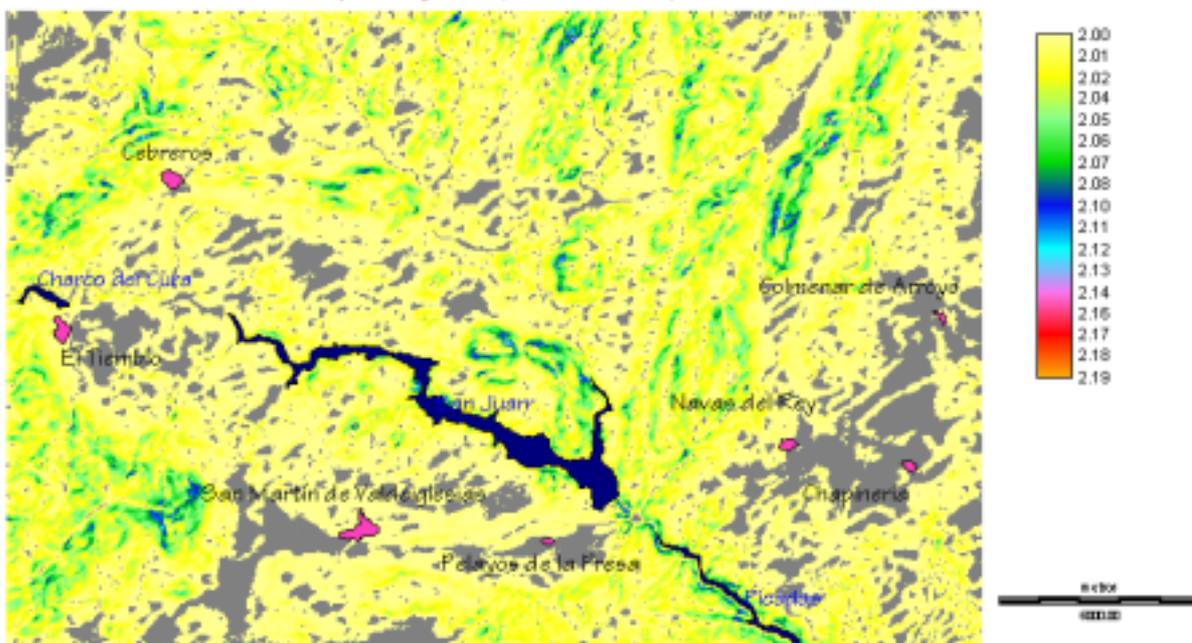


Gráfico II.8 Método de la variación de la pendiente y cálculo de la dimensión fractal (Mapa militar de España E. 1:50.000, hoja 17-22 (557), San Martín de Valdeiglesias).

$$D = \frac{\log(N_{(L)})}{\log(1/L)}$$

Donde $N_{(L)}$ representa el número de elementos de resolución L que recubren la totalidad del área del modelo digital: $1/L$ corresponde a la porción de área que se utiliza para dividir el modelo en $N_{(L)}$ unidades, considerando la totalidad del área del MDE como la unidad.

Esta metodología se piensa que puede ser la más apropiada para la medición de la rugosidad, ya que no se encuentra condicionada por ningún cálculo previo; los valores cercanos a 2 indicarán rugosidades muy bajas, mientras que según nos acerquemos a 3 indicará rugosidades extremas. En general los modelos de la superficie terrestres se encuentran entre valores de 2 y 2.4. La gráfico II.8. muestra el valor de la dimensión fractal, calculados con el programa "Pendiente" y compuesto bajo Idri-si para el mapa topográfico de San Martín de Valdeiglesias.

II.2.5.5.- *La orientación.*

La orientación representa el ángulo que forma la proyección horizontal de la máxima inclinación con el vector Norte, medidos en el entorno de un punto del territorio; el significado de este parámetro nos da la dirección de orientación de la máxima pendiente en ese punto del territorio. Su formula de cálculo general viene expresada por la ecuación:

$$\phi = \arctan\left(\frac{a_{01}^2}{a_{10}^2}\right)$$

Donde a_{10} representa el gradiente según el eje x y a_{01} el gradiente respecto al eje y , calculados como se ha indicado anteriormente.

Este parámetro se ha estimado para conocer la dirección de las máximas pendientes, pero como se verá posteriormente, se ha usado poco a la hora de analizar las diferentes formas del terreno. Su utilización en otros fines es de gran ayuda, sobre todo en determinados procesos (movimientos de ladera, periglaciario, etc.) y en ordenación territorial y el medio ambiente (gráfico II.9).

II.2.5.6.- *Desarrollo del segmento*

Este parámetro y los siguientes, han sido ya descritos en el apartado de II.1.2.2.c. *Variaciones y contrastes entre segmentos a lo largo del perfil* durante la explicación de los parámetros deducibles de las medidas de los cortes morfométricos y las sucesiones de los mismos.

Dentro del modelo digital de elevación, el desarrollo del segmento se refiere a las dimensiones reales de los segmentos situados entre dos puntos consecutivos de malla y alineados según una de las dos direcciones preferentes. Su cálculo es muy sencillo y se basa en la estimación de la hipotenusa del triángulo formado por la diferencia de altura, la resolución, y la dimensión real del segmento (que se encuentra en función de la escala de trabajo); el valor obtenido se asignará al punto previo al segmento en la malla del MDE, la ecuación utilizada es:

$$C_s = \sqrt{|h_0 - h_1| + d^2}$$

Donde $|h_0 - h_1|$ representa el valor absoluto de la diferencia de alturas entre los extremos del segmento, y d la resolución de la malla según el eje elegido para el análisis.

EL gráfico II.10 muestra dos ejemplos de análisis según el eje x e y para la zona de San Martín de Valdeiglesias.

II.2.5.7.- *Energía del relieve*

La energía del relieve se presenta mediante dos posibilidades: una referida a los análisis de los segmentos según los ejes x e y , en la que se establece una relación entre las dimensiones reales de los segmentos y la diferencia de altura entre sus extremos; la otra basada en el análisis del entorno de un punto del modelo, en el que el valor de la dimensión del segmento es sustituido por el módulo del vector de máxima pendiente.

El valor obtenido es una estimación de la energía potencial del segmento. Ejemplos de los posibles resultados se muestran en el gráfico II.11, que corresponden a los análisis según los ejes y e x en el entorno de los puntos de malla; en ambos casos la ecuación seguida es:

Mapa de orientaciones

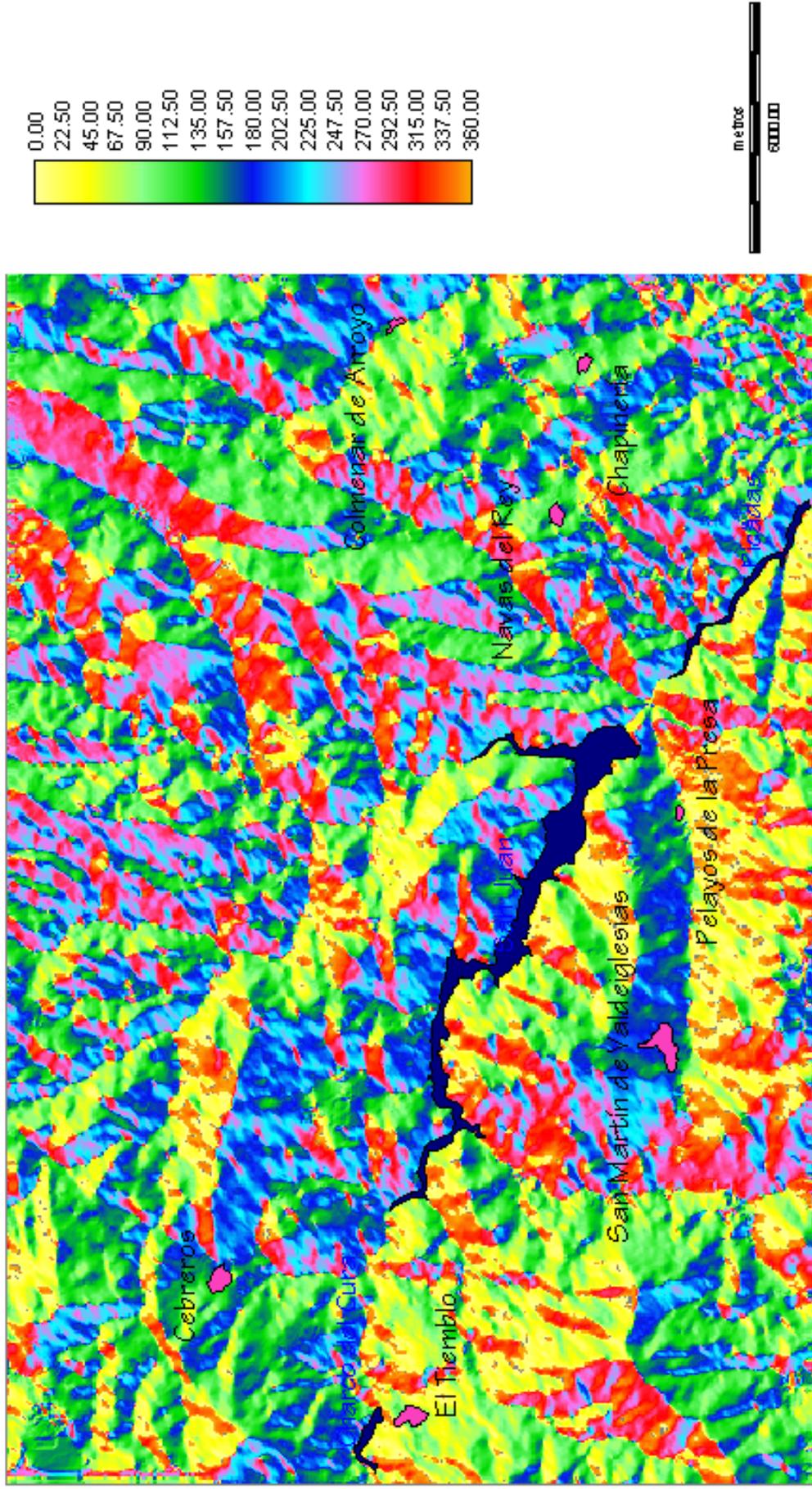
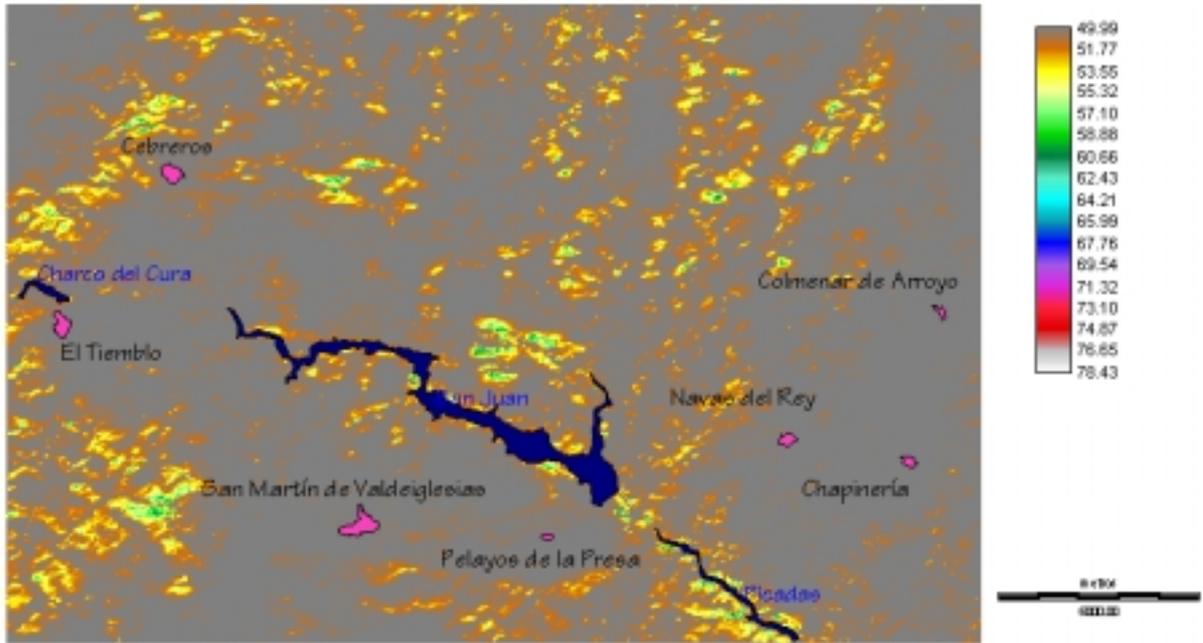


Gráfico II.9. Mapa de orientaciones (Mapa militar de España E. 1:50.000, hoja 17-22 (557), San Martín de Valdeiglesias).

Mapa de desarrollo de segmentos N-S



Mapa de desarrollo de segmentos E-O

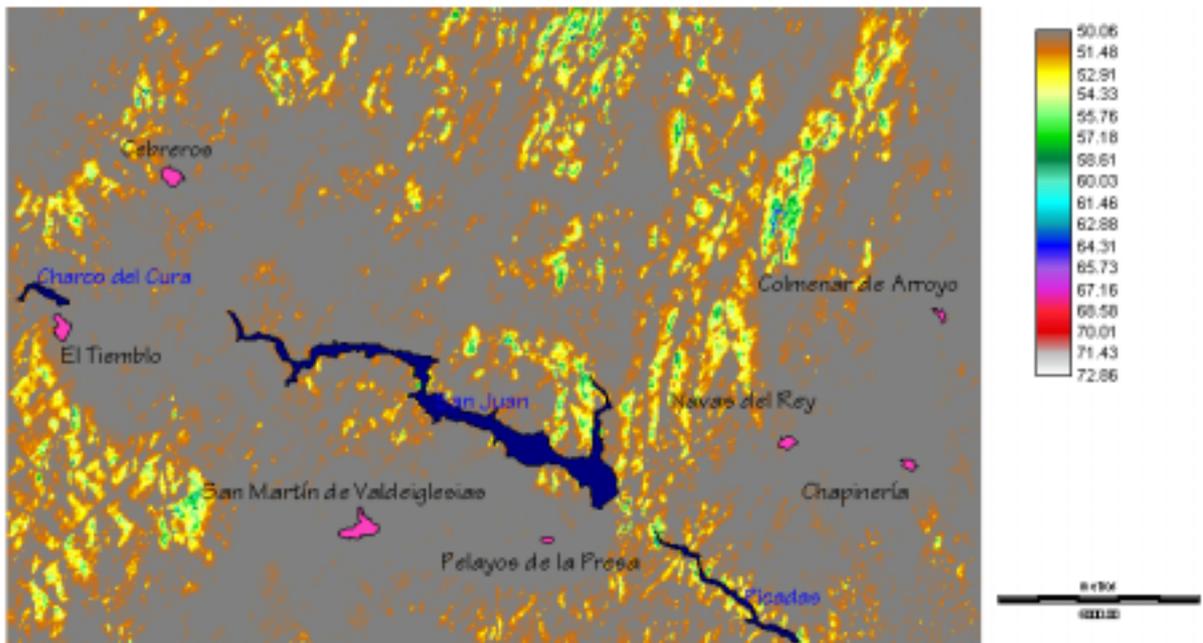
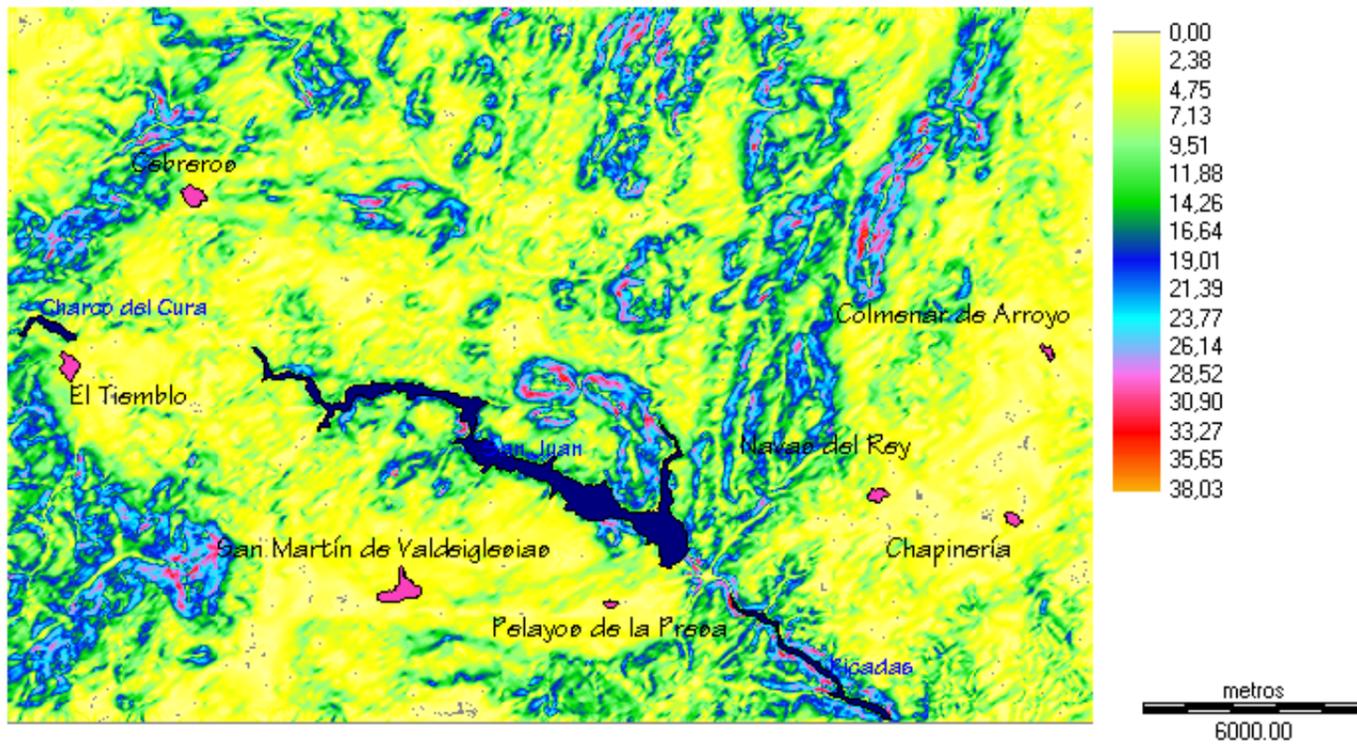
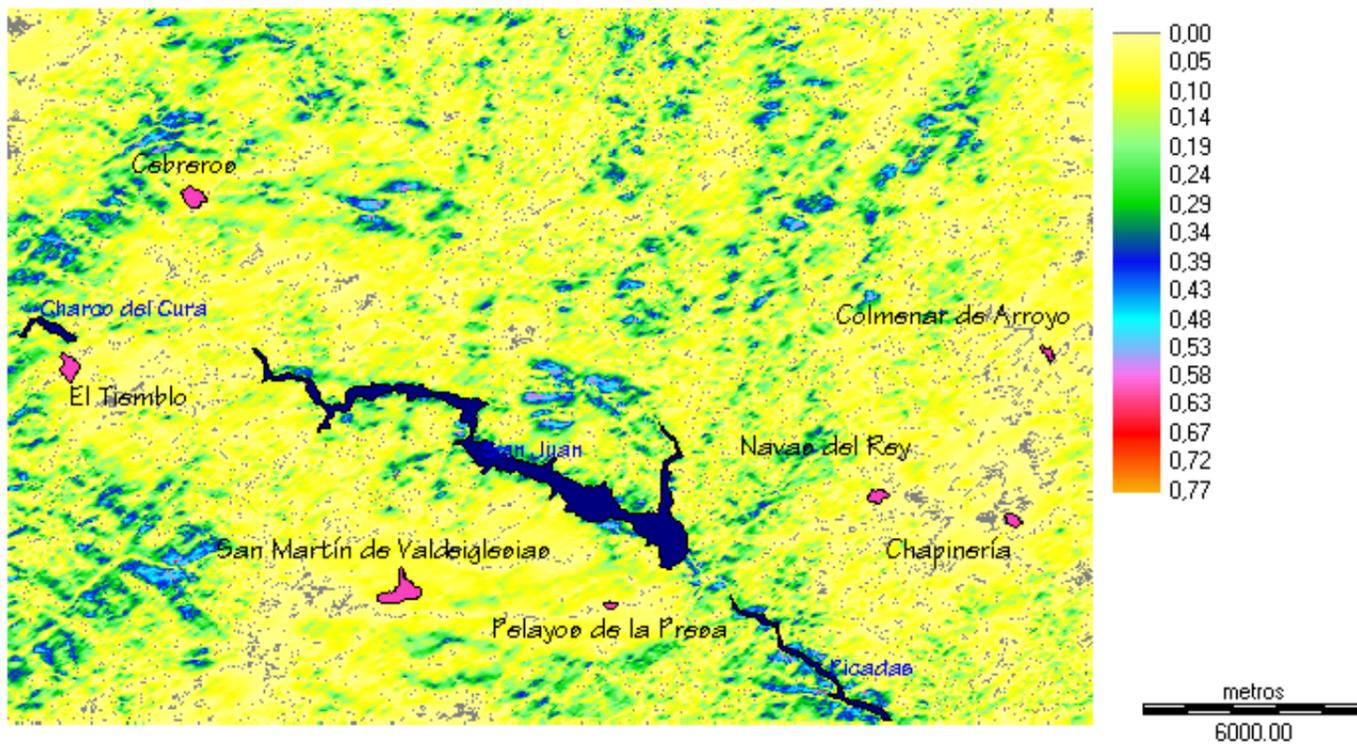


Gráfico II.10 Mapas de desarrollo de segmentos según análisis N-S (superior) y O-E (inferior) (Mapa militar de España E. 1:50.000, hoja 17-22 (557), San Martín de Valdeiglesias).

Mapa de energía del relieve



Mapa de energía del relieve N-S



Mapa de energía del relieve O-S

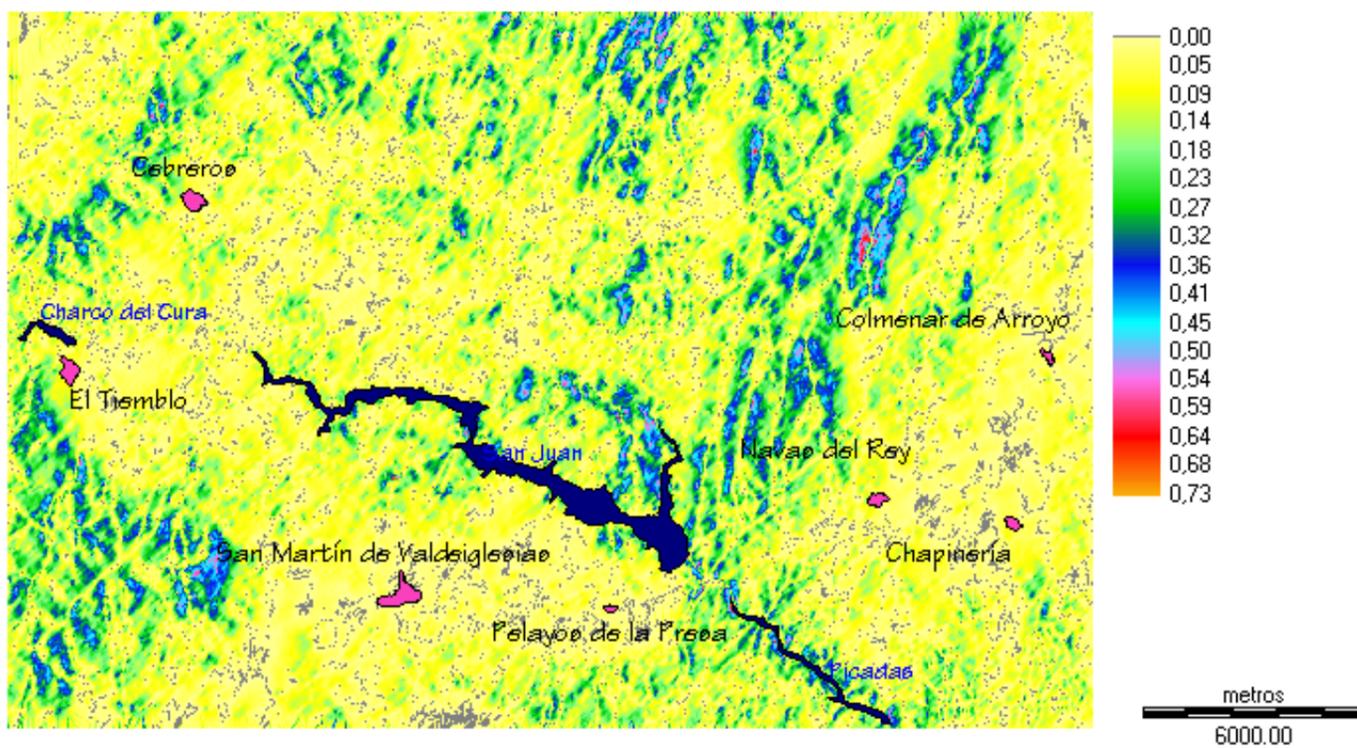


Gráfico II.11 La imagen superior corresponde al análisis en el entorno de un punto, mientras que las dos imágenes inferiores muestran el análisis según la dirección del eje x e y respectivamente (Mapa militar de España E. 1:50.000, hoja 17-22 (557) San Martín de Valdeiglesias).

$$Er = \frac{|h_0 - h_1|}{D}$$

$|h_0-h_1|$ representan el valor absoluto de la diferencia de las alturas en el segmento. Según el método utilizado para el cálculo, D representa el desarrollo del segmento según la dirección del eje, o el valor del módulo de vector de máxima pendiente.

Este parámetro dará información importante sobre puntos o zonas en los cuales las condiciones y geometrías favorecen los procesos de movimientos de tierra, procesos erosivos intensos, etc, o bien permite diferenciar morfografías ligadas a ciertas condiciones de laderas. Hay que hacer notar que el parámetro estima una de las condiciones que, por supuesto, no es determinante para el proceso, y además su resolución está condicionada por la escala de trabajo del MDE.

En el gráfico II.11 se puede apreciar como este análisis es un buen método para la diferenciación de unidades de relieve, ya que aporta cierta precisión en el silueteado de las formas generales del territorio. En el apartado III se tratará este tema del uso de mapas derivados para realizar la síntesis morfométrica del territorio.

II.2.5.8.- *Tendencia del relieve*

En el caso de los análisis direccionales según los ejes x e y , este mapa derivado hace referencia al valor máximo de variación de la energía de pendiente entre el segmento y sus vecinos más inmediatos; mientras que en el análisis bidireccional, lo hace en función a un determinado punto con relación a sus vecinos más próximos.

El cálculo es simple y se basa en la búsqueda en el entorno inmediato del segmento o del punto, según estemos en un tipo de análisis u otro. El resultado se expresa como una medida o valor que indica la diferencia máxima en valor absoluto; en el caso del análisis puntual se tienen en cuenta los cuatro vecinos más cercanos, mientras en el análisis direccional los segmentos precedente y antecedente.

Un ejemplo de este tipo de mapas derivados puede verse en la gráfico II.12; su principal información se centra en resaltar las zonas con mayor potencial energético debido a la gravedad.

II.2.5.9.- Sentido de la inclinación

Hasta aquí los mapas derivados han analizados datos cuantitativos dentro del modelo de elevación, estimando un valor en las relaciones entre elementos y puntos con valores medibles, ya sean proporcionales o mensurables a través de alguna magnitud. A partir de ahora los mapas derivados van a ser producto de una comparación y, por tanto, cualitativos.

En el mapa del gráfico II.13, resultante del cruce de mapas parciales según los ejes *x* e *y*, la variación sufrida por el valor de la pendiente entre dos segmentos consecutivos del modelo de elevaciones, se asigna al punto intersección. En la composición bidireccional intervienen los cuatro segmentos contiguos al punto de malla, comparándose dos a dos; el cruce de los dos análisis según los ejes constituye el resultado final, teniendo en cuenta que en esta unión de cortes se excluyen la primera y última fila y la primera y última columna, ya que no poseen elemento de comparación en uno de sus lados. Hay que hacer mención además, que en el análisis bidireccional el sentido de la búsqueda se realiza de O a E y de N a S lo que, en función de la escala de colores que se seleccione, quedarán diferenciadas las laderas según su orientación, como se aprecia claramente en la figura II.13.

Tabla II.2 Posibles valores de las variables del mapa derivado del sentido de la inclinación.

Y \ X	Directo	Inverso	Directo ascendente	Directo descendente	Inverso ascendente	Inverso descendente	Opuestas
Directo	D-D	D-I	D-Da	D-Dd	D-Ia	D-Id	D-O
Inverso		I-I	I-Da	I-Dd	I-Ia	I-Id	I-O
Directo ascendente			Da-Da	Da-Dd	Da-Ia	Da-Id	Da-O
Directo descendente				Dd-Dd	Dd-Ia	Dd-Id	Dd-O
Inverso ascendente					Ia-Ia	Ia-Id	Ia-O
Inverso descendente						Id-Id	Id-O
Opuestas							O-O

El mapa obtenido solamente informa del tipo de variación que sufre la pendiente entre los segmentos contiguos, sin ninguna cuantificación de los mismos; su cuantificación se encuentra en el mapa de variación de la pendiente, mencionado en el subapartado de rugosidad (ver apartado II.4.5.4). La morfología de los cambios entre segmentos y la nomenclatura utilizada aquí, se resume el cuadro II.1 del apartado II.1.2.2.a.- (*Tipologías y escalas de pendiente*), donde se explicaron cada uno de esos parámetros deducibles de los cortes morfométricos.

Mapa de tendencia del relieve

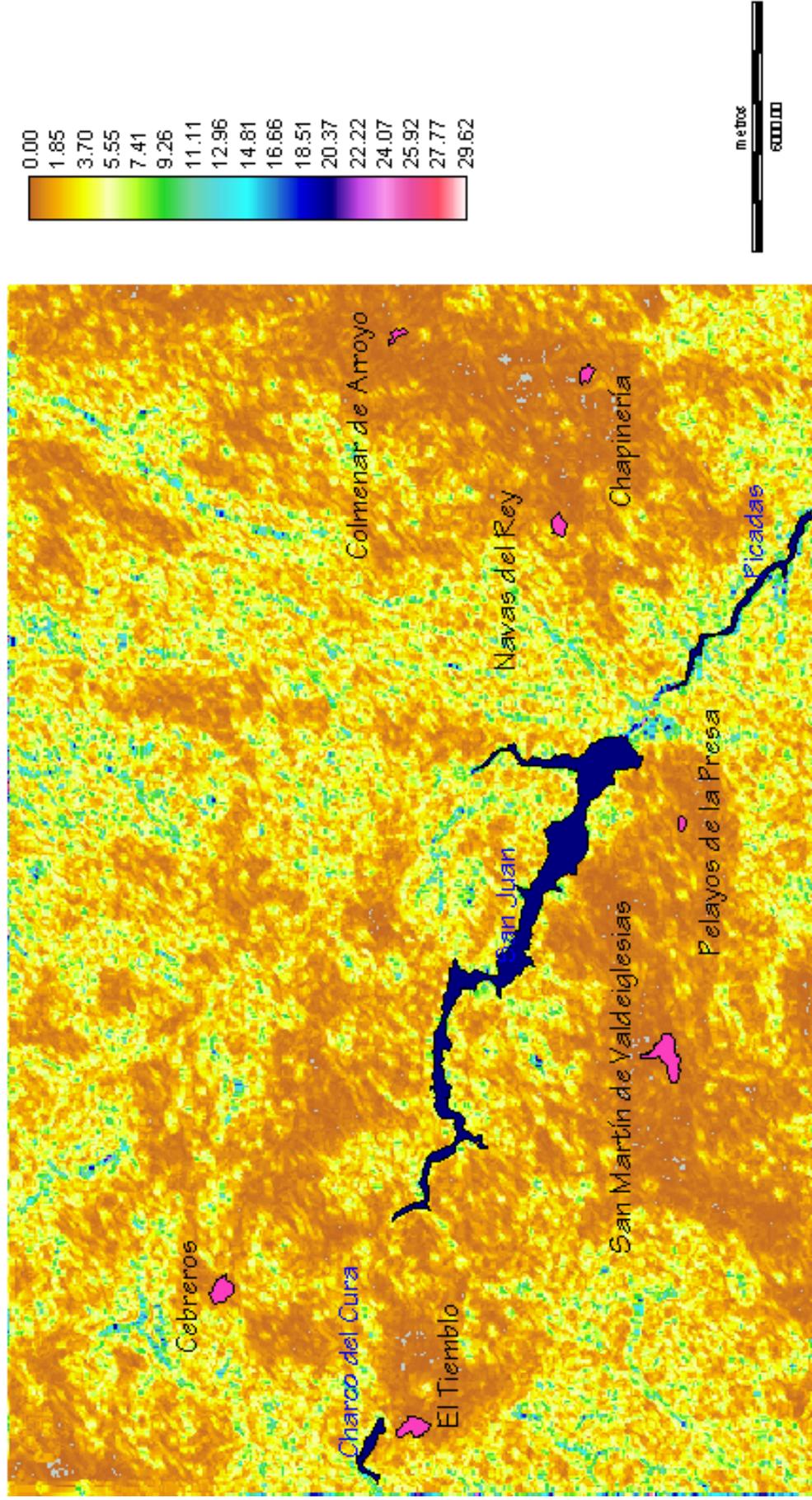


Gráfico II.12 Mapa de variación máxima de energía del relieve (Mapa militar de España E. 1:50.000, hoja 17-22 (557), San Martín de Valdeiglesias).

Mapa del sentido de la inclinación

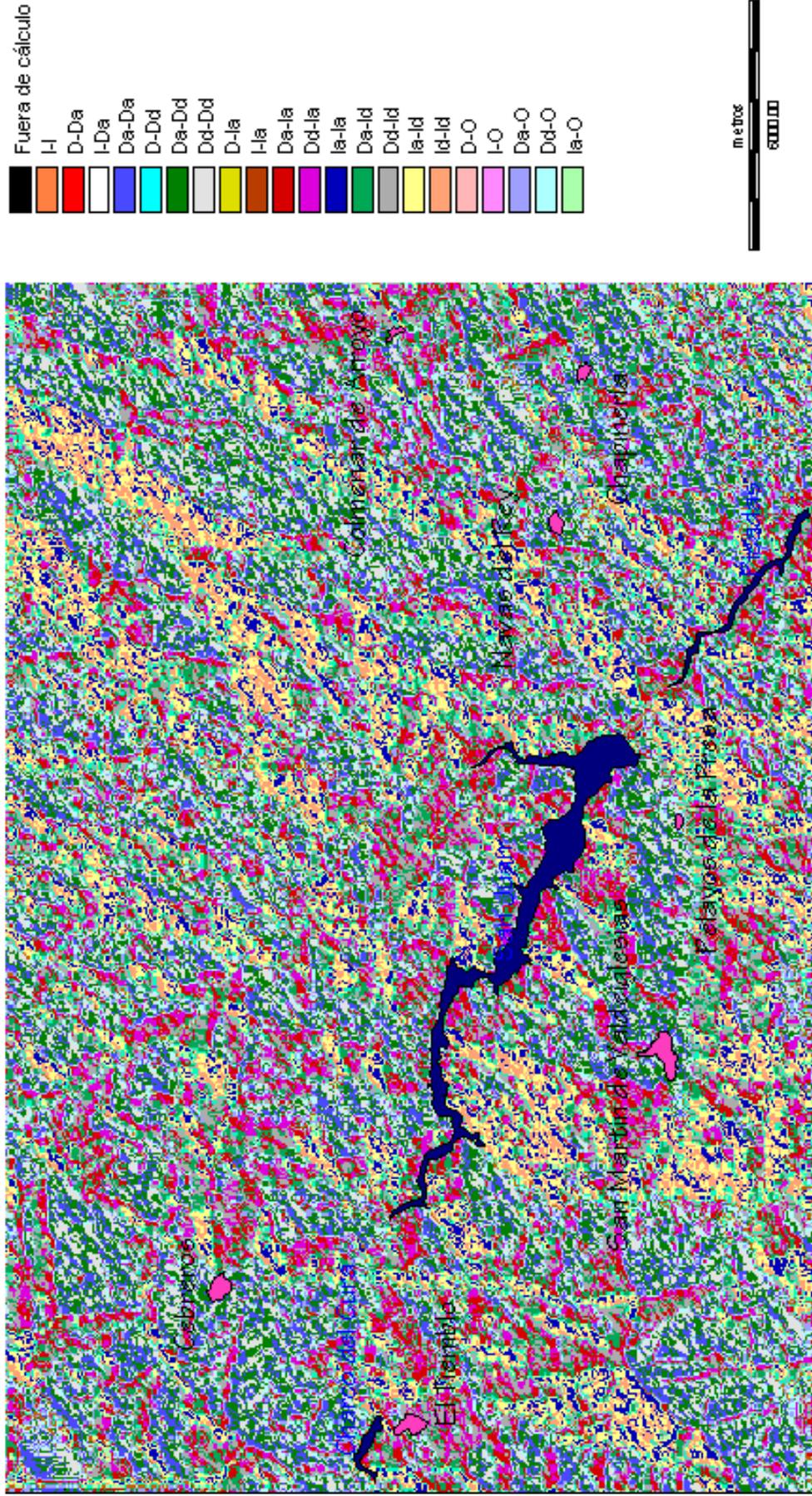


Gráfico II.13 Resultado del análisis de tendencias. La leyenda no se muestra completa por la gran cantidad de combinaciones posibles. Los primeros valores mostrados corresponden a análisis en los bordes del mapa. (Mapa militar de España E. 1:50.000, hoja 17-22 (557), San Martín de Valdeiglesias).

II.-Desarrollo de un procedimiento para los análisis morfométricos del relieve mediante técnicas digitales

Clases	Límite Inferior	Límite Superior	Frecuencia	Proporción	Frecuencia Acumulada	Proporción Acumulada
Fuera de cálculo 0	0.0000	0.9999	1903	0.0088	1903	0.0088
D-D - 1	1.0000	1.9999	0	0.0000	1903	0.0088
D-I - 2	2.0000	2.9999	0	0.0000	1903	0.0088
I-I - 3	3.0000	3.9999	1	0.0000	1904	0.0088
D-Da - 4	4.0000	4.9999	2	0.0000	1906	0.0088
I-Da - 5	5.0000	5.9999	5	0.0000	1911	0.0088
Da-Da - 6	6.0000	6.9999	16516	0.0762	18427	0.0850
D-Dd - 7	7.0000	7.9999	1	0.0000	18428	0.0850
I-Dd - 8	8.0000	8.9999	0	0.0000	18428	0.0850
Da-Dd - 9	9.0000	9.9999	25912	0.1195	44340	0.2045
Dd-Dd - 10	10.0000	10.9999	18681	0.0862	63021	0.2907
D-Ia - 11	11.0000	11.9999	1	0.0000	63022	0.2907
I-Ia - 12	12.0000	12.9999	1	0.0000	63023	0.2907
Da-Ia - 13	13.0000	13.9999	19547	0.0902	82570	0.3809
Dd-Ia - 14	14.0000	14.9999	14954	0.0690	97524	0.4499
Ia-Ia - 15	15.0000	15.9999	9504	0.0438	107028	0.4937
D-Id - 16	16.0000	16.9999	0	0.0000	107028	0.4937
I-Id - 17	17.0000	17.9999	0	0.0000	107028	0.4937
Da-Id - 18	18.0000	18.9999	15136	0.0698	122164	0.5635
Db-Id - 19	19.0000	19.9999	19750	0.0911	141914	0.6546
Ia-Id - 20	20.0000	20.9999	14920	0.0688	156834	0.7234
Id-Id - 21	21.0000	21.9999	10638	0.0491	167472	0.7725
D-O - 22	22.0000	22.9999	1	0.0000	167473	0.7725
I-O - 23	23.0000	23.9999	1	0.0000	167474	0.7725
Da-O - 24	24.0000	24.9999	12483	0.0576	179957	0.8301
Db-O - 25	25.0000	25.9999	13423	0.0619	193380	0.8920
Ia-O - 26	26.0000	26.9999	9287	0.0428	202667	0.9349
Id-O - 27	27.0000	27.9999	10074	0.0465	212741	0.9813
O-O - 28	28.0000	28.9999	4047	0.0187	216788	1.0000

Cuadro II.6 Distribución de los valores para el parámetro *sentido de la inclinación*; el valor de frecuencia muestra el número de píxel existentes dentro de la imagen para cada clase. El valor 0 representa los píxeles de borde, que se excluyen de la comparación. (Cartografía Militar de España esc. 1:50.000, serie L, Hoja 17-22 (557) San Martín de Valdeiglesias)

El significado de la posible leyenda completa es el que se muestra en la tabla II.2, si bien y como puede verse en la cuadro II.6, no se presentan todas las posibilidades de cruce en los mapas, siendo frecuente que una o varias de ellas no aparezcan; también es normal, como ocurre en la figura anterior, que alguno de los casos tenga poca representación al quedar restringido a uno o dos valores.

II.2.5.10.- *Carácter de los segmentos*

Este parámetro nos informa de la tipología de los cambios entre segmentos referida a la variación de la pendiente, y se calcula por el cruce de los mapas direccionales según los ejes x e y . Como en el caso anterior, su resultado no tiene por qué mostrar todas las posibles combinaciones: esto puede comprobarse en el gráfico II.14 y la tabla II.3 que muestra una salida del análisis y al mismo tiempo, todas las posibilidades de cruce con su significado.

Los valores de *cambio de sentido*, tanto positivo como negativo, hacen referencia al caso especial de un segmento que, con un solo elemento, da paso a una cima o un fondo de valle. Este elemento se ha diferenciado como *llano* debido a que representa un componente puntual sin continuidad.

El resultado de estos cálculos permite detectar los cambios en la continuidad de las laderas, así como los referentes en las concavidades-convexidades de las mismas. Estas variaciones hacen destacar además las líneas de divisorias en las alineaciones montañosas y las de valles, describiendo puntualmente sus variaciones.

El significado del signo es una convección establecida: se considerará positivo al aumento de la pendiente en sentido ascendente o disminución del valor de la pendiente en sentido descendente; se considera negativo a un descenso del valor de la pendiente en sentido ascendente y aumento de pendiente en el descendente. Los puntos *Neutros* corresponderán a cambios en el sentido de la inclinación referidos a una posición horizontal, es decir, pasar de un estado ascendente en el sentido del análisis a uno descendente y viceversa (Gráfico II.3).

II.2.5.11.- *Mapa morfométrico*

Con esta denominación no queremos hacer referencia a un mapa que muestre los resultados finales de un análisis morfométrico, sino todo lo contrario, es decir: a un mapa de

partida con un análisis preliminar de las formas elementales que constituyen el relieve de la superficie terrestre en dicha zona. En realidad aquí se aglutinan dos de las salidas que realiza el programa "Pendientes": la que denominamos *mapa morfométrico*, que constituye el primer paso del análisis, y el *mapa morfométrico resumen*, que conforma la primera de las simplificaciones que se pueden realizar.

Tabla II.3 Posibles valores de las variables del mapa derivado del carácter de los segmentos.

X \ Y	Llano (L)	Neutro- (N-)	Carácter- (-)	Neutro + (N+)	Carácter+ (+)	Cambio- (C-)	Cambio+ (C+)
Llano	L/L	L/N-	L/-	L/N+	L/+	L/C-	L/C+
Neutro -		N-/N-	N-/-	N-/N+	N-/+	N-/C-	N-/C+
Carácter -			-/-	-/N+	-/+	-/C-	-/C+
Neutro +				N+/N+	N+/+	N+/C-	N+/C+
Carácter +					+/+	+/C-	+/C+
Cambio -						C-/C-	C-/C+
Cambio +							C+/C+

La obtención de este parámetro es similar a la expuesta en los dos análisis previos, es decir, se realizan dos pases según los ejes *x* e *y* de la malla a lo largo de la misma, con lo que obtenemos dos series de cortes perpendiculares entre sí, que posteriormente se cruzan. Los elementos comparativos en ambas secuencias de cortes son las variaciones entre los segmentos, estableciendo para cada dos (valor que se asignará al nodo de malla entre ambos) el tipo de variación morfológica que se produce; el gráfico II.15 muestra todos los posibles resultados del cruce de dos series de perfiles perpendiculares, así como el resumen propuesto para la simplificación del mapa.

Como ya se ha mencionado para otros mapas previos, es difícil que sobre un mismo mapa se produzcan todas las posibles combinaciones y por lo general solamente está presente un número de ellas; el gráfico II.16 muestra la misma hoja de San Martín de Valdeiglesias con un análisis completo y con un análisis resumido, según el cuadro resumen del gráfico II.15. Es apreciable cómo quedan destacadas en ambos casos las topologías generales de las laderas, hecho que nos permite establecer a partir del modelo digital una clasificación previa bastante detallada.

II.2.5.12.- Mapa de tipologías

Como en el caso anterior este parámetro analiza las relaciones existente entre segmentos de mallado contiguos, si bien aquí se considera la relación de un segmento con sus vecinos anterior y posterior, asignando el valor a un nodo de malla que representa el punto central del segmento medio.

Las tipología se obtienen por el cruce de dos series de perfiles perpendiculares entre sí y existen dos modalidades. La más simple analiza las relaciones de topologías citadas en el apartado de descripción del corte morfométrico (Fondo – F, Cima – C, Tránsito – T y Estabilización – E; ver apartado II.1.2.2.c. -); es un mapa muy simple y en general da poca información, ya que en la mayoría de los casos las tipologías presentes pertenecen a la relación de Tránsito. El segundo tipo analiza más detalladamente las relaciones, y presenta las posibilidades de cruce expresadas en la figura II.2.

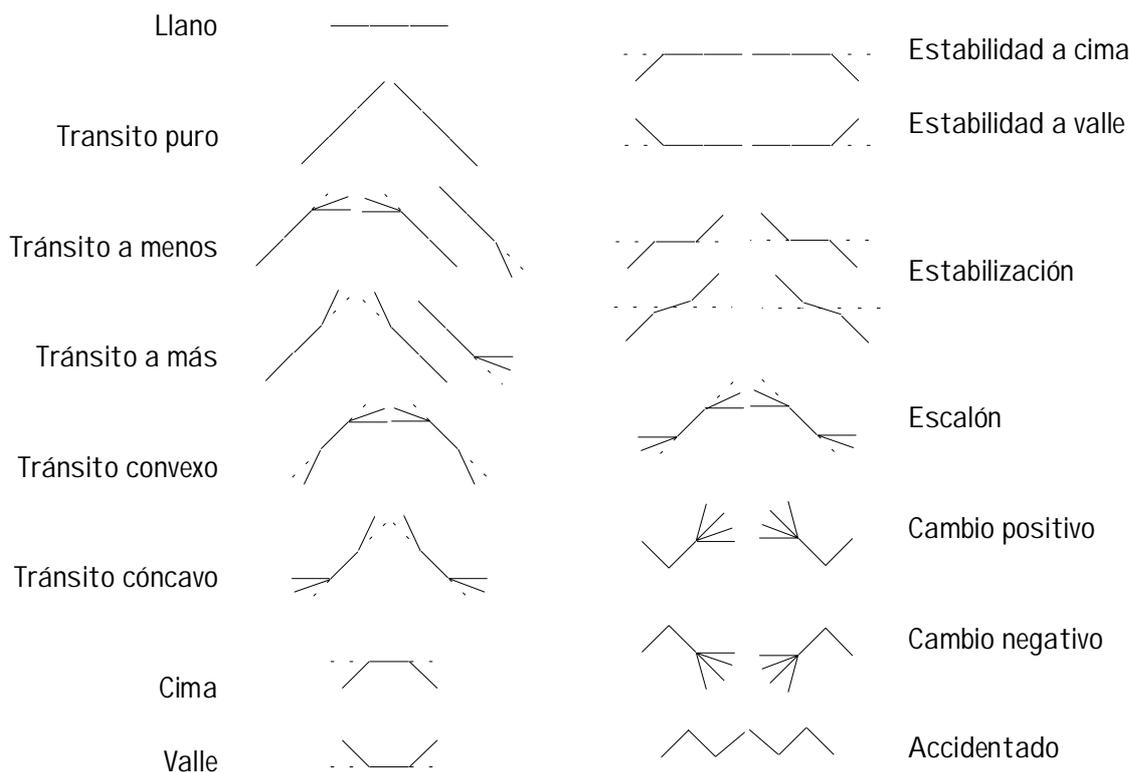


Figura II.2 Posibles valores del análisis de las topologías de segmentos con los nombres asignados por el programa pendientes. La combinación debida al cruce de dos series de perfiles constituye un total de posibilidades comprendidas entre 0 y 135.

Mapa del carácter del segmento

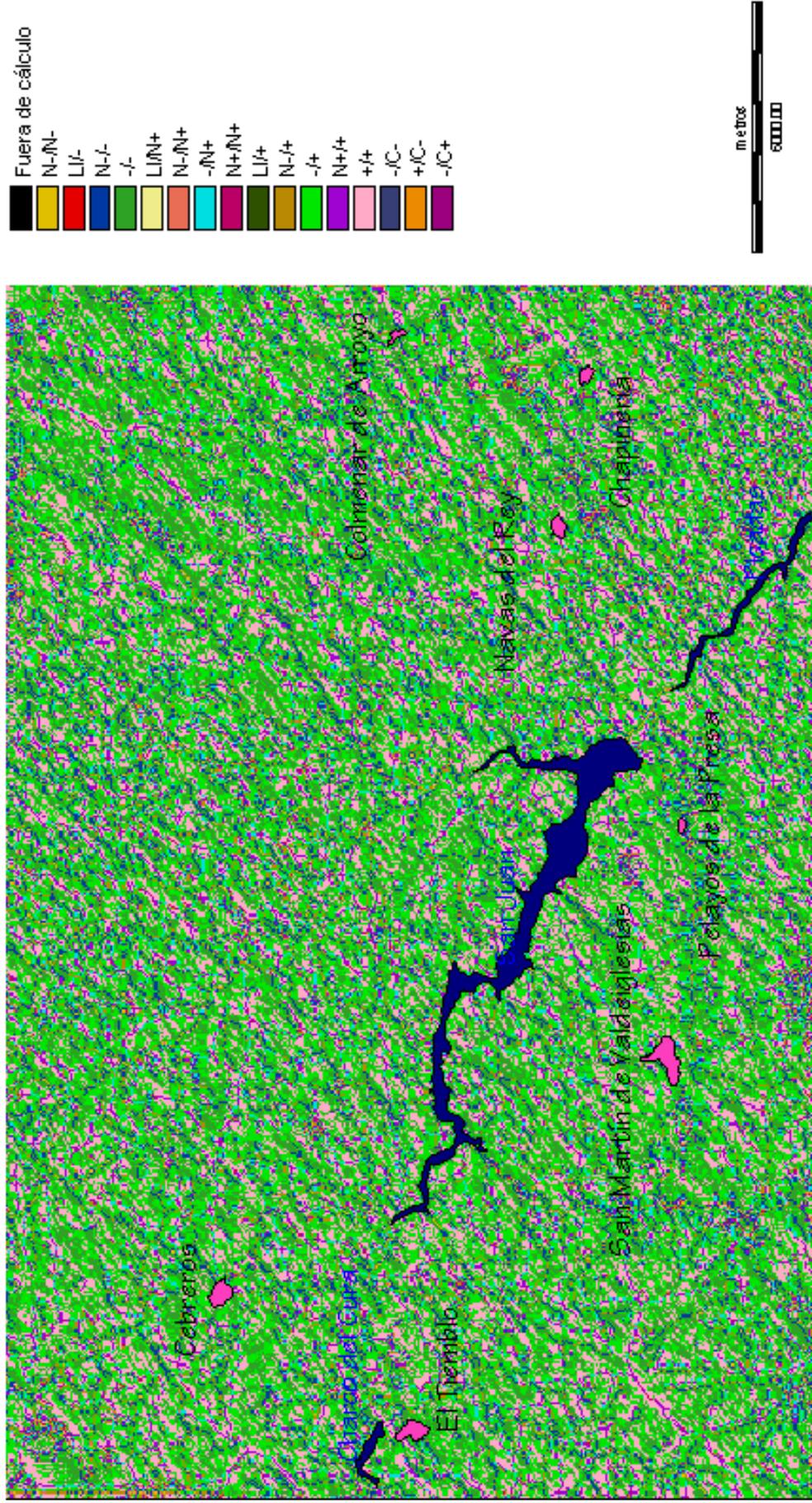


Gráfico II.14 Valores de cruce de los mapas direccionales del carácter del segmento (Mapa militar de España E. 1:50.000, hoja 17-22 (557), San Martín de Valdeiglesias).

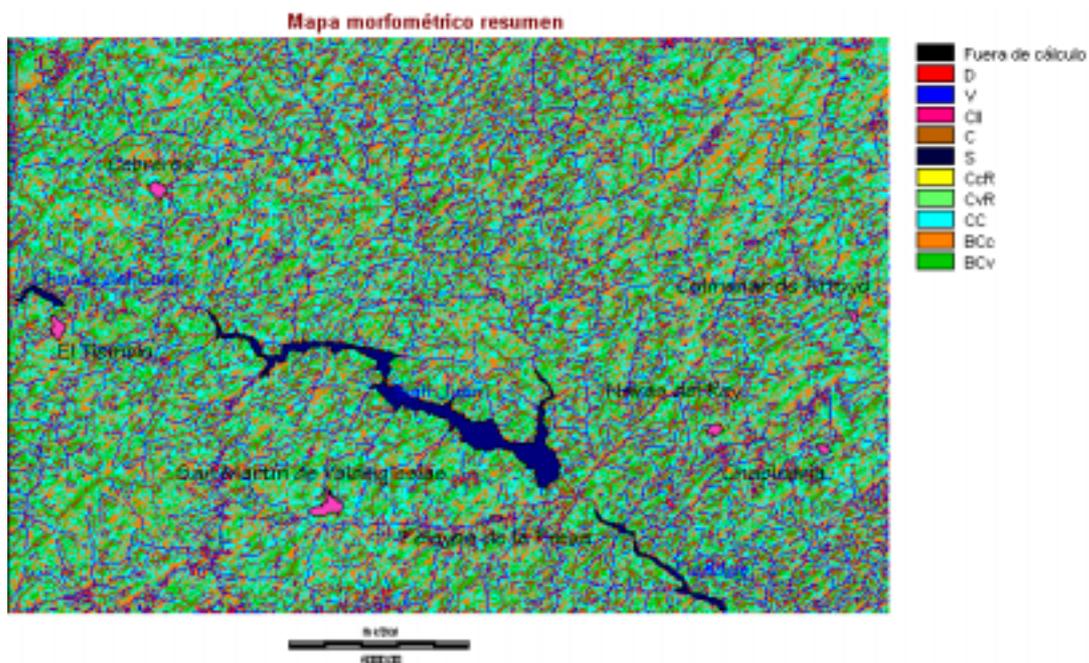
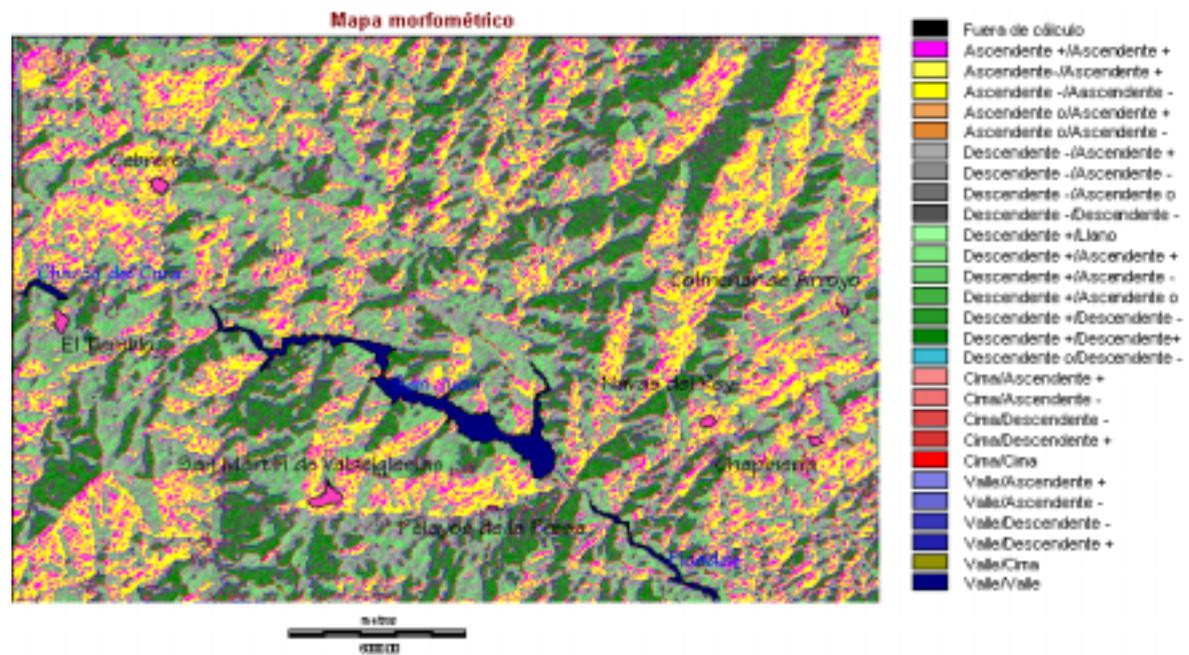


Gráfico II.15 Mapas morfométrico y resumen morfométrico. El mapa morfométrico resalta los contrastes entre los diferentes tipos de laderas, mientras que el resumen morfométrico enfatiza más las divisorias y la incisiones de ríos y arroyos; las laderas quedan atenuadas por la agrupación que se realiza según la concavidad y convexidad de los cruces de malla. (Mapa militar de España E. 1:50.000, hoja 17-22 (557), San Martín de Valdeiglesias).

La combinación de los quince elementos de la figura II.1 constituyen 135 elementos, ya que se han incluido unos casos especiales para los bordes del mapa. Como ya se ha señalado para otros cálculos, no todas las combinaciones se dan en un mapa topográfico y de las presentes hay un número reducido de ellas que genera una representación mayor que el resto.

Los resultados del análisis para el mapa topográfico de San Martín de Valdeiglesias aparecen en la grafica II.17. Se puede apreciar lo ya comentado en el apartado anterior; además, como queda manifiesto en la leyenda, el mayor número de combinaciones se deben a elementos de tránsito, por lo que la representación del mapa simplificado es muy homogénea, predominando un solo valor.

Este tipo de cálculos ya se encuentra en la frontera de lo que podría clasificarse como análisis de patrones, cuya complejidad es muy elevada y debe ser establecido para cada zona de trabajo y según los objetivos propuestos para el mismo.

II.2.5.13.- *Articulaciones*

Aunque el parámetro *articulaciones* lo analizamos aquí como un mapa derivado de los modelos digitales de elevación, sus características son diferentes a las de los mapas previamente descritos. En realidad este parámetro pretende ser una herramienta que permita detectar los puntos, líneas o áreas en los que se producen variaciones respecto de unos límites; es decir, en función de unos valores máximos de variación de la pendiente y según las posibilidades ya señaladas en el apartado de descripción del corte morfométrico, donde se señalan los puntos de malla en que dichas variaciones sobrepasan los límites establecidos.

Los valores de variación están agrupados en tres intervalos, cuyo rango lo fija el usuario en función de sus necesidades; así, la tabla II.4 muestra las posibles combinaciones de leyenda.

Tabla II.4 Posibles valores de las variables del mapa de las articulaciones.

Y \ X	Progresiva	Cambiante	Ruptura
Progresiva	Progresiva pura	Progresiva cambiante	Progresiva ruptura
Cambiante		Cambiante pura	Cambiante ruptura
Ruptura			Ruptura pura

Mapa de tipologías complejas

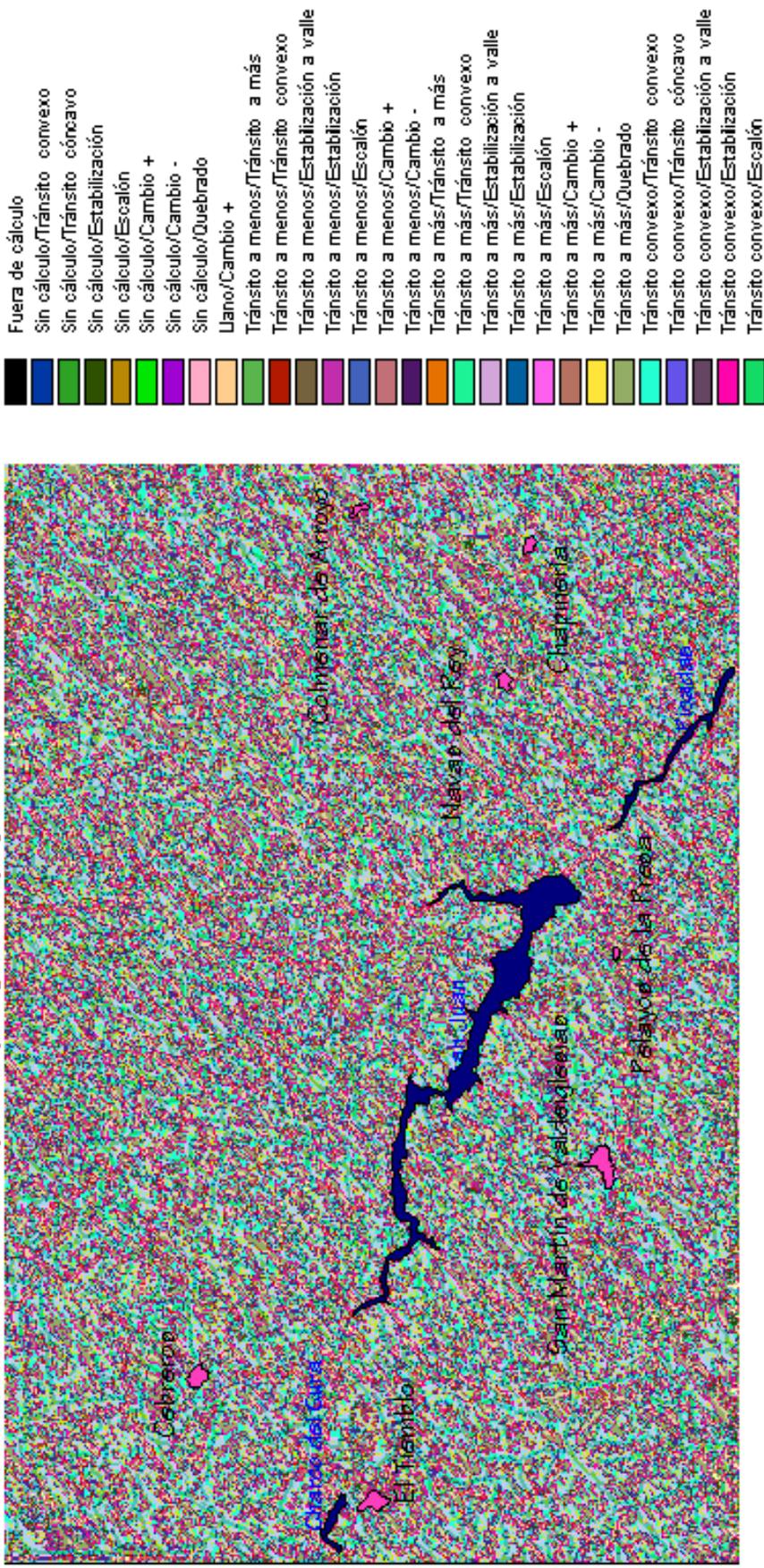


Gráfico II.17 Resultado del análisis de tendencias. La leyenda no se muestra completa por la gran cantidad de combinaciones posibles. Los primeros valores mostrados corresponden a análisis en los bordes del mapa. (Mapa militar de España E. 1:50.000, hoja 17-22 (557), San Martín de Valdeiglesias).

Mapa de articulaciones

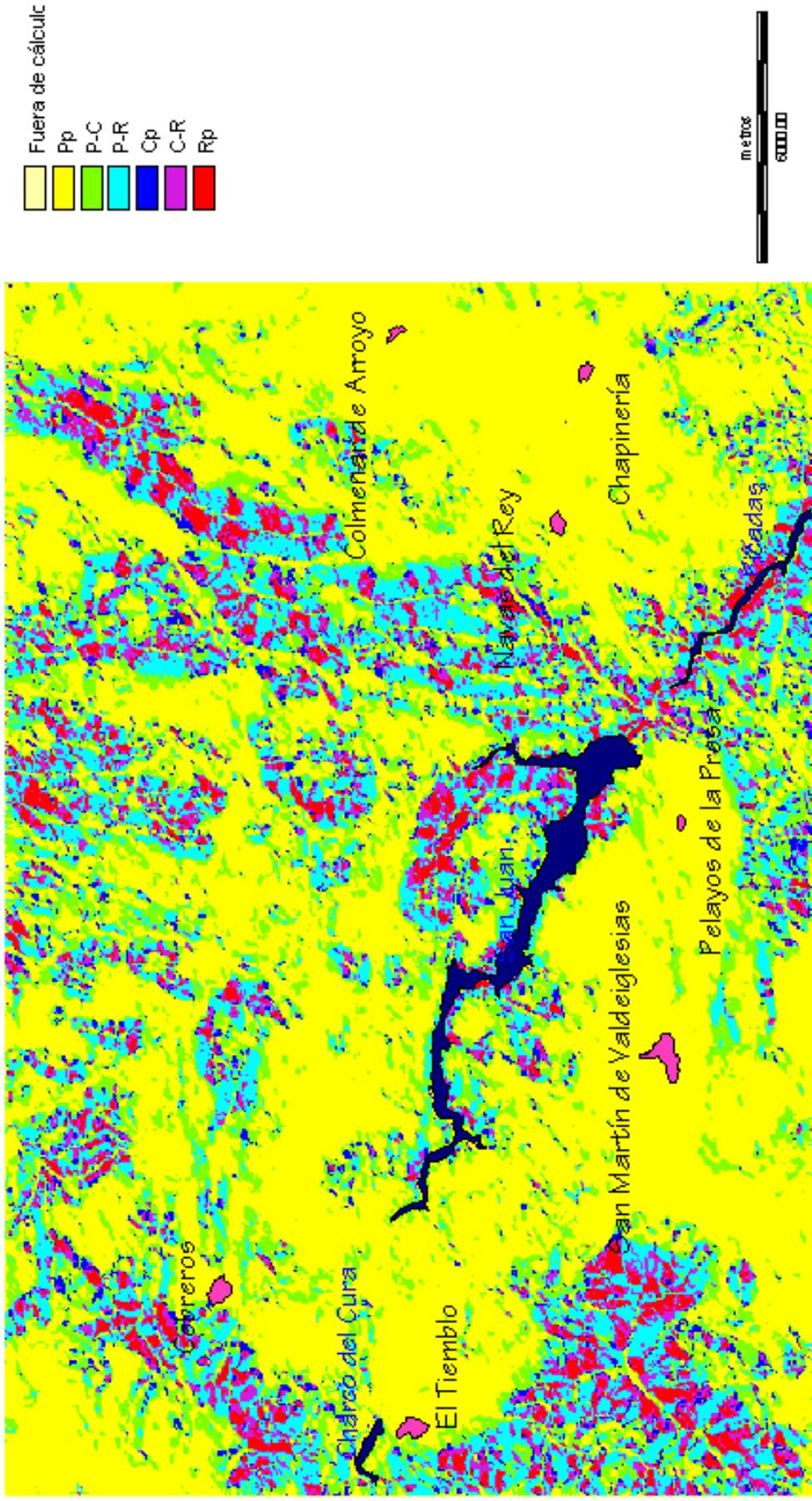


Grafico II.18 Mapa de articulaciones (Mapa militar de España E. 1:50.000, hoja 17-22 (557), San Martín de Valdeiglesias).

Para el caso que aparece en el gráfico II.18, los límites establecidos entre cada uno de los tipos señalados en la tabla anterior son: no superiores a 7° para progresiva, entre 7° y 12° para cambiante, y superior a 12° para rupturas.

Como se aprecia en el gráfico II.18, el método permite destacar las zonas donde se producen cambios importantes en la continuidad de los valores de pendiente, así como las distribuciones de los mismos. Si en la región que se analiza se pueden establecer valores críticos para la ocurrencia de determinados procesos, en función de la escala de trabajo este parámetro sirve para situar: las áreas geográficas donde se pueden producir, su extensión y, combinándolo con otros mapas derivados, su posible funcionamiento. Para el caso que se trata aquí no se ha aplicado con ningún criterio específico, solamente es un ejemplo del cálculo de parámetro.

II.3.- Modelo de análisis morfométrico. Una aplicación soportada bajo SIG

Aunque en los últimos años estas técnicas han experimentado un notable desarrollo, la idea de sintetizar el relieve a partir del *modelo digital de elevación* es antigua; los primeros intentos nacen con la introducción de los medios informáticos en los estudios de la geomorfología y otras disciplinas afines. En este sentido destacan trabajos como los de Marck (1975) y Evans (1980) que, si bien no desarrollan técnicas concretas, introducen los criterios básicos puntuales para el análisis geomorfológico; también los de Mark (1984) y Band (1986) aportan técnicas para la extracción de variables de las cuencas de drenaje sobre la base del MDE; igualmente Douglas (1986) y Pike (1988) establecen unas estructuras de búsqueda automática aplicada a las formas del terreno.

Aunque poco nombrado dentro del mundo de los análisis del relieve basados en los MDE, hay que hacer mención a Wood W.F. (1914-1971) (ver Pike 1995) como uno de los pioneros de la cuantificación del relieve. Su dilatada carrera, poco conocida por realizarse fundamentalmente en las fuerzas armadas americanas, tiene su punto más álgido en la décadas de los años 1950 y 1960. A lo largo de esos años desarrolló un gran número de técnicas de cálculo y modelos de análisis del relieve, planteando además las bases de la computación automática de los mismos. Actualmente muchas de sus aportaciones no son bien comprendidas; en su época fue considerado como un visionario, excéntrico y poco claro; hoy aún se le considera así.

En general, aún son escasos los procedimientos para el análisis morfométrico del relieve sobre la base de un MDE; y aún menos los basados exclusivamente en la

cuantificación. La mayoría de los trabajos realizan sus análisis a partir de un proceso o una forma (dinámica fluvial, gravitacional, etc. o deslizamientos, redes fluviales, superficies, etc) sin plantearse un procedimiento generalizable como método estandarizado. Dicha limitación podemos encontrarla en los trabajos ya mencionados previamente y en otros más recientes como son los de Harkdaoui (1991), Gunth (1995), Nogami (1985, 1995) o Chorowicz *et al.* (1995), etc.

Como ya se ha señalado en apartados previos, nuestro objetivo es superar esas limitaciones y desarrollar un procedimiento general de análisis. La particularización de los trabajos a una zona geográfica concreta, no implica la de los proceso o dinámica natural de partida: el análisis morfométrico del MDE es el paso previo para inventariar las formas y, posteriormente, introducir las relaciones espaciales, genéticas y evolutivas que permiten explicar su estado actual. Por tanto, nuestro objetivo es analizar de la manera más objetiva posible las relaciones geométricas de los elementos constitutivos del relieve. No todos los parámetros se considerarán dentro del análisis, sólo aquellos que marquen las diferencias básicas entre las formas; el resto se tendrá en cuenta al incluir los procesos, según su nivel de aportación para diferenciar los elementos del geopaisaje.

El tratamiento aplicado a los parámetros obtenidos en el apartado anterior (pendiente, gradiente de altura, orientación, curvatura, rugosidad, desarrollo del segmento, energía del relieve, tendencia del relieve, sentido de la inclinación, carácter del segmento, articulaciones, morfométrico y topologías del segmento) será diferente para cada uno de ellos. En principio se deben separar dos grandes grupos, tantos como tipos de mapas base, pues así podremos aplicar unas separaciones de intervalos con diferentes criterios para los parámetros obtenidos con escalas cuantitativas (valores en un rango numérico) y los obtenidos con escalas cualitativas (valores en un rango no numérico).

El problema fundamental a la hora de establecer los valores de intervalos (escalas cuantitativas) o asociaciones de posibilidades (escalas cualitativas), son los límites: es prácticamente imposible estandarizar unos límites en escalas que relacionen formas del terreno con procesos geomorfológicos, geológicos, condiciones ambientales (internas y externas), etc.; por el contrario, es más fácil establecer los límites con los que cada parámetro entrará en la ecuación final de análisis, en función del tipo de trabajo a realizar, los objetivos planteados, o los propósitos del tipo de análisis.

La problemática requiere pues, un conocimiento exhaustivo de las ciencias de análisis del territorio (morfometría, fisonomía, geomorfología, etc), así como el funcionamiento general de la dinámica terrestre. En cada estudio se deberá plantear la

estrategia a seguir en función del conocimiento previo del mismo, estableciéndose los criterios de selección de los objetivos a conseguir; veremos seguidamente un planteamiento para la zona a la que hemos venido haciendo referencia en apartados anteriores y cuyo resumen de actuación quedará simplificado en el Esquema II.1 (apéndice gráficos).

II.3.1.- Primera fase de tratamiento. Selección de intervalos de pendiente

Una de las escalas cuantitativas con la que más se trabaja en los estudios de las Ciencias de la Tierra, o de ordenación territorial y medio ambiente, es la obtenida en los mapas de la *pendiente del terreno*; el motivo es que este parámetro es importante tanto para diferenciar usos del territorio y formas del terreno, como para establecer umbrales en la activación o desactivación de múltiples procesos geomorfológicos.

La estipulación de los intervalos en este tipo de mapas derivados depende de dos factores generales: el uso al que se destinará el mapa final y, en consecuencia, los elementos que se desean resaltar. La tabla II.6 muestra una relación de tipos de divisiones propuestas en base a diferentes objetivos.

El conjunto de agrupación de pendientes de la tabla II.6 para diferente usos, actividades y/o estudios, tiene en común la búsqueda de los límites en que se producen los cambios en el comportamientos de ciertos procesos; es por ello que a la hora de aplicar uno u otro límite, debemos conocer el comportamiento de los agentes que controlan cada proceso. Cuando se analiza el territorio no sólo deben considerarse los agentes naturales; en determinadas zonas la actividad humana es un agente más, llegando en ciertos casos a ser un elemento discriminador en el desencadenamiento de procesos naturales.

Partiendo de las clasificaciones contenidas en la tabla II.6, pueden establecerse una serie de límites que constituyen un punto de homogeneización entre las diferentes escalas propuestas y son la base para cualquier estudio. La figura II.2 muestra la superposición de todas las escalas presentes en el cuadro II.6; son apreciables una serie de zonas correlacionables entre todas ellas, que podrían conformar las divisiones principales, y otras dentro de esas primeras que podrían dar idea de los parámetros o elementos destacables para una subdivisión.

Tabla II.6: Intervalos propuestos para la clasificación de las pendientes.

Autor/año	Objetivo	Basada en:	Clasificación			
			Clase	Límite %	Características	
Soil Survey Staff (1951)	Clasificación de suelos (EE.UU)	Grado de pendiente y concepto de pendiente simple y compleja	A	0 a 1-3	Pendiente a nivel o casi a nivel. Escorrentía superficial lenta o muy lenta. Sin problema en la maquinaria agrícola. No hay peligro de erosión hídrica, salvo en suelos muy susceptibles.	
			B	1-3 a 5-8	Pendiente suave o muy suave (simple) / ondulada o suavemente ondulada (compleja). Escorrentía media a lenta. Sin limitación de la maquinaria. Erosión dependiente de la susceptibilidad del suelo.	
			C	5-8 a 10-16	Pendientes fuertes o muy fuertes (simples) / quebradas - suavemente quebradas (complejas). La escorrentía puede llegar a ser rápida. Dificultad con maquinaria pesada. Peligro de erosión por cultivos, recomendándose cultivos en fajas o aterrazados	
			D	10-16 a 20-30	Pendientes moderadamente escarpadas (simples) / onduladas (complejas). Escorrentía rápida y muy rápida. Uso de maquinaria difícil. Destinado a cultivos de pasto.	
			E	20-30 a 45-65	Pendientes escarpadas. Escorrentía muy fuerte. Sólo cultivos en suelo resistentes (bosques y pastos).	
			F	> 45-65	Pendientes muy escarpadas. Se recomienda actuaciones de protección.	
Ministerio de Agricultura (basada en la propuesta del Servicio de Conservación de Suelos EE.UU -1966)	Capacidad agrícola de los suelos	Según el sistema de explotación de zonas agrícolas	Denominación		Pendiente %	Usos
			Zonas llanas		< 3	Suelos laborables
			Pendiente suave		3 – 10	
			Pendiente moderada		10 - 20	
			Pendiente fuerte		20 – 30	Pastos y explotaciones forestales
			Pendiente muy fuerte		30 – 50	
Zonas escarpada		>50	Solo reserva natural			
Storie (1970)	Clasificación de suelos.	Modificación de la de Soil Survey Staff (1951) para California	Pendiente %		Pendiente simple (una sola dirección)	Pendiente compleja (varias direcciones)
			< 0,5		A nivel	A nivel
			0,5 – 2		Muy ligera	Muy ligera, ondulada
			3 – 8		Ligera	Ondulada
			9 - 15		Moderada	Quebrada
			16 – 30		Fuerte	Fuertemente ondulada
			31 – 45		Colgada	Colgada
>45		Muy colgada	Muy colgada			
López Cadenas y Blanco Criado (1976)	Clasificación agrológica de uso común en España	Según el porcentaje de pendiente	Pendiente %		Uso	
			< 3		Suelos agrícolas	
			3 - 7			
			7 – 12			
			12 – 15		Suelos con cultivos ocasionales	
			15 – 18			
			18 – 20			
			20 – 28		Suelos forestales	
28 – 35						
>35						

(Continuación tabla II.6)

Autor/año	Objetivo	Basada en:	Clasificación			
			Pendiente °		Denominación de la pendiente	
Bibby y Mackney (1969)	Capacidad agrológica en el Reino Unido	Según grados y basada en una modificación de la clasificación americana	0 - 3		Suave	
			3 - 7		Moderadamente inclinada	
			7 - 11		Fuertemente inclinada	
			11 - 15		Inclinación casi excesiva	
			15 - 25		Excesivamente inclinada	
			>25		Inclinación muy excesiva	
Centre d'Etudes Phytosociologiques et Ecologiques de Motpellier (1968)	Relación entre gradiente de pendiente y denominación de categorías	Según la clasificación de gradientes de Curtis (1965) y tipos de drenaje externo de Sys (1961)	Clases	Pendiente %	Categorías de pendientes	Tipos de drenajes
			0	0 - 1	Nula	Nulo
			1	1 - 4	Suave	Suave
			2	4 - 9		
			3	9 - 16	Media	Medio
			4	16 - 25		
			5	25 - 36	Bastante fuerte	Rápido
			6	36 - 49		
			7	49 - 64		
			8	64 - 81	Fuerte	Muy rápido
			9	81 - 100	Muy Fuerte	
			10	100 - 150		
11	150 - 275	Abrupta				
E. Scholz (en Demek 1972)	Gradiente de pendiente en grados	Relación de formas, procesos geomorfológicos y actividades humanas	Pendiente	Morfologías	Procesos	Usos
			0° - 30° Plano	Llanuras aluviales y glaciares, superficies de erosión y terrazas	Ausencia de lavado y deslizamientos	Adecuado para cultivo, urbanización, infraestructuras, etc
			30° - 2° Casi plano	Sandur, planicies onduladas, pediments, relieves tabulares, etc	Congeliflujión, regueros poco incisivos y soliflujión incipiente	Igual al anterior
			2° - 5° Débilmente inclinado	Ondulado en tills basales, drumlins, fondos de valle, relieves tabulares	Movimientos en masa, soliflujiones, procesos fluviales y inicio de erosión en regueros	Riesgo de erosión en regueros en zonas de cultivo. Aceptable para asentamientos urbanos. Posibilidad de mecanización de cultivos
			5° - 15° Muy inclinado	Valles de montañas medias, morrenas terminales y relieves estructurales monoclinales tipo cuesta	Movimiento en masa, erosión en manto y reguero, inicio de deslizamientos y fenómenos de creep	Difícil el cultivo mecanizado (imposible por encima de 7°), transporte difícil, no apto para infraestructuras,
			15° - 25° Débilmente escarpado	Laderas montañosas medias, escarpes de falla, terrazas, etc. Relieves estructurales, monoclinales tipo cuesta, etc.	Erosion lineal muy incisiva, conos de deyección, deslizamientos y caídas; peligro importante de pérdida de suelo	Terreno adecuado para bosque y pastoreo. No apto para infraestructuras
			25° - 35° Escarpado	Relieves estructurales tipo <i>hogbacks</i> , crestas y acantilados costeros.	Erosión lineal muy incisiva, riesgo extremo de erosión del suelo, deslizamientos caídas y avalanchas	Límite de vehículos especiales, no utilizable en agricultura, o construcción. Adecuado para bosque
			35° - 55° Precipicio	Escarpes en gargantas, crestas y acantilados.	Caídas en masa, deslizamientos y colapsos	Terreno límite para uso forestal y paso caminado.
>55° Vertical	Cornisas y acantilados	Caídas, colapsos, deslizamientos y desagregación granular	De difícil utilización. Terreno muy escarpado.			
Marsh (1978)	Grados de pendiente	Relaciona fenómenos de erosión y deslizamientos	Pendiente	Descripción		
			0° - 5°	Pendiente suave, terrenos dedicados a los usos más intensivos		
			5° - 15°	Se pueden desarrollar actividades agrícolas y de urbanización. Una inadecuada utilización puede hacer a terreno susceptible de erosionarse		
			15° - 25°	Si hay disminución de cobertura vegetal hay peligro de erosión importante y formación de cárcavas		
> 25°	Hay peligro de formación de deslizamientos, acentuados por el desarrollo de ciertas actividades constructivas y de remoción.					

(Continuación tabla II.6)

Autor/año	Objetivo	Basada en:	Clasificación				
			Pen-diente °	Morfometría		Fisonomía	Dinámica
				Perfil	Superficie		
Pedraza <i>et al</i> (1996)	Grados de pendiente	Modelo indicativo para realizar clasificaciones de elementos y procesos en vertientes	0° - 5°	Rectilíneo o ligeramente cóncavo-convexo	Plana o ligeramente cóncava o convexa	Llano: Loma (cima) Fondo (valle) Hombreda-rellano Terraza	Ligero lavado, arroyada en manto y establecimiento de la escorrentía. Buenas condiciones para el desarrollo de suelos (no en condiciones mínimas) y muy baja vulnerabilidad
			5° - 10°	Cóncavo o cóncavo-rectilíneo	Cóncava o plano-cóncava	Glacis	Arroyada en manto, y a veces en surco, flujo atenuado, buenas condiciones para desarrollo de suelo y baja vulnerabilidad.
			10° - 25°	Generalmente rectilíneo o convexo	Generalmente rectilínea o convexa	Cuesta, abanicos de derrubios y de aluviones	Deslizamientos y flujo, arroyada en surco, buenas condiciones para el desarrollo de suelos, vulnerabilidad media
			25° - 45°	Generalmente cóncavo o rectilíneo	Generalmente cóncava o rectilínea	Talud, conos rocosos y de derrubios	Caídas, avalanchas, deslizamientos y flujo. Arroyada con acarcavamientos, dificultades en la evolución de los suelos y alta vulnerabilidad.
			45° - 60° <	Rectilíneo, cóncavo y convexo	Todas	Escarpes: Acantilado Cornisa Arista-cresta	Caídas, colapsos y avalanchas. Arroyada en reguero concentrado – torrenceras, escaso desarrollo de suelos y alta vulnerabilidad.

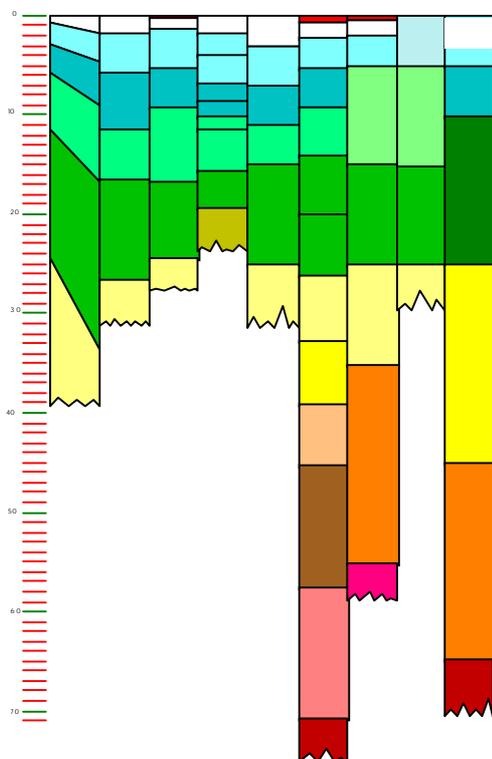


Figura II.2 Relaciones de las escalas de pendientes del cuadro II.6. colocadas en orden de aparición

Así pues, los intervalos principales pueden ser subdivididos en otros menores según los objetivos del análisis que se esté realizando; la variación de los límites de los intervalos puede ser debida fundamentalmente a aspectos de uso del suelo, vegetación, o la modalidad de los procesos geodinámicos que actúan sobre la superficie terrestre y sobre los que existe un importante control de la litología, fracturación, etc.

A modo de resumen, la tabla II.7 contiene nuestra propuesta de límites o intervalos aplicados en el análisis del relieve y, como base de referencia, en otros estudios. Si aplicamos la subdivisión propuesta sobre un área concreta, el resultado es una clasificación primaria del relieve tal como se aprecia en el gráfico II.19.

Tabla II.7 Límites de los intervalos de pendiente principales y criterios morfológicos, geológicos, de uso y aprovechamiento para el parámetro pendiente.

Pendiente (°)	Descripción	Formas		Procesos	Usos		
		Morfometría	Fisionomía				
Pendientes bajas	0 a 1/3	Plano a casi plano	Rectilíneo o casi cóncavo-convexo	Loma (cima) Fondo (valle) Hombreda-rellano Terraza Llanuras aluviales y glaciares, superficies de erosión, Sandur, planicies onduladas, pediments, relieves tabulares, etc	Ligero lavado, arroyada en manto y establecimiento de la escorrentía, salvo en las zonas más llanas (-.5°). Buenas condiciones para el desarrollo de suelos (no en condiciones mínimas) y muy baja vulnerabilidad	Adecuado para cultivo, urbanización, infraestructuras, etc. Sin problema en la maquinaria agrícola.	Suelos Agrícolas
	3 a 5/7	Débilmente inclinado a inclinado	Cóncavo o cóncavo-rectilíneo	Ondulado en tills basales, drumlins, fondos de valle, relieves tabulares, Glacis	Solifluxiones, procesos fluviales y inicio de erosión en regueros Arroyada en manto, y a veces en surco, flujo atenuado, buenas condiciones para desarrollo de suelo y baja vulnerabilidad.	Riesgo de erosión en regueros en zonas de cultivo. Aceptable para asentamientos urbanos. Posibilidad de mecanización de cultivos	
Pendientes medias	5/7 a 10/12	Inclinado a muy inclinado		Generalmente rectilíneo o convexo	Valles de montañas medias, morrenas terminales y relieves estructurales monoclinales tipo cuesta	Movimiento en masa, erosión en manto y reguero, inicio de deslizamientos y fenómenos de creep, condiciones aptas para desarrollo de suelo y baja-media vulnerabilidad.	Difícil el cultivo mecanizado (imposible por encima de 7°), transporte difícil, no apto para ciertas infraestructuras,
	10/12 a 15	Muy inclinado			Deslizamientos y flujo, arroyada en surco, condiciones aptas para el desarrollo de suelos, vulnerabilidad media	Terreno adecuado para bosque y pastoreo. No apto para infraestructuras. Si hay disminución de cobertura vegetal hay peligro de erosión importante y formación de cárcavas	
Pendientes altas	15 a 25	Débilmente escarpado	Generalmente cóncavo o rectilíneo	Cuesta, abanicos de derrubios y de aluviones, Laderas montañosas medias, escarpes de falla, terrazas, etc. Relieves estructurales, monoclinales tipo cuesta, etc.	Erosión lineal muy incisiva, conos de deyección, deslizamientos y caídas; peligro importante de pérdida de suelo	Si hay disminución de cobertura vegetal hay peligro de erosión importante y formación de cárcavas	Suelos forestales
	25 a 35/45	Escarpado		Relieves estructurales tipo <i>hogbacks</i> , crestas y acantilados costeros. Talud , conos rocosos y de derrubios	Caídas, avalanchas, deslizamientos y flujo. Arroyada con acaravamientos, dificultades en la evolución de los suelos y alta vulnerabilidad. Erosión lineal muy incisiva, riesgo extremo de erosión del suelo.	Límite de vehículos especiales, no utilizable en agricultura, o construcción. Adecuado para bosque	
	35/45 a 55/65	Muy Escarpado		Rectilíneo, cóncavo y convexo	Escarpes: Acantilado Cornisa Arista-cresta	Caídas, colapsos y avalanchas. Arroyada en reguero concentrado – torrenteras, escaso desarrollo de suelos y alta vulnerabilidad.	
>55/65	Acantilado	Rectilíneo		Caídas, colapsos, deslizamientos y desagregación granular	De difícil utilización. Terreno muy escarpado		

Esta primera aproximación a la separación de los elementos orográficos, diferencia claramente los terrenos llanos de los topográficamente más abruptos: por tanto, el primer y segundo intervalo permitirán separar las áreas que consideraremos como “planicies” y “vertientes” (en sentido amplio geométrico, sin significado genético) del resto de los elementos constituyentes del relieve. Dentro de esta última agrupación podemos diferenciar dos grupos claros: los valores entre 7° y 15° que definen las laderas media y que denominaremos como “enlaces”, del resto que conforman las laderas superiores y que denominaremos “relieves” (gráfico II.20).

Al igual que la pendiente, los otros parámetros cuantificables deben ser tratados en función de las necesidades del proyecto o estudio que se este realizando. Sin embargo, y dado que esos otros parámetros tienen una utilización más restringida, los ejemplos de escalas de clasificación y/o agrupación son muy escasos.

II.3.2.- Segunda fase del tratamiento. Separación de unidades

El paso siguiente en este procedimiento de análisis secuenciado consiste en realizar una estimación de las unidades menores contenidas en los grupos de relieves determinados a partir de la agrupación de ‘familias’ de pendientes.

El primer parámetro que analizamos es el *gradiente topográfico* o máxima variación de altura en el entorno de un punto problema. Esta operación nos aportará datos de los rangos de variaciones de cada uno de los grupos, permitiendo así determinar en cada caso los valores a tener en cuenta y las operaciones a realizar.

Como ya se vio en la descripción de este parámetro, las posibilidades de análisis son muy grandes; se plantea pues el problema de qué método utilizar para extraer la máxima información. En el caso que nos ocupa, utilizaremos el *gradiente topográfico* para intentar clasificar las pendientes medias y altas, por lo que excluirémos las operaciones que enfatizan o resalten más las pendientes inferiores, que analizaremos con otros parámetros. De todas las posibilidades que aparecen en el gráfico II.4, que corresponde a las salidas de los diferentes métodos de análisis, para el tratamiento de las pendientes medias y altas los mapas que darán más información serán uno cualquiera de los clasificados como 0, 4, 40, 50, 60, 63, 70 ó 71; el que se ha seleccionado para este análisis es el 60, ya que representa el máximo de los módulos y es el que tiene mejor representación con respecto al mapa de pendientes.

Aquí vuelve a surgir el problema de los límites de los intervalos; en cierta forma se elimina si se realiza una separación en función de los tres grandes grupos de pendientes establecidos.

Mapa de pendientes reclasificados

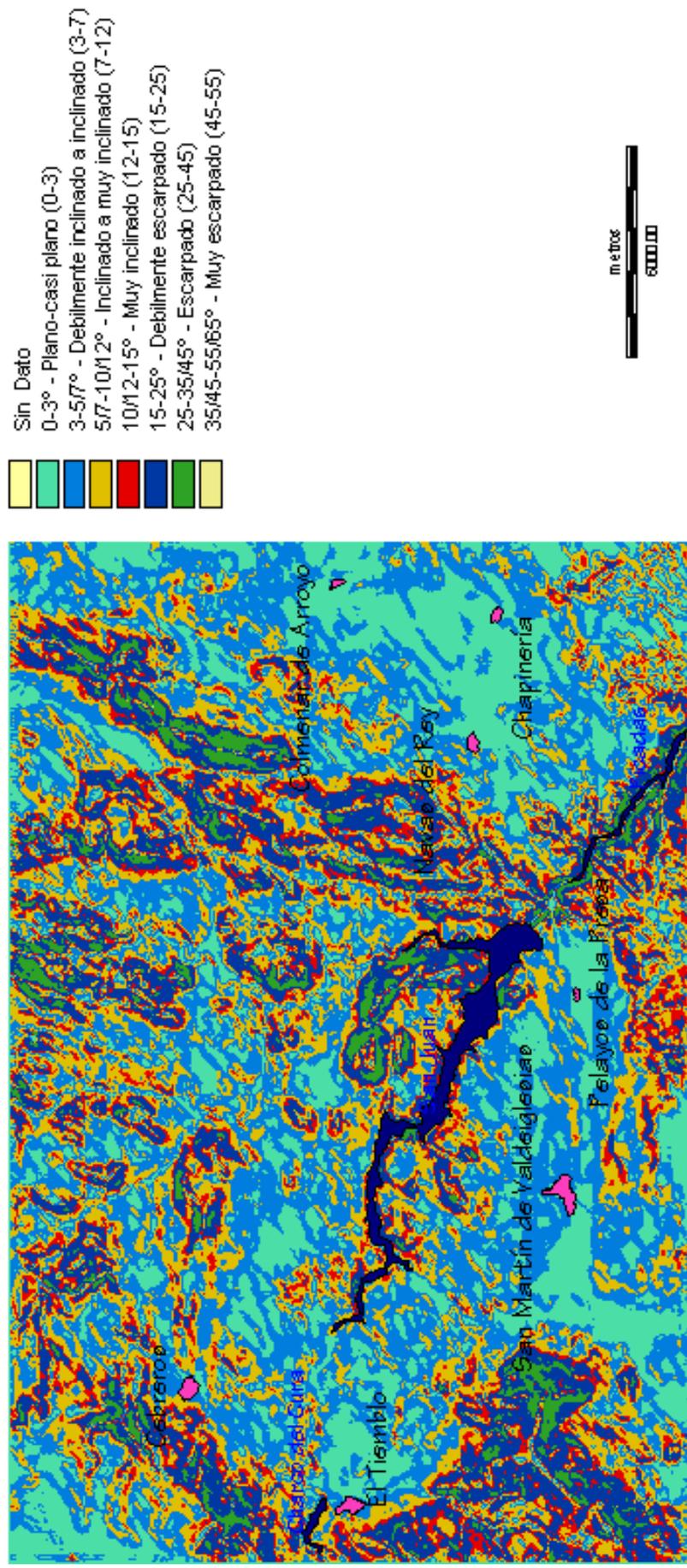


Gráfico II.19 Mapa que representa los intervalos de pendientes de la leyenda marcan los límites seleccionados para este caso (Mapa militar de España E. 1:50.000, hoja 17-22 (557), San Martín de Valdeiglesias).

Mapa de grupos principales

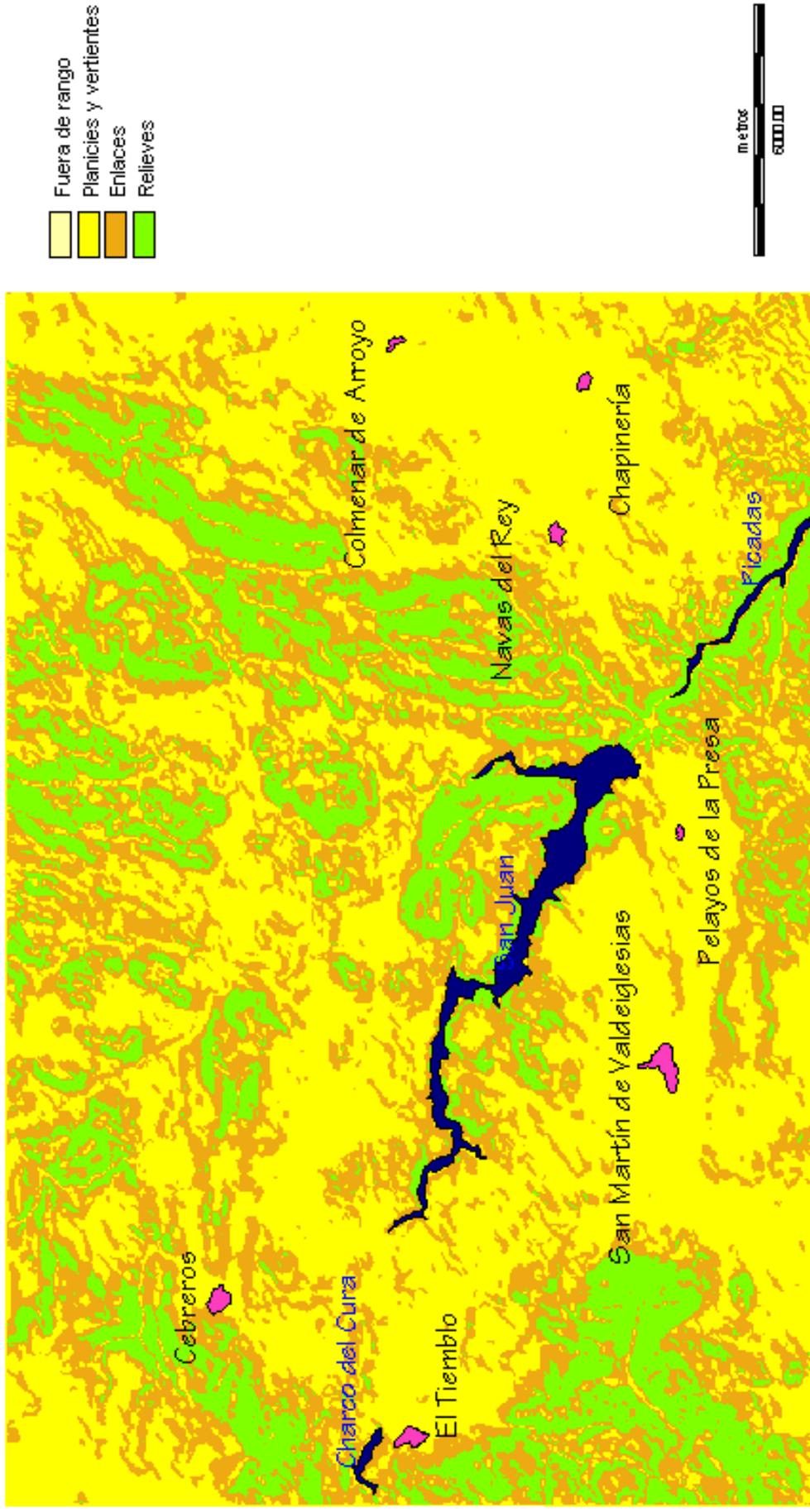


Gráfico II.20 Mapa de grupos principales de morfometrías derivadas del MDE. Nivel cero de aproximación del relieve (Mapa militar de España E: 1:50.000, hoja 17-22 (557), San Martín de Valdeiglesias)

El gráfico II.21 muestra el valor del gradiente de alturas para los intervalos de pendiente pertenecientes a los tres grandes grupos establecidos en el apartado anterior. Los valores de las medias de las distribuciones de datos, se concentran en torno a 48 metros de gradiente altitudinal en las pendientes altas, en la zona intermedia están en torno a los 22 metros y en la zona de pendiente inferior entrono a los 8 metros. Es claramente apreciable en la figura la separación de las formas del relieve en función de su geometría primaria, que conformará posteriormente el elemento principal de la clasificación.

Las separaciones posteriores serán aplicadas a cada uno de grandes grupos, con lo que no todos los tratamientos serán generales a las tres, siendo particulares a las características del terreno.

El orden de procesado que seguiremos en este caso es el siguiente:

- Grupo de Planicies y Vertientes.
- Grupo de Relieves
- Grupo de Enlaces

II.3.2.1 *Grupo de planicies y vertientes*

Corresponde este grupo al de menor pendiente y puede ser subdividido en subgrupos en función de varios parámetros; el que mejor representación da es la rugosidad, ya que determina la homogeneidad del territorio. Primeramente, se separarán de los valores del parámetro estimador los correspondientes al grupo inferior; su rango queda comprendido entre 2.0 y 2.1 de rugosidad, si bien el 99% de la muestra se sitúa entre 2.0 y 2.005.

El problema que se vuelve a plantear, es el de los límites que se utilizarán para considerar las posibles separaciones dentro de la escala de valores de la rugosidad; dado que no existen patrones establecidos ni escalas prediseñadas, una posibilidad sería analizar estadísticamente si existe alguna forma de separación de los valores de rugosidad. Si consideramos en el análisis los valores comprendidos para el 99% de la muestra, en el histograma de los mismos (figura II.3) pueden separarse cuatro grupos: el primero y más importante, corresponde a los valores del primer intervalo (2.0000 y 2.0001) y son las **zonas llanas** (8% del total de datos, estadísticamente corresponde a la moda); el siguiente corresponde a los valores comprendidos entre 2.0001 y 2.0018, que configuran una secuencia de valores con una tendencia

de disminución progresiva en el histograma y a los que consideraremos como **zonas ligeramente degradativas** (32% del total de datos, estadísticamente corresponde a la moda mas la desviación típica); la siguiente zona que comienza con un máximo relativo en el valor 2.0019 y finaliza en el 2.0037 la denominaremos **zonas degradativas** (48% del total de datos, estadísticamente abarca casi el 90% de los datos); y por último los valores superiores a 2.0037 se aglutinarán en lo que se denominará **zona muy degradativa** (12% del total de datos).

Histograma del 99% de los valores de rugosidad

Hoja de San Martín de Valdeiglesias

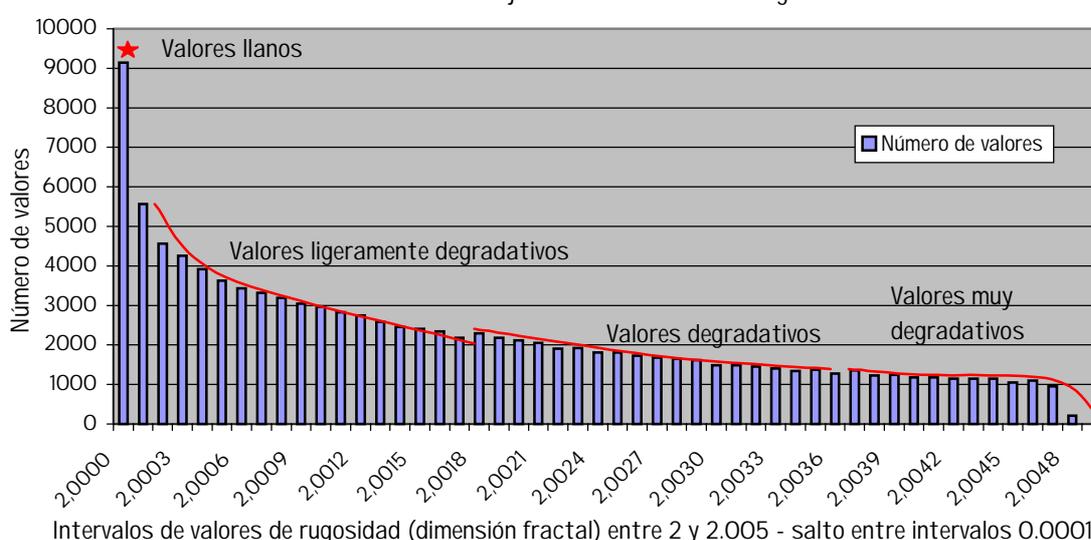
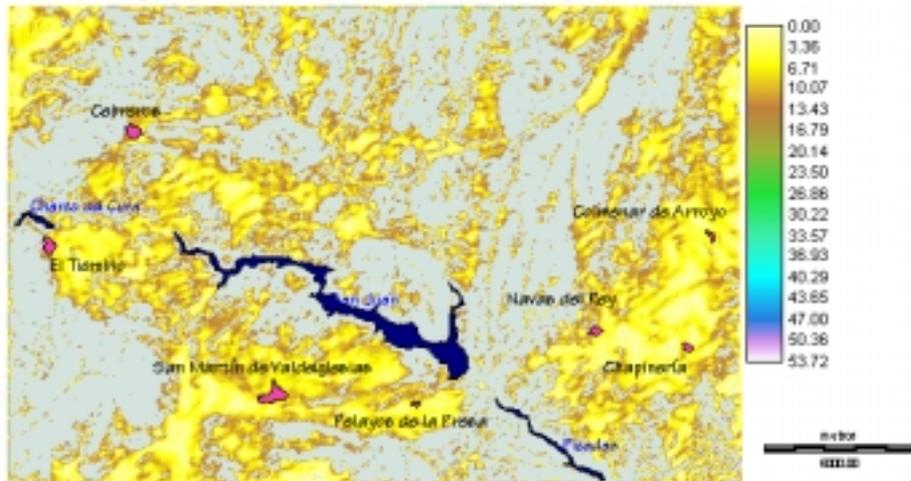


Figura II.3 Histograma de los valores de rugosidad para el grupo de planicies y vertientes (Mapa militar de España E: 1:50.000, hoja 17-22 (557) San Martín de Valdeiglesias).

El término **degradativo** utilizado en la separación de este primer grupo, no hace referencia a procesos erosivos; su significado alude a la idea de alejamiento de la tendencia plana y rugosidad muy escasa, hacia valores mayores de ambas variables. La imagen obtenida de la aplicación de la combinación de parámetros y filtros corresponde a la gráfico II.22.

Esta primera aproximación, puede refinarse más si analizamos para cada una de las clases obtenidas las formas de intersección de malla (parámetros como tipologías, mapa morfométrico, carácter del segmento, etc). Desde el punto de vista fisiográfico, y comparando este resultado con el mapa geomorfológico realizado por fotointerpretación y trabajo de campo (Mapa Geomorfológico anexo I), obtenemos ciertas correlaciones. Las clases 1 y 2 del gráfico II.22. (mapa de clases de rugosidad)

Mapa de gradiente de alturas de la unidad de llanuras y vertientes



Mapa de gradiente de alturas de la unidad de enlaces



Mapa de gradiente de alturas de la unidad de relieves



Gráfico II.21 Separación de los valores de gradiente de altura en función de los intervalos principales de pendientes. Los escalas de color de las leyendas no son iguales en valor en los tres mapas (Mapa militar de España E: 1:50.000, hoja 17-22 (557), San Martín de Valdeiglesias).

Mapa de clases de rugosidad para el intervalo inferior de pendientes

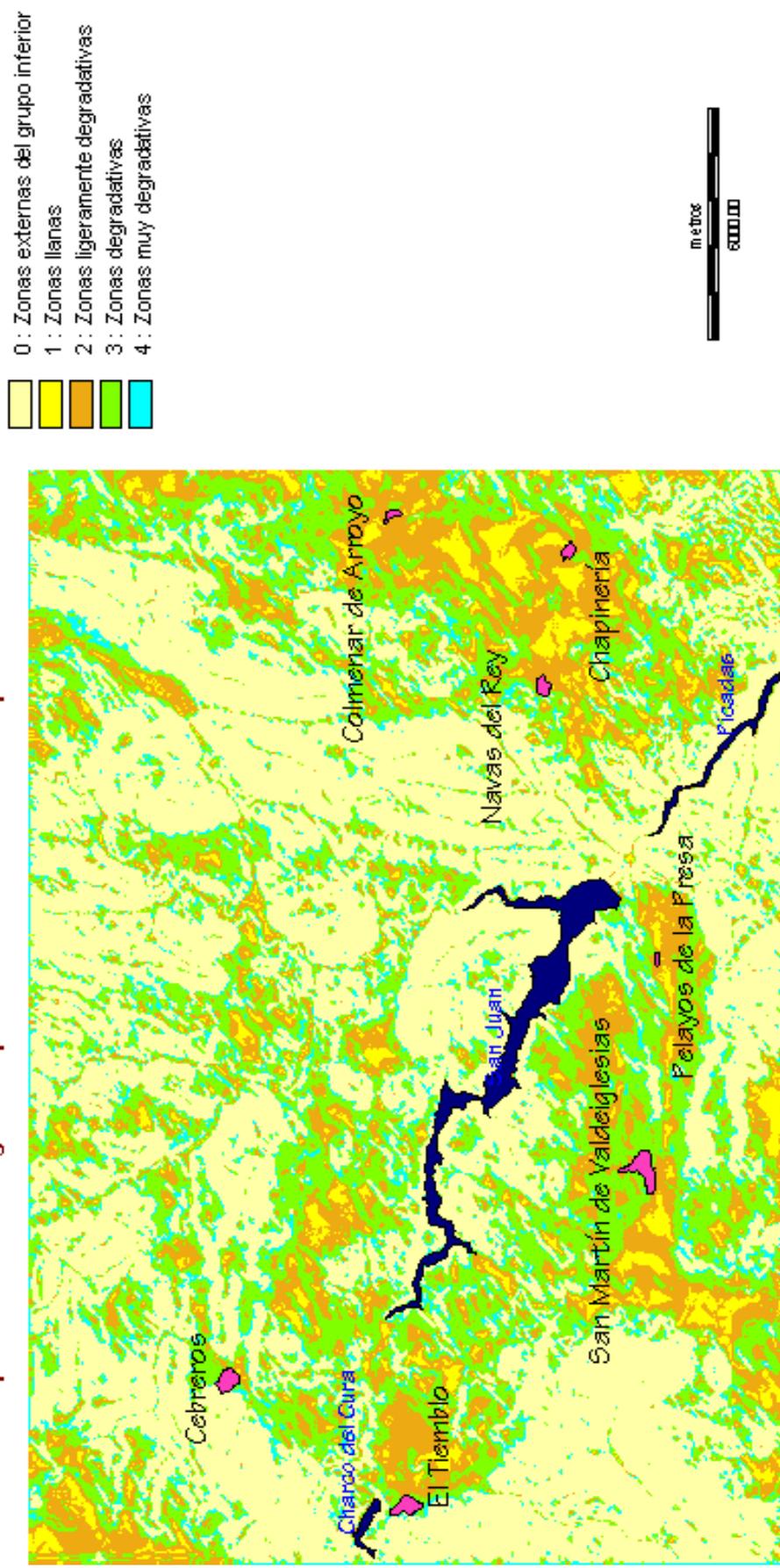


Gráfico II.22 Mapa de valores de rugosidad reclasificados para el intervalo de pendiente inferior (Mapa militar de España E: 1:50.000, hoja 17-22 (557), San Martín de Valdeiglesias).

se ajustan significativamente a las formas cartografiadas como *superficies*, zonas endorreicas como navas, y depósitos fluviales de terraza y llanura. Las clases 3 y 4 corresponden a porciones de ladera pertenecientes: bien a los terrenos que sirven de unión entre el *grupo de planicies y vertientes* y los otros grupos (ver gráfico II.20 - mapa de grupos principales); o bien al paso gradual de las zonas menos rugosas hacia los encajamientos de la red fluvial, terrenos claramente degradativos de las clases 1 y 2.

La división de las clases 3 y 4 en los subgrupos es de difícil solución a través de operaciones del modelo digital de elevación, ya que las combinaciones que presentan unas y otras de posibles topologías de cruce de malla son muy similares. Una solución para dar detalle a estas unidades puede ser diferenciar las zonas de biconcavidad, biconvexidad y cóncavo-convexidad. El gráfico II.23 (mapa de biconcavidad-biconvexidad de clases 3 y 4 del grupo planicies y vertientes) muestra los resultados para las dos clases.

La información obtenida de este análisis, aunque importante, enmascara el intento de obtener una generalización de unidades; sin embargo mantendremos la división resultado del cruce entre los dos mapas anteriores, ya que conseguiremos dar un significado morfométrico importante a las dos clases donde se ha aplicado.

El mapa resultado muestra varias morfologías o unidades de relieve a las que se les puede otorgar un significado fisonómico; son las planicies y las laderas. Las planicies (entendidas en amplio sentido geométrico) quedan separadas en dos tipos: las que determinan la tendencia de la unidad o planicie *ss*, y las que se separan de la tendencia o planicies degradadas (entendiendo tendencia referida a las características de pendiente y rugosidad de la planicie *ss*).

En cuanto a las laderas, conforman el comienzo de los escarpes que unen las dos primeras unidades con los grupos superiores o bien que sirven de enlace con los encajamientos debidos a la red fluvial. Como se ha indicado anteriormente, se mantendrá la precisión obtenida para las clases de zonas degradadas y muy degradadas que otorgarán un significado más concreto a las unidades. Este primer análisis tendrá como resultado el gráfico II.24 (mapa de unidades morfométricas del grupo de planicies y vertientes).

II.3.2.2 *Grupo de relieves*

Los pasos seguidos en la separación de unidades del *grupo de relieves* son totalmente diferentes a los realizados para el *grupo de planicies y vertientes*. En este caso se buscan primeramente las zonas con mayor desequilibrio energético, para lo que se usará una división más fina de la pendiente (ver tabla II.7, grupo de pendientes superiores) y el factor de rugosidad (dimensión fractal). Las zonas obtenidas con cada uno de los parámetros también se ponderarán, operándose sumatoriamente para obtener la combinación de clases (gráfico II.25 – mapa de unidades base del grupo de relieves).

Las clases así obtenidas, son un indicador de la inestabilidad potencial de la ladera según el grado de rugosidad y la pendiente; esta acepción de inestabilidad no hace referencia directa a la debida a los procesos geomorfológicos. Los intervalos de pendientes son variables tanto en límites como en precisión; hay que recordar que la tabla II.7 propuesta como modelo base es simplemente indicativa y sus intervalos pueden variar considerablemente en función de nuestros propósitos. Algo parecido ocurre con el parámetro rugosidad (dimensión fractal), pero en este caso no existen tablas sobre estudios que relacionen el valor de rugosidad con procesos, actuaciones o usos del territorio.

Los intervalos de rugosidad seleccionados en este caso, se han basado más en una estimación estadística simple que en un análisis más detallado de los datos; para la primera separación se ha tomado el intervalo que contiene la media de los valores de rugosidad del grupo (2 y 2.04) que aglutina el 60% de los valores, el siguiente límite se sitúa en el 90% de los valores, lo que corresponde a un 30% más (entre 2.04 y 2.07), el resto (10%) corresponde a los valores de máxima, comprendidos entre 2,07 y 2.2 de índice de rugosidad.

Los valores obtenidos del cruce de los mapas, se han agrupado en cinco clases basadas en la relación de rugosidad y pendiente. Se considera que un área de ladera con un valor de rugosidad bajo y dentro del intervalo de menor pendiente, presenta mayor estabilidad y homogeneidad en su fisonomía que un área con las condiciones contrarias. Un claro ejemplo lo tenemos en la escorrentía; las zonas de menor rugosidad y menor pendiente ofrecerán menos posibilidades a una escorrentía concentrada que aquellas cuyas características en estos parámetros sean las contrarias.

Una posibilidad para asignar más precisión a este mapa es cruzar el resultado con el mapa de elementos morfométricos del grupo, diferenciando las zonas de mayor inestabilidad con las áreas de concentración (laderas bicóncavas) y dispersión

Valores de biconcavidad, biconvexidad y cóncavo-convexidad para las unidades 3 y 4 del grupo de planicies y vertientes

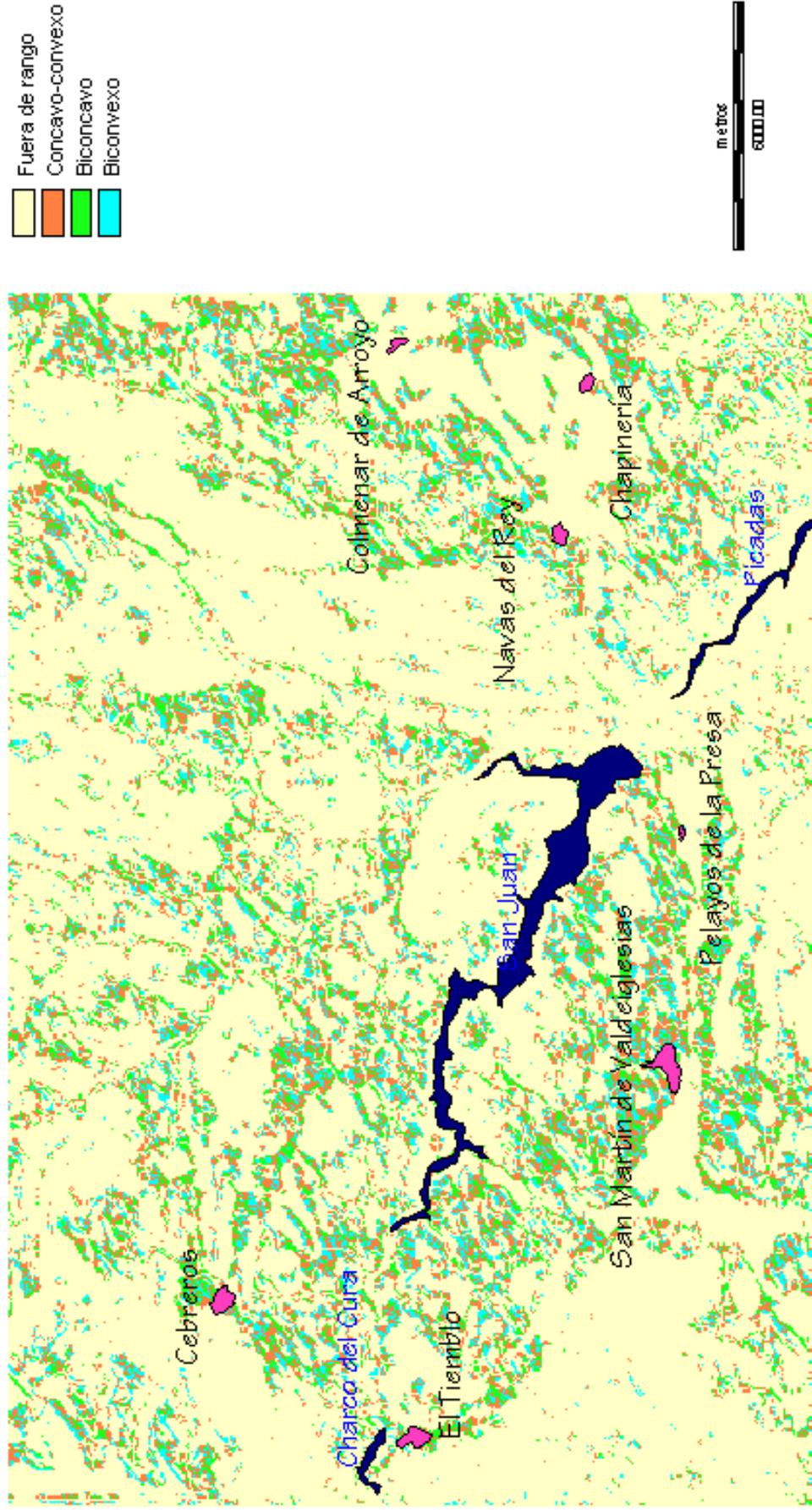


Gráfico II.23 Valores de la biconcavidad, biconvexidad y cóncavo-convexidad de las unidades correspondientes a la clases degradativa y muy degradativa del grupo inferior de pendientes (Mapa militar de España E: 1:50.000, hoja 17-22 (557) San Martín de Valdeiglesias).

Mapa de unidades morfométricas del grupo de planicies y vertientes

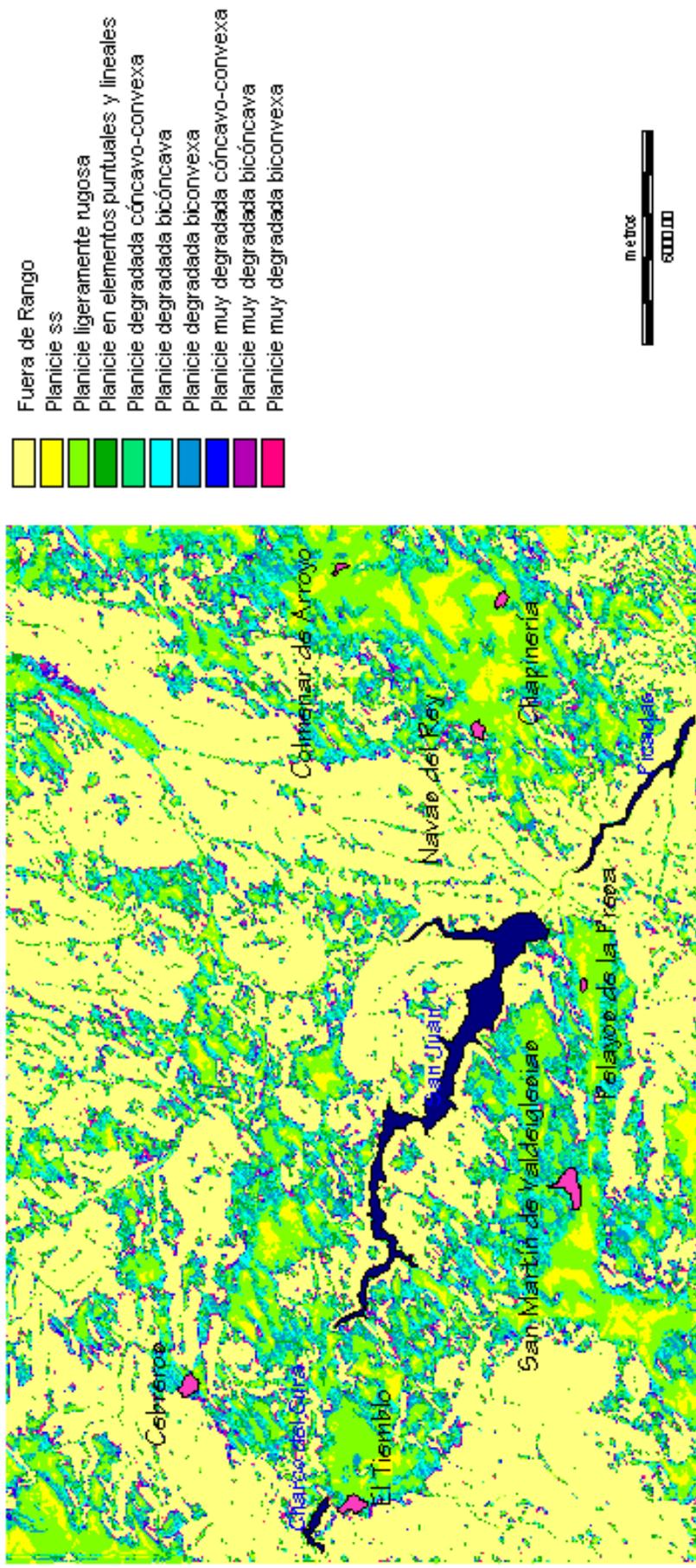


Grafico II.24 Unidades morfométricas del grupo inferior de pendientes, primer nivel de abstracción del relieve en base al Modelo Digital de Elevación. (Mapa militar de España E: 1:50.000, hoja 17-22 (557), San Martín de Valdeiglesias).

(laderas biconvexas) de flujo. El gráfico II.26 (mapa de unidades del grupo de relieves) muestra el resultado de la extracción de los valores morfométricos correspondiente al grupo de pendientes que tratamos, así como la separación de dichos valores para las tres unidades superiores; estas zonas corresponderán a las áreas donde la concentración o dispersión de flujo será más intensa. Se excluyen de estas áreas las zonas clasificadas como cóncavo-convexas, ya que es complicado establecer punto a punto la relación de concavidad y/o convexidad con las otras zonas consideradas.

II.3.2.3 Grupo de enlaces

La separación en unidades del grupo medio de pendientes se basará en el gradiente altitudinal. Esto se hace así debido a que este parámetro ofrece una información bastante aproximada de la cercanía relativa a los grupos precedente y antecedente, con los que comparte una relación de zona de enlace entre uno y otro.

Como en los casos anteriores, los límites son muy arbitrarios ya que no existen patrones de comportamiento o uso para calibrarlo; nosotros aquí hemos seleccionado el valor medio de la distribución de datos, separando las zonas de gradiente menor a 22,6 metros de las de valores superiores a éste. El rango de valores de pendientes de este grupo (7° a 15°) aparece en ambas unidades, pero su distribución es completamente diferente; en la primera unidad se acumulan los valores bajos con una media de 8,8°, mientras en la segunda se acumulan los valores altos con media de 12,2° (figura II.4).

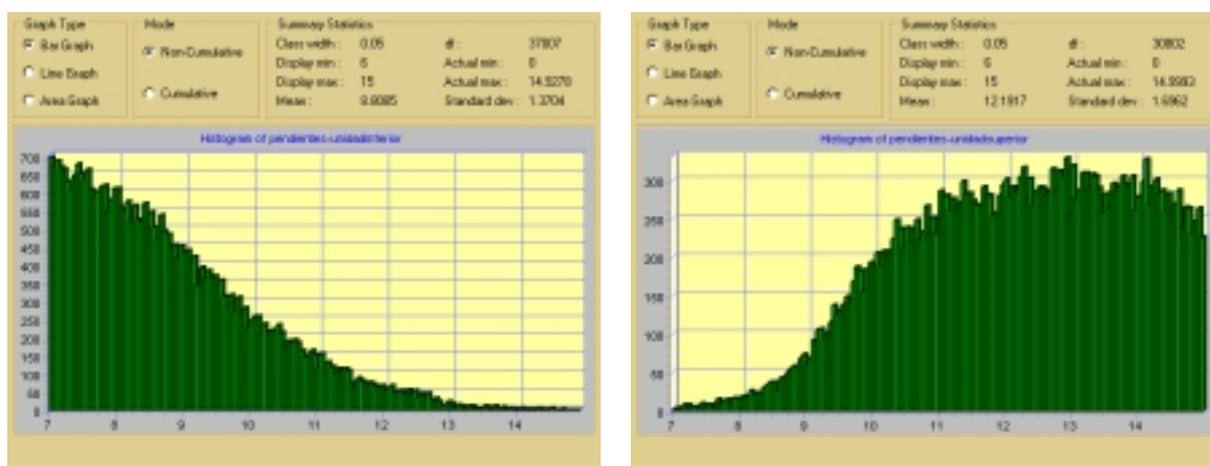


Figura II.4 Distribución de los valores de pendientes en las unidades principales del grupo medio de pendientes.

La primera unidad corresponderá en su mayoría a la zonas de transición con el grupo de pendientes inferiores, la segunda lo hará con la zona de transición al grupo superior de pendientes (gráfico II.27a – mapa de unidades base del grupo de enlaces). Como en los apartados anteriores, podríamos obtener más detalle del análisis de esta unidad procesando el mapa de elementos morfométricos (gráfico II.27b – mapa de unidades de detalle del grupo de enlaces), pero en este caso la mayor definición encubre las unidades inicialmente definidas.

En este grupo de relieves intermedios un mapa más detallado no aporta claridad a los resultados, si no todo lo contrario; por este motivo, en el mapa final obtenido aquí no se subdividen las unidades.

Si configuramos un mapa único con los tres grupos y sus unidades, el resultado es el del gráfico II.28 (mapa de unidades morfométricas). La Tabla II.8 muestra una relación de los parámetros morfométricos definidos en los apartados anteriores (punto II.2) y la aplicación que pueden hacerse con cada uno de ellos a los grupos de pendientes principales; este cuadro es una aproximación primaria y por tanto con carácter meramente informativo.

II.3.3.- Tercera fase de tratamiento. Elementos destacables o fisonomías características

Una vez analizados los grupos principales de pendientes y las unidades, se debe trabajar sobre el modelo de elevación para obtener fisonomías singulares o características. Este análisis debe realizarse a partir de la comparación de patrones de formas; la mayoría de los programas destinados a la gestión y operación con Sistemas de Información Geográfica proporcionan numerosos filtros para tratamientos de imágenes, pero todos ellos están destinados a operaciones matriciales (medias, paso alto, convoluciones, etc.).

En muy pocos casos, por no decir ninguno, se han creado formas de análisis comparativo a través de patrones establecidos y modificables por los usuarios; para paliar esta falta, imprescindible en los análisis de los MDE sobre todo cuando se estudian formas del terreno, hemos desarrollado un módulo de análisis de patrones dentro del programa *pendiente*, de modo experimental y con un radio de acción máximo de un 7x7 píxeles. Este módulo es aplicable, sobre todo, a los parámetros cualitativos que presentan una dispersión grande de las diferentes clases, como es el caso del mapa morfométrico o de tendencias. Su aplicación sobre parámetros cuantitativos no tiene mucho sentido, al ser la variabilidad de valores muy alta.

Mapa del grado de estabilidad del grupo de relieves

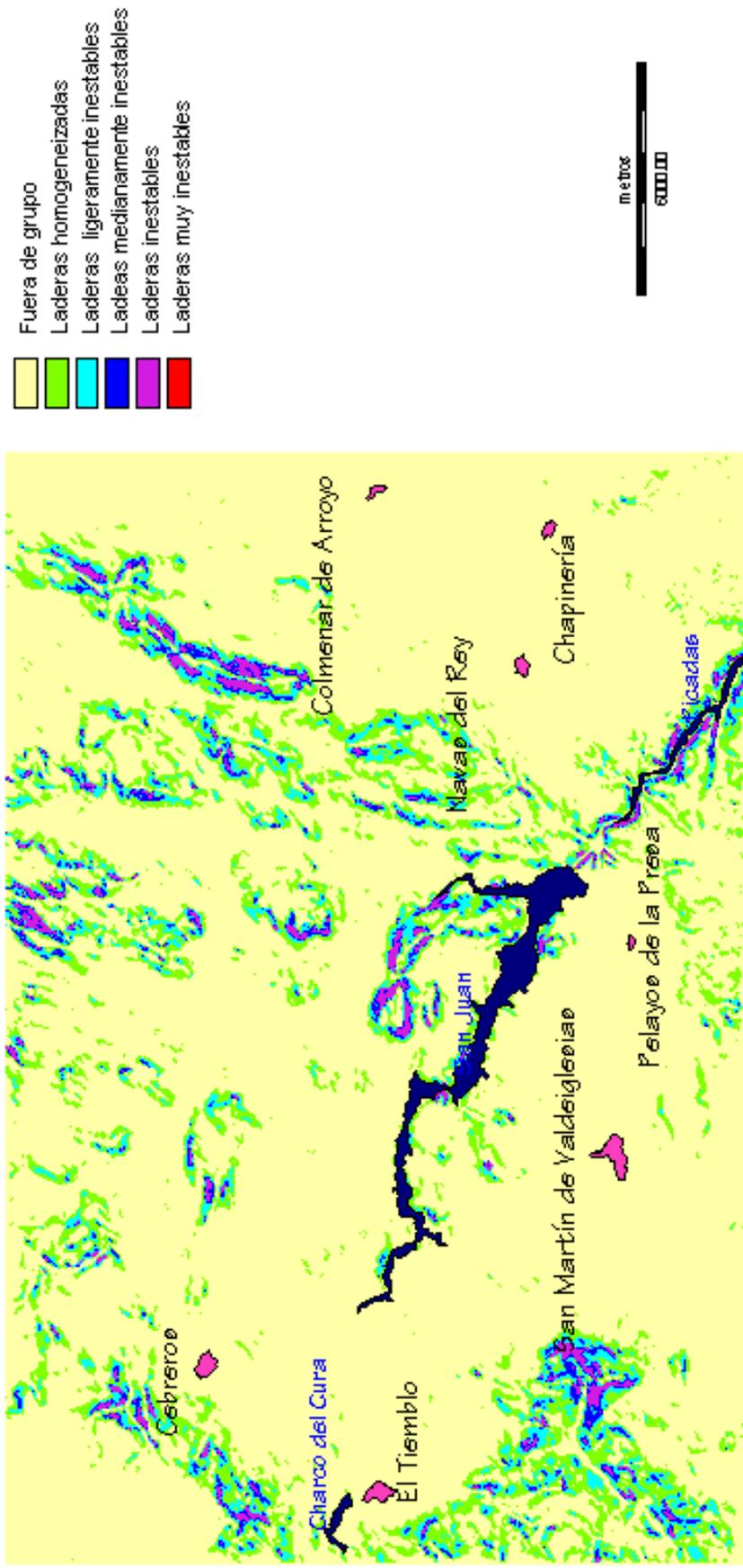
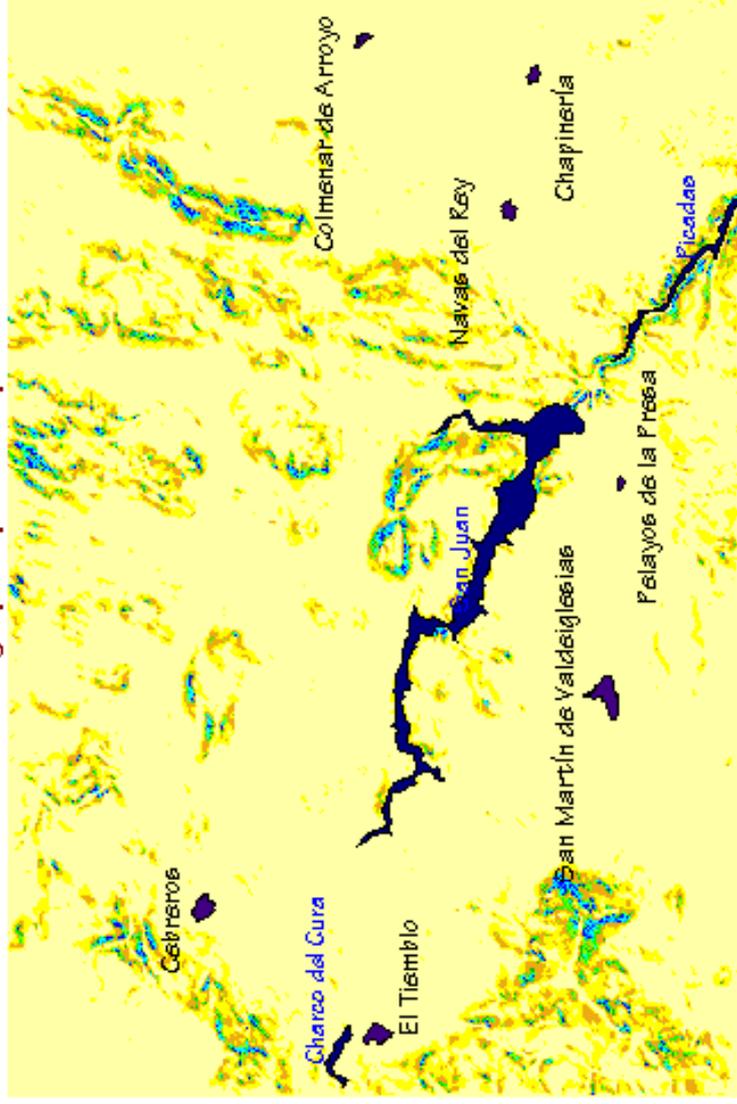


Gráfico II.25 Mapa de unidades base del grupo superior de pendientes basado en subintervalos de pendiente y rugosidad (Mapa militar de España E.: 1:50.000, hoja 17-22 (557), San Martín de Valdeiglesias).

Unidades del grupo superior de pendientes



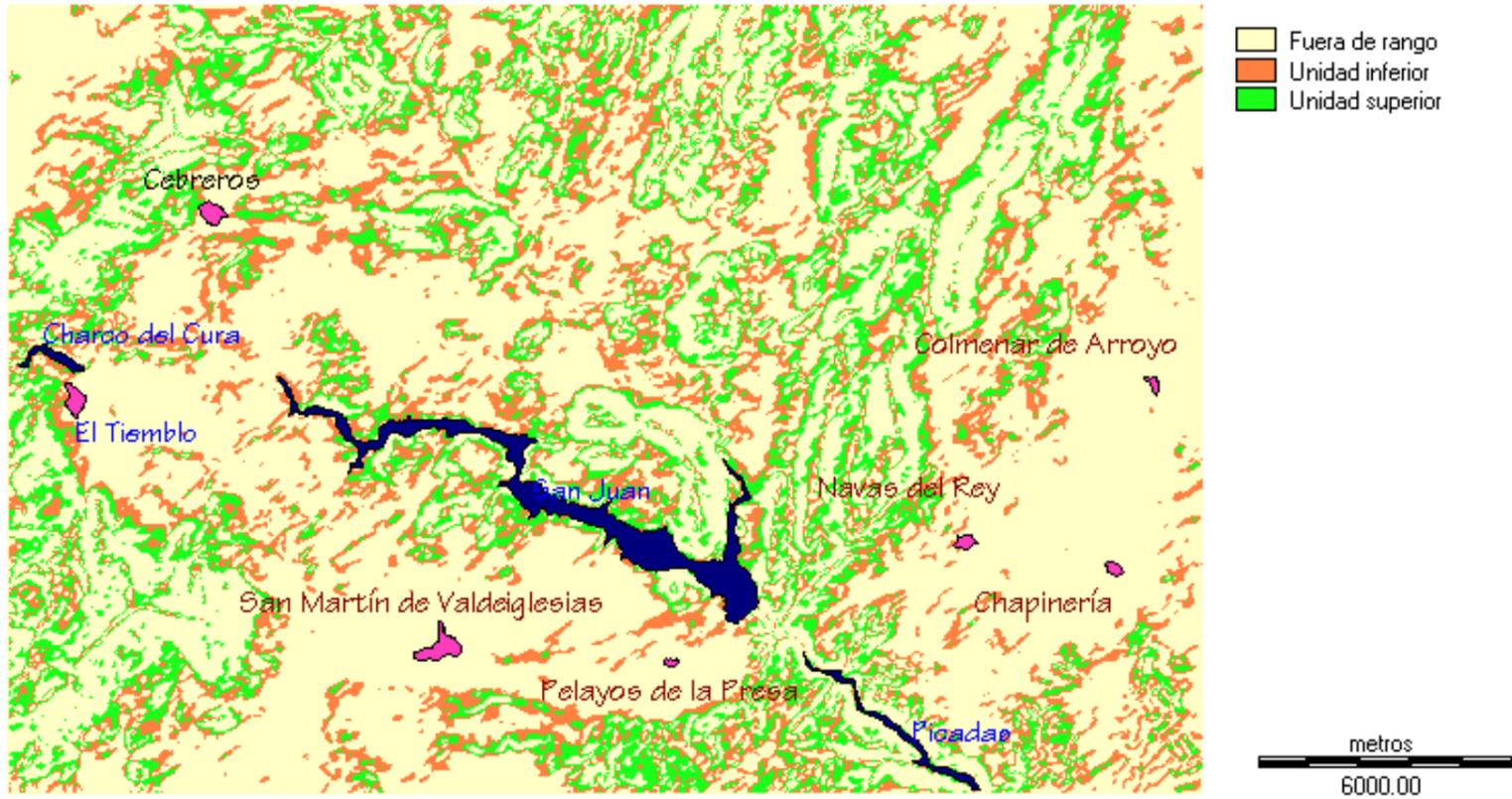
- | | |
|---|--|
|  | Fuera de grupo |
|  | Homogenea |
|  | Inestabilidad incipiente |
|  | Inestabilidad media |
|  | Inestabilidad alta |
|  | Inestabilidad media con concentración de flujo |
|  | Inestabilidad media con dispersión de flujo |
|  | Inestabilidad alta con concentración de flujo |
|  | Inestabilidad alta con dispersión de flujo |
|  | Muy alta inestabilidad |



Gráfico II.26 Unidades morfométricas del grupo superior de pendientes, primer nivel de abstracción del relieve en base al Modelo Digital de Elevación (Mapa militar de España E; 1:50.000, hoja 17-22 (557), San Martín de Valdeiglesia).

A

Mapa de unidades fundamentales del grupo de enlaces



B

Mapa de unidades detalladas del grupo de enlaces

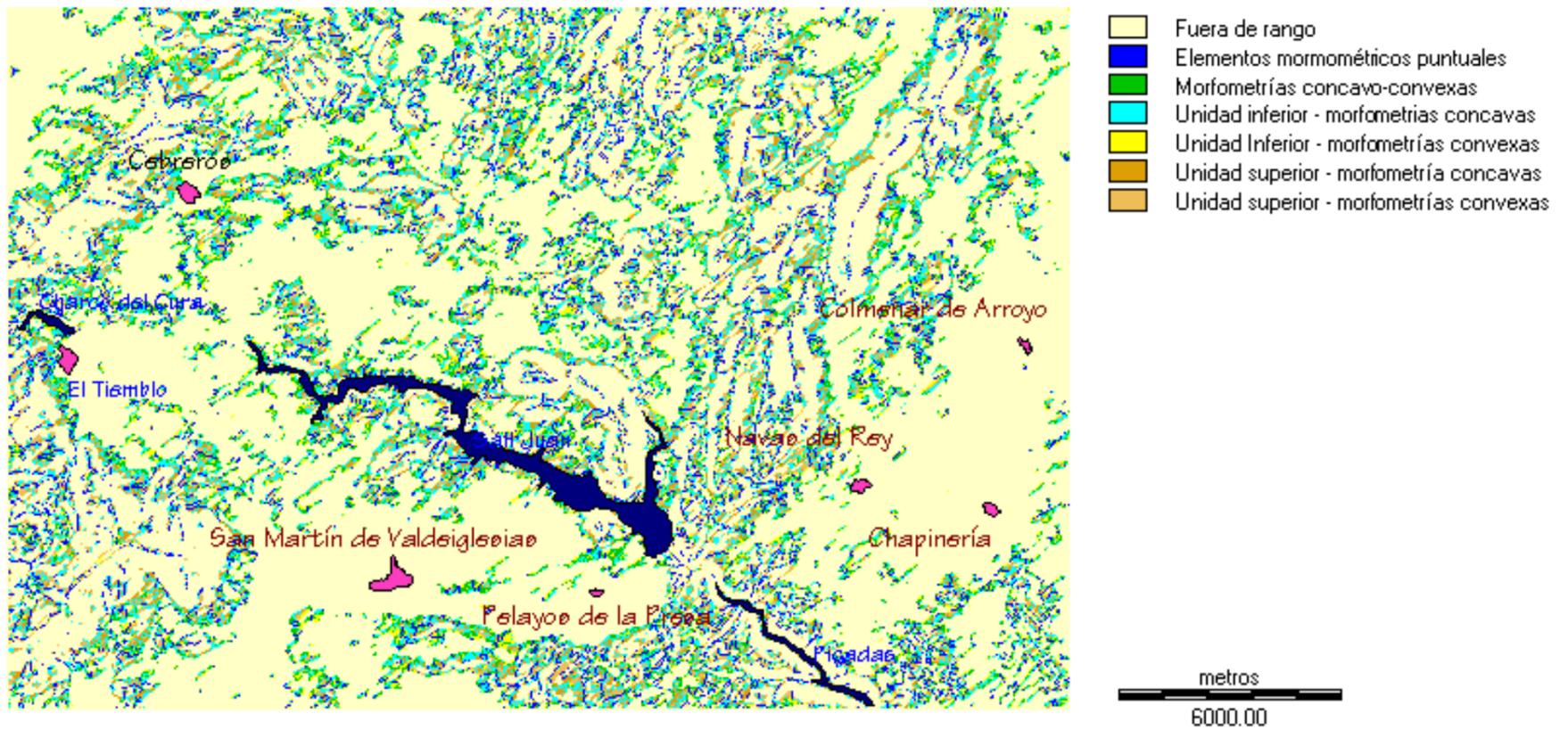
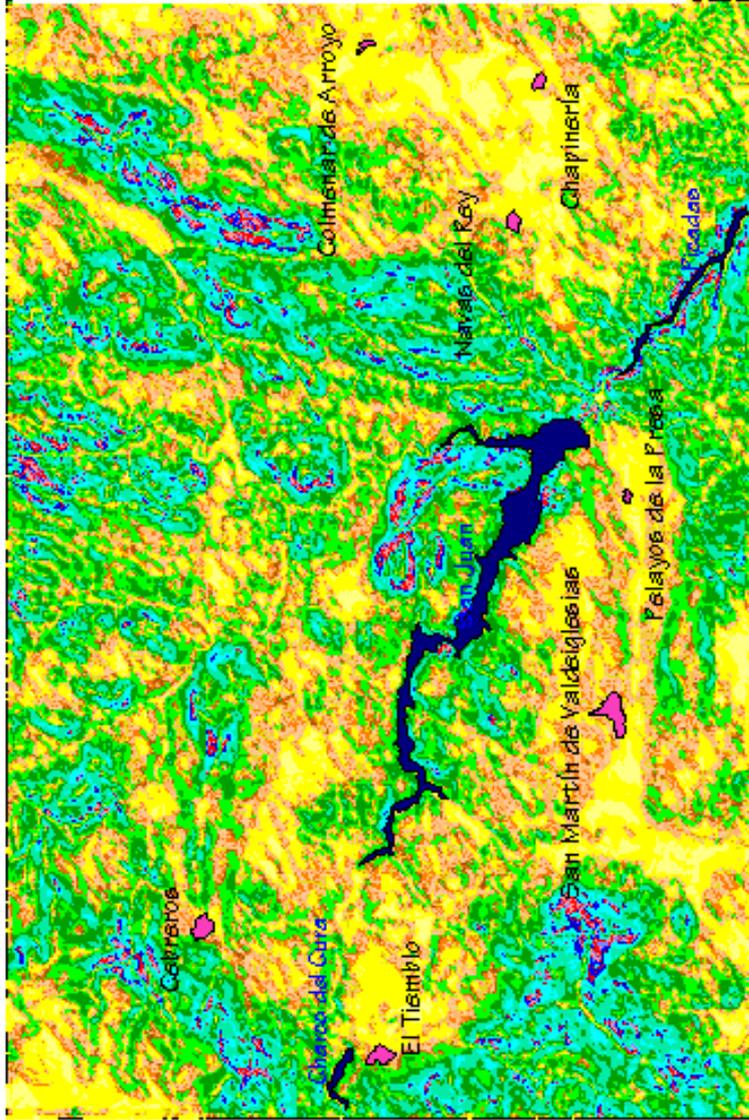


Gráfico II.27 Unidades morfométricas del grupo de enlaces. A) corresponde al primer nivel de abstracción, B) a un nivel de detalle en base al parámetro *mapa morfométrico* (Mapa militar de España E. 1:50.000, hoja 17-22 (557), San Martín de Valdeiglesias).

Mapa de unidades morfométricas



- GI-Planicie ss
- GI-Planicie ligeramente rugosa
- GI-Planicie en elemento puntuales y lineales
- GI-Planicie degradada concavo-convexa
- GI-Planicie degradada biconcava
- GI-Planicie degradada biconvexa
- GI-Planicie muy degradada concavo-convexa
- GI-Planicie muy degradada biconcava
- GI-Planicie muy degradada biconvexa
- GM-Unidad inferior
- GM-Unidad superior
- GS-Homogenea
- GS-Inestabilidad incipiente
- GS-Inestabilidad media
- GS-Inestabilidad alta
- GS-Inestabilidad media con concentración de flujo
- GS-Inestabilidad media con dispersión de flujo
- GS-Inestabilidad alta con concentración de flujo
- GS-Inestabilidad alta con dispersión de flujo
- GS-Muy alta inestabilidad



Gráfico II.28 Mapa de unidades morfométricas resultado de la fusión de los mapas de unidades por grupo (Mapa militar de España E: 1:50.000, hoja 17-22 (557) San Martín de Valdeiglesias).

Tabla II.8 Relación de los parámetros morfométricos y los tres grandes grupos morfométricos establecidos.

	Grupo inferior de pendientes	Grupo medio de pendientes	Grupo superior de pendientes
Pendiente	Separación de grupos y subdivisiones de grupos. Principal parámetro de la clasificación basado en la tabla de pendientes (tabla II.7)		
Gradiente de alturas	Poca utilización salvo para los valores más altos del grupo	Separación del grupo en función de la media de la distribución de valores. Puede servir como un elemento de separación	
Orientación	Asociado con estudios concretos en los que se van a analizar parámetros no morfométricos.		
Curvatura	Parámetro utilizado para calibrar unidades o formas, otorgando cuantificación sobre la concavidad y convexidad		
Rugosidad	Obtención de unidades en función de la homogeneización del terreno. Válido cuando se obtienen grandes zonas dentro de los grupos. Las unidades obtenidas pueden ser precisadas por otros parámetros.		
	Es muy válido para establecer unidades o conjuntos con poco rango de valores en otros parámetros		Muy válido en zonas de pendientes altas para el establecimiento de unidades en función de la homogeneidad de la ladera
Desarrollo del segmento	El parámetro puede ser utilizado para separar unidades que entren en análisis cuantitativos relacionados con dimensiones reales de los píxeles y no su proyección horizontal.		
	Con poca validez en zonas muy llanas	Con validez en zonas con mucha variabilidad. Escaso significado cuando existe mucha homogeneidad de laderas	
Energía de relieve	Puede constituir un parámetro diferenciador de grandes unidades o un parámetro de definición fina en unidades o elementos, sobre todo cuando estudiamos procesos en los que el agente está muy condicionado por la diferencia de energía entre puntos, producto ésta de la diferencia de altura. Puede ser combinado con otros parámetros para dar más precisión, como por ejemplo la rugosidad o curvatura.		
Tendencia del Relieve	Da precisión a los análisis de elementos o unidades, estableciendo la máxima variación de la pendiente en el entorno inmediato de un punto.		
Sentido de la inclinación	Da información sobre las relaciones entre segmentos contiguos. Es un indicador de la morfología de la rugosidad, sirviendo de caracterizador de ésta		
Carácter del segmento	Resalta elementos puntuales y zonas con morfología llana del resto de áreas.		
Articulaciones	Parámetro controlado por el usuario según necesidades del estudio, apto para la búsqueda de cambios y rupturas dentro de las unidades que permitan establecer diferencias entre elementos.		
	Buscar pequeñas variaciones topográficas como escarpes suaves	Permite encontrar líneas de rupturas entre pendientes altas o establecer unidades en función del tipo de cambio de pendiente	
Morfométrico	Establece las relaciones espaciales elementales entre segmentos contiguos, siendo válido para la división de las unidades, otorgando precisión a las formas elementales.		
Tipología del segmento	Es parecido al anterior parámetro, pero está dirigido a la obtención de más precisión en el análisis; la complejidad que se puede alcanzar con este parámetro es muy alta.		

Un editor permite al usuario crear el patrón de búsqueda o leer otro ya establecido; así mismo, se pueden calibrar variables de la búsqueda, como es el porcentaje de aproximación del patrón y el ángulo de rotación de éste. Esto último permite girar el patrón en el entorno del píxel central y así comprobar anisotropías de las formas; esta variación de ángulo quedará reflejada en el mapa resulta. El editor de patrones permite, además, especificar un valor comodín que indicará para esa posición la posibilidad de cualquier valor del rango; este elemento del patrón no será considerado ni en el porcentaje ni en los píxeles que quedarán reflejados en el mapa final como forma.

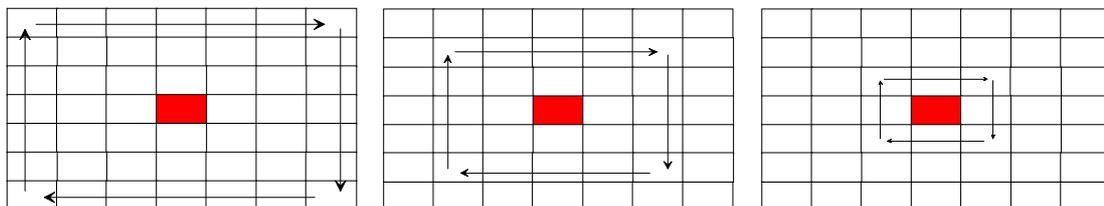
El módulo funciona tomando como base uno de los mapas antes mencionados, sobre el que se pasará el patrón píxel a píxel. La búsqueda puede ser de dos tipos: una en la que cada píxel, independiente de pertenecer a una o varias formas, quedará marcado con el valor **1** si se cumplen las condiciones del patrón y **0** si no las cumple; u otra, en la que además de indicar la pertenencia a una forma, se incrementará el valor si el píxel pertenece a varias agrupaciones diferentes, ese valor indica el número de formas al que pertenece.

La figura II.5 muestra el proceso de giro del patrón, estableciéndose siempre en sentido horario y con la posición de comienzo orientado hacia la borde superior del modelo. La subdivisión en fijo, 90, 180, 270 y 360 grados que permite el programa, se ha establecido así para cubrir las posibles simetrías de los patrones. En el caso de que se cumpla la mínima similitud establecida en el entorno del punto, se marcará el conjunto de píxeles; además quedará indicado la posición de concordancia si se ha seleccionado alguna subdivisión de giro del patrón.

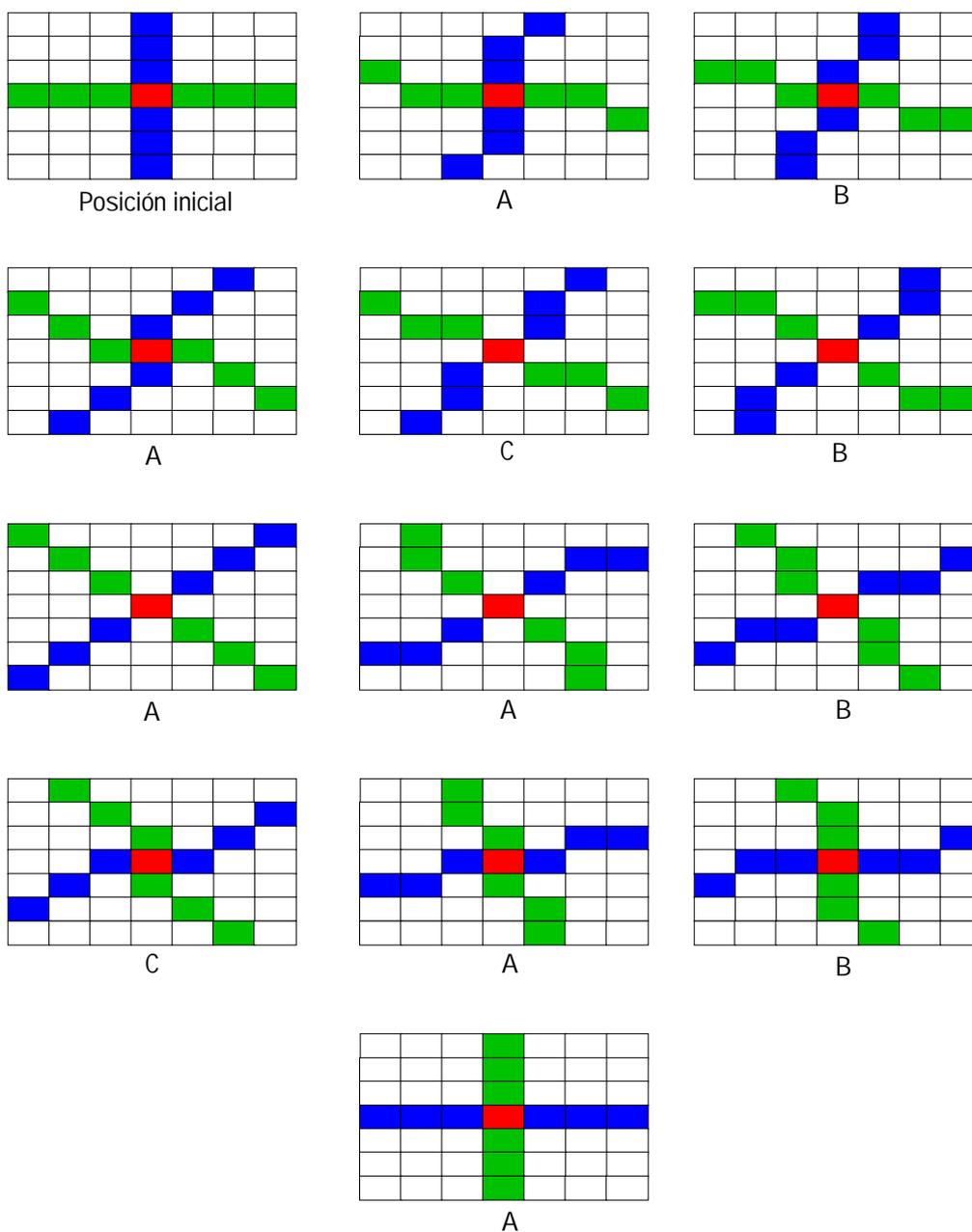
El resultado obtenido informa con cierta precisión de agrupaciones de elementos básicos que conforman una fisonomía típica, y su ajuste a la morfotopografía estará en función de la escala de precisión del patrón y el ajuste que presenta el MDE. Así pues, ciertos procedimientos previos tendrán un reflejo muy importante en el mapa final, que no tiene por qué ajustarse a la realidad de formas que podemos diferenciar en el territorio; sobre todo aquellos en los que el patrón presenta un pequeño número de píxeles a procesar y en el que además se le permite un ajuste muy amplio. Parámetros como curvatura, rugosidad, energía de relieve o gradiente, nos permitirán posteriormente limpiar el número de formas obtenido, ajustando el modelo a las tipologías de relieves característicos de la zona.

Dentro de los patrones con los que se ha comprobado la operatividad del módulo, se deben diferenciar dos tipos: los geométricos y los derivados de relieves reales. Los primeros están contruidos sobre la base de figuras geométricas conocidas

Figura II.5 Mecanismo de giro de los patrones de búsqueda del programa *Pendiente*.



Sistema de rotación de píxeles dentro del patrón, existen tres secuencias de rotación: la situada más a la izquierda y que denominaremos A, la central que denominaremos B, y la interna que denominaremos C. En las figuras inferiores se esquematiza una secuencia de giro de 90°; las posibilidades 180, 270 y 360 son repeticiones de esta secuencia. La comparación **Fija** correspondería a una posición inicial.



(semiesfera, pirámide, etc.) y, aunque son correlacionables con formas del terreno, no se ajustan enteramente a lo representado en la cartografía geomorfológica.

Por el contrario, los modelos derivados del relieve real permiten una mayor concordancia con otras formas, pero el porcentaje de similitud debe rebajarse a valores, que aunque superiores al 50 %, se encuentran entre el 60%, 65% o 70%.

Estas “geometrías del relieve”, se seleccionaron en el terreno a partir de formas con un reflejo orográfico-fisonómico importante, caso de El Yelmo, San Esteban, pico Almenara, Guisando, Horma, Seroles, etc. Muchas formas que posteriormente se detectan a través de otros procedimientos, no tienen un reflejo en este análisis de patrones ya que su fisonomía de detalle es totalmente irregular y por tanto no presentan un patrón geométrico definido; en estos casos esas formas quedarán totalmente ocultas para esta fase de estudio. En los casos tratados, los patrones utilizados se han incluido dentro del CDROM en el directorio general de *patrones*, subdivididos en carpetas según las regiones estudiadas; se ha añadido además un subdirectorío específico para formas derivadas de geometrías.

Para la zona de San Martín de Valdeiglesias se ha seleccionado como fisonomías típicas la de Pico Almenara, Seroles, San Esteban, El Yelmo y cerro Horma. Los criterios de búsqueda de estas topologías de relieves se han establecido entre 60% y 80% de igualdad entre el patrón y el área de búsqueda; el resultado final, una vez montados los resultados parciales de cada uno de los tipos, es el que se muestra en el gráfico II.29 (mapa de fisonomías típicas ligadas a relieves residuales). La gran cantidad de relieves calculados por el programa no son identificados como tales en la realidad, y se debe establecer la manera de limpiar el número de formas que pueden basarse en alguno de los parámetros estimados inicialmente; en este caso se utilizarán solo los parámetros cuantitativos que permitan identificar las variaciones de pendiente, altura, o curvatura que caracteriza a una fisonomía destacable de aquella que simplemente cumple un patrón de forma.

El modo de actuación en este punto del análisis puede tener dos posibilidades: por un lado, obtener máscaras de los diferentes parámetros y comprobar qué píxeles cumplen ambas condiciones **O**; por otro, trabajar solamente con las máscaras de los parámetros diferenciadores. En ambos casos se nos plantea el eterno problema de los límites: ¿qué valores dentro de **O** podríamos considerar como relieves singulares y cuáles no?; la solución no es fácil.

Fisionomías más típicas en función del MDE

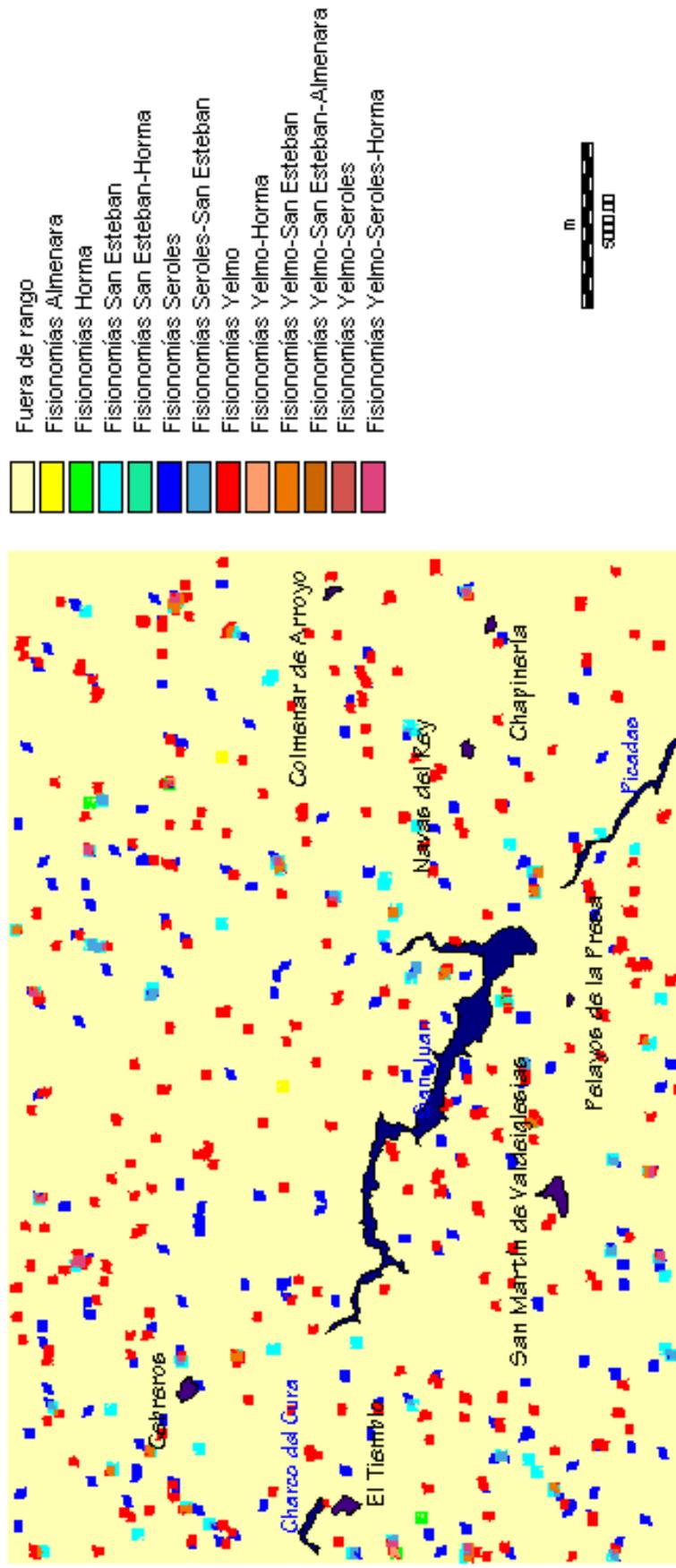


Gráfico II.29 Relación de fisionomías típicas por comparación de patrones de formas (Mapa militar de España E: 1:50.000, hoja 17-22 (557), San Martín de Valdeiglesias).

En el caso que tratamos se ha seleccionado el parámetro curvatura, ya que es el que mejor va a informar del grado y evolución de un relieve referido a un punto del mismo y a los puntos de malla más cercanos. Este parámetro presenta valores positivos y negativos, unos para expresar el valor de la concavidad y otros el de la convexidad; la solución del problema de los límites se ha buscado, como en otros casos, en el histograma (figura II.6); aquí lo que se desea es retirar los rangos más cercanos al valor **0** de curvatura (entorno de píxeles sin curvatura). Por ello, a la media aritmética de la distribución se ha restado la mitad del valor de la desviación típica a ambos lados de media ($-0,0215$); así se eliminan los valores centrales de la distribución, que corresponden a los píxeles con menor curvatura. El seleccionar en este caso la mitad de la desviación típica en vez de su valor total, es debido a que este valor es demasiado restrictivo y deja solo el 18% de los píxeles; el otro procedimiento deja el doble de los valores, es decir el 36%.

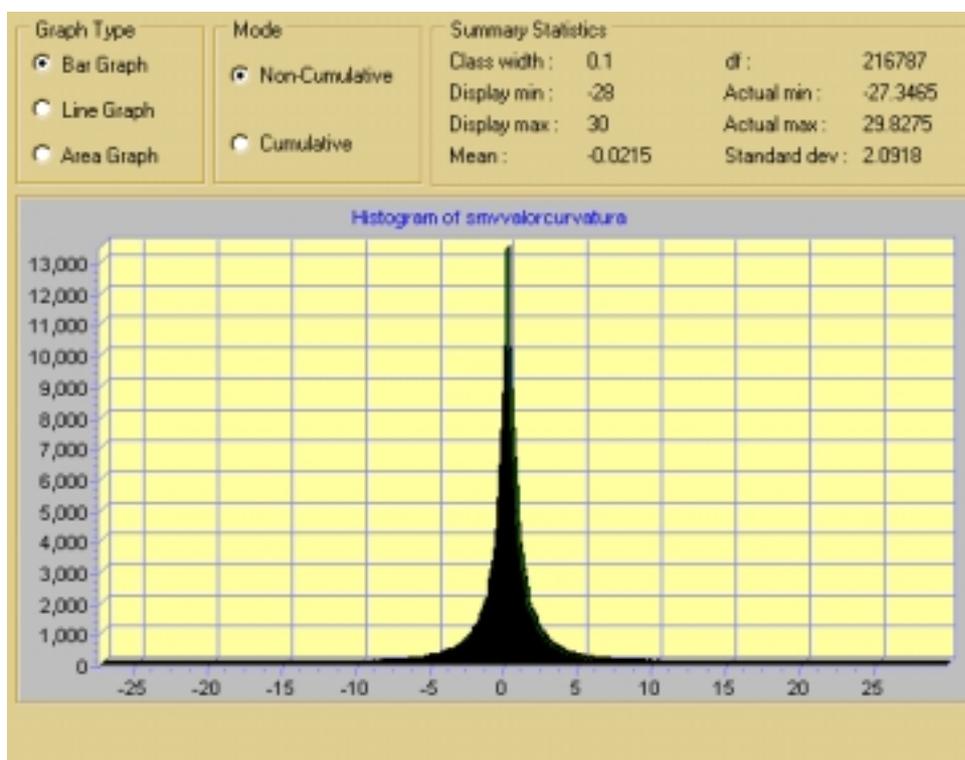


Figura II.6 Distribución de los valores de curvatura de los fisonomías típicas.

Con la mascara obtenida se corta el mapa de relieves anterior, y se obtienen así los píxeles que cumplen la condición de curvatura establecida. Al mapa obtenido se le vuelve a aplicar un patrón (esta vez con una configuración de valores **1** y con la aproximación que deseemos; en el caso que tratamos fue del 60%), con lo que se consigue que píxeles sin vecinos próximos sean desestimados. El resultado de la aplicación del filtro es el que muestra el grafico II.30 (mapa de elementos fisiográfi-

cos singulares—relieves); el patrón además tiene un carácter generalista del entorno de los píxeles que cumplen las condiciones, dejando en resalte los elementos fisiográficos.

El siguiente paso, será hacer resaltar las zonas que presenten mayor concentración de píxeles con características concretas referentes al encauzamiento o dispersión de aguas; dichas zonas son las relacionadas con píxeles bicóncavos y biconvexos. La manera de actuar es semejante a la expuesta para el mapa de relieves, pero aquí no es necesario realizar limpieza de los resultados; estos son los que muestran en el gráfico II.31 (mapa de elementos dispersadores-concentradores de aguas).

El conjunto seleccionado no es el único que puede concentrar o dispersar el agua, pero sí el que mayor número de píxeles contiene con características específicas; todas estas zonas corresponden en la cartografía convencional a cabeceras de arroyos, comienzos del encajamiento de la red fluvial, o divisorias muy marcadas en su entorno.

Un dato importante del entorno, son las áreas que potencialmente podrían presentar encajamientos debidos a la incisión lineal de algún agente erosivo (principalmente ríos y arroyos); estas zonas están caracterizadas por presentar dentro del parámetro del mapa morfométrico los valores de *valle* y *sima*. Para diferenciar todos estos terrenos, se han utilizado unos patrones (nombrados como encaja* y valle*) que además de analizar los valores de valle y sima, establecen fisionomías del entorno (biconcavidad, biconvexidad, cóncavo-convexidad y combinaciones de las tres); el resultado del análisis de los patrones y la posterior unión de todos ellos se ha cruzado con el mapa de pendientes, separando aquellas áreas que presentan una pendiente superior a 15° (valor a partir del cual la incisión lineal es muy destacada, tabla II.7), siendo el resultado el que aparece en el gráfico II.32. (mapa de zonas de mayor probabilidad de incisión lineal).

Se podrían seguir comprobando patrones de formas y posibles terrenos susceptibles de ser modeladas por diversos procesos de erosión, pero para el área tratada estos elementos son los más representativos de la fisionomía del paisaje. Ya solo resta superponer los diferentes mapas calculados, obteniendo así una composición única con todos los elementos; el gráfico II.33 (mapa de elementos derivados del MDE) muestra dicha composición.

La última operación es la de integrar las unidades y elementos del relieve para obtener una única representación del análisis morfométrico, tal como aparece en el gráfico II.34 (mapa de unidades y elementos morfométricos). Este gráfico muestra todo el proceso seguido en la construcción de este Sistema de Información Geográfi-

ca destinado a la obtención de fisonomías tipo de un determinado territorio; en este caso la hoja topográfica 1:50.000 de San Martín de Valdeiglesias. El modelo es aplicable a cualquier territorio, siempre teniendo en cuenta las limitaciones que imponen la escala y la definición de la base de análisis, es decir, el Modelo Digital de Elevación.

Mapa de relieves singulares

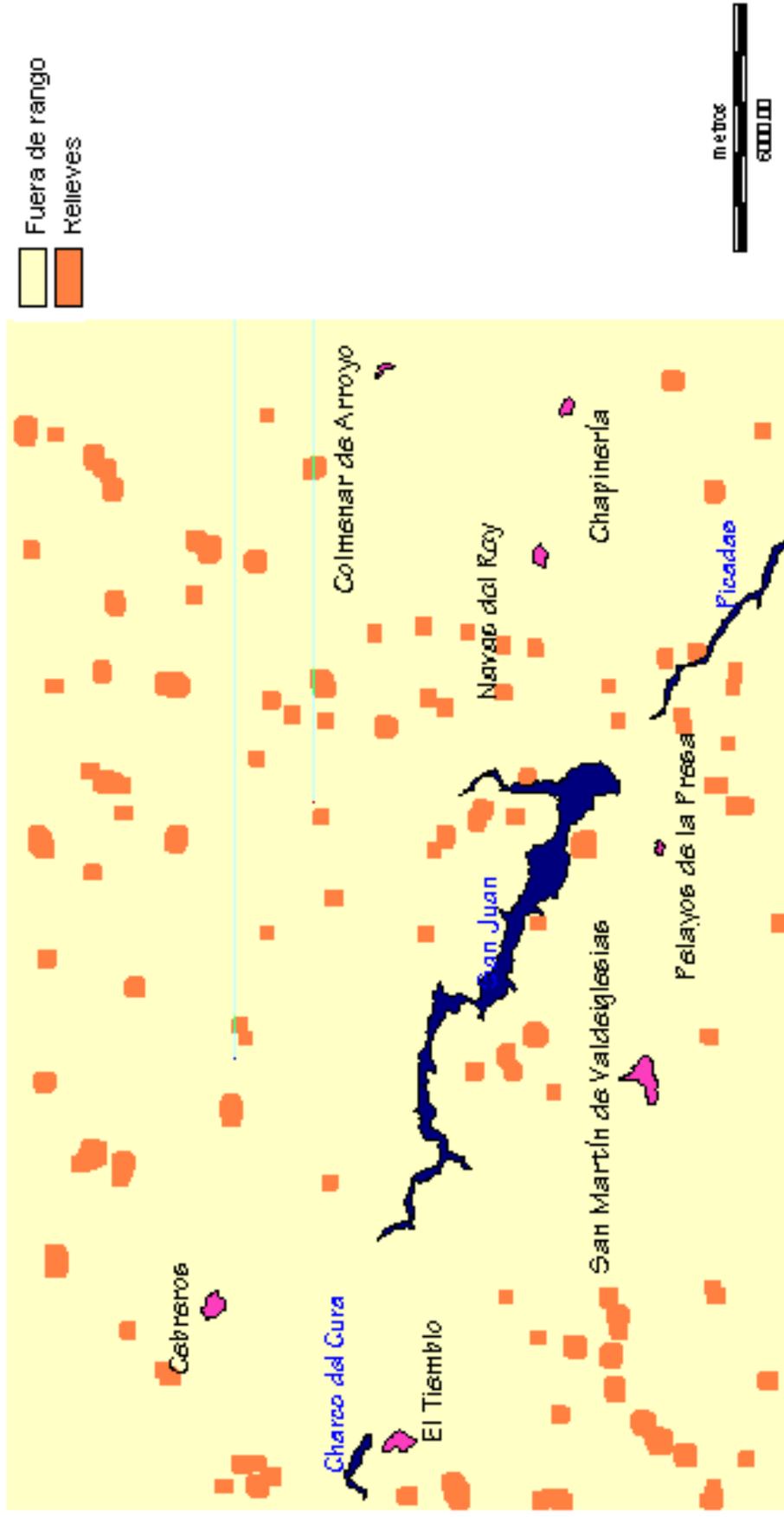


Gráfico II.30 Elementos fisiográficos tipo relieve más representativos obtenidos por el tratamiento del MDE (Mapa militar de España E: 1:50.000, hoja 17-22 (557), San Martín de Valdeiglesias).

Mapa de zonas de bicóncavas y biconvexas

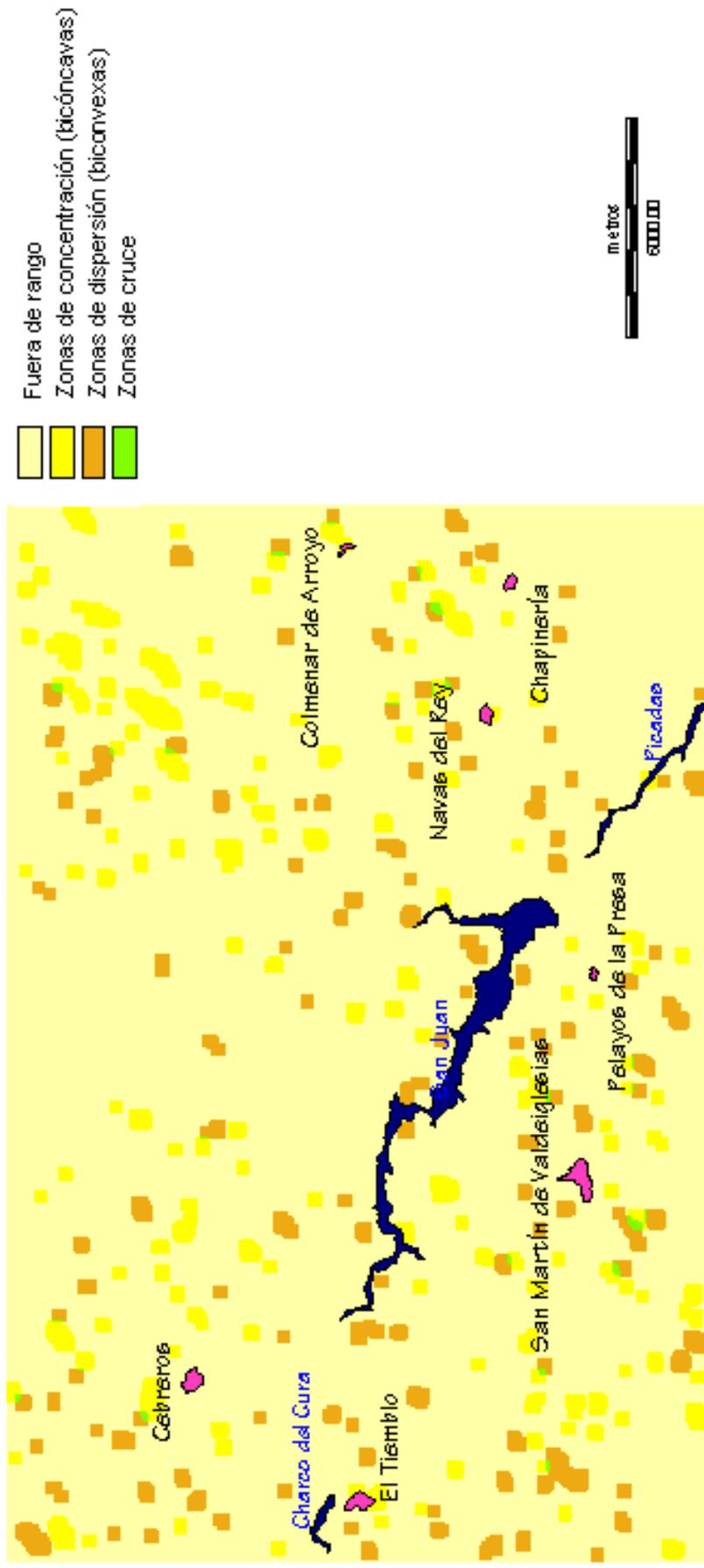


Gráfico II.31 Elementos de concentración y dispersión más destacables del MDE (Mapa militar de España esc. 1:50.000, hoja 17-22 (557) San Martín de Valdeiglesias).

Mapa de mayor probabilidad de incisión lineal

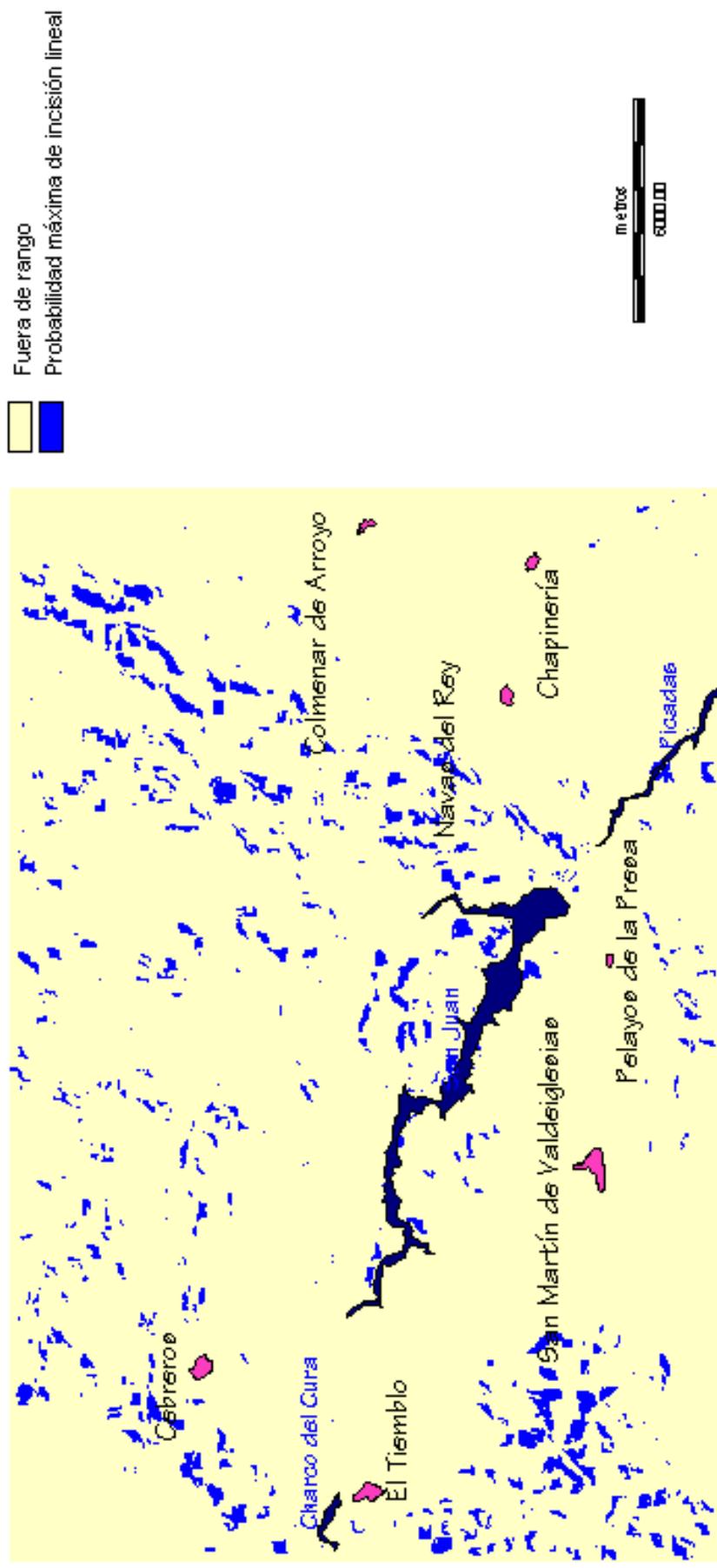


Gráfico II.32 Zonas de mayor probabilidad de incisión lineal importante, extraídas del MDE (Mapa militar de España E: 1:50.000, hoja 17-22 (557), San Martín de Valdeiglesias).

Mapa de elementos derivados del análisis morfométrico

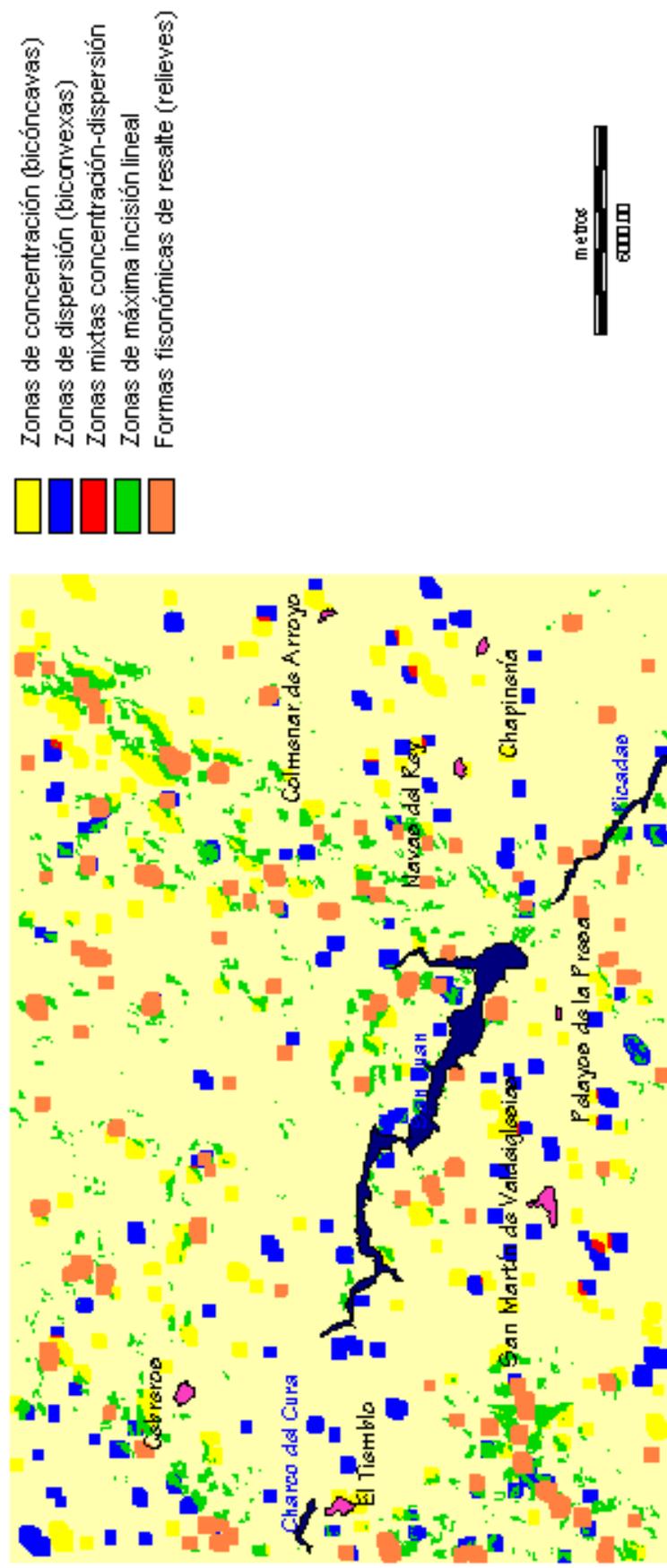
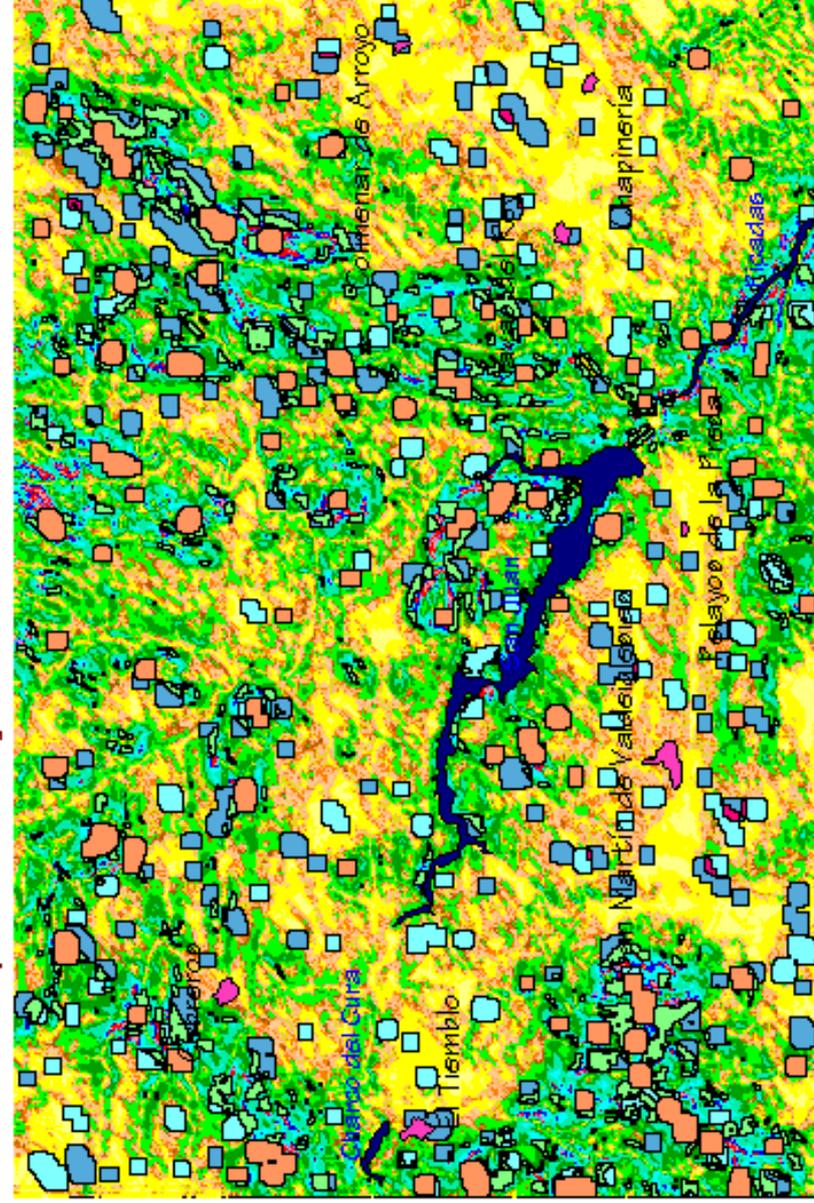


Gráfico II.33 Superposición de los diferentes elementos obtenidos del análisis del MDE (Mapa militar de España E: 1:50.000, hoja 17-22 (557), San Martín de Valdeiglesias)

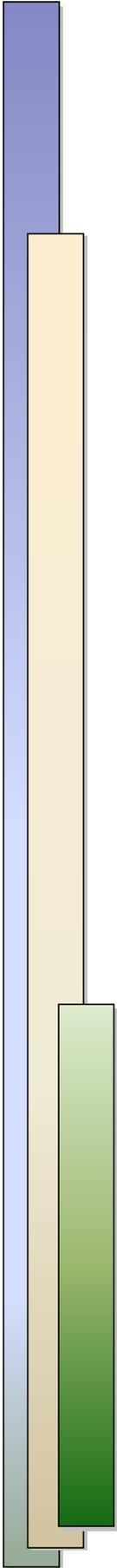
Mapa de unidades y elementos morfométricos



- | | |
|---|---|
|  | G1-Planicie ss |
|  | G1-Planicie ligeramente rugosa |
|  | G1-Planicie en elementos puntuales y lineales |
|  | G1-Planicie degradada cóncavo-convexa |
|  | G1-Planicie degradada bióncava |
|  | G1-Planicie degradada biconvexa |
|  | G1-Planicie muy degradada cóncavo-convexa |
|  | G1-Planicie muy degradada biconcava |
|  | G1-Planicie muy degradada biconvexa |
|  | G1M-Unidad inferior |
|  | G1M-Unidad superior |
|  | G3-Homogénea |
|  | G3-Inestabilidad incipiente |
|  | G3-Inestabilidad media |
|  | G3-Inestabilidad alta |
|  | G3-Inestabilidad media con concentración de flujo |
-
- | | |
|---|---|
|  | Zonas de concentración (biconcavas) |
|  | Zonas de dispersión (biconvexas) |
|  | Zonas mixtas concentración-dispersión |
|  | Zonas de máxima incisión lineal |
|  | Formas fisionómicas de resalte (relieves) |



Gráfico II.34 Mapa final de unidades y elementos morfométricos. (Mapa militar de España E: 1:50.000, hoja 17-22 (557), San Martín de Valdeiglesias)



III.– Validación del procedimiento. Análisis morfológico en las zona de San Martín de Valdeiglesias y la Pedriza del Real de Manzanares y su entorno

III.1 Introducción

Como ya se señalará en los objetivos, el fundamento de este apartado es medir el grado de adecuación del procedimiento de análisis morfométrico propuesto en esta Tesis (ver capítulo I).

En los sectores elegidos del Sistema Central, nuestro objetivo es “chequear” los relieves residuales, las superficies de erosión y las laderas. Los mapas obtenidos en cada una de las etapas se muestran en el anexo I (cartografía).

El método seguido para esta validación es el de análisis comparado entre el mapa geomorfológico “tradicional” y el obtenido mediante el procedimiento de análisis morfográfico digital. El trabajo consiste en ponderar en cada caso la fiabilidad de los resultados que presenta cada una de esas cartografía a la hora de cualificar y catalogar las formas del relieve. Para facilitar más las operaciones se ha utilizado una cartografía de superficies exentas de formaciones superficiales que, una vez modificada según los criterios morfométricos, es superpuesta al modelo.

Para proceder a esa operación antes señalada; es preciso tener en cuenta los siguientes puntos:

- Las unidades representadas en la cartografía morfométrica deben tener entidad areal mínima para ser consideradas. En el caso de la escala de trabajo 1 : 50.000 hemos estimado válida una tesela de 2x2 píxeles (10.000 m²) en elementos puntuales y una tesela de 5x5 en elementos areales (62500 m²); para la escala 1 : 25.000 la tesela será de 3x3 píxeles (5625 m²) en elementos puntuales y de 7x7 en elementos areales (30625 m²).
- Que la determinación morfográfica no sea contradictoria con los datos existentes tanto en la cartografía geomorfológica, como en la cartografía catastral.
- Que la determinación morfográfica sea significativa, es decir, que modifique sustancialmente al elemento o elementos a los que afecta.

Las zonas elegidas para los análisis son la de San Martín de Valdeiglesias y su entorno (la cual ya se ha venido utilizado en el desarrollo del procedimiento) y La Pedriza de Manzanares y su entorno. En cada una de ellas se describen sus morfología en base a los trabajos previos y cuando es necesario se aportarán nuevos datos. El objetivo es detectar los problemas geomorfológicos planteados en esas zonas y a los cuales el análisis morfográfico puede aportar alguna luz. Una vez se han concretado los rasgos del relieve y su problemática morfográfica se pasará a aplicar el procedimiento de análisis morfométrico y decidir la viabilidad del mismo en base a los resultados obtenidos.

III.2.- Contexto General

III.2.1.- Fisiografía

Los terrenos a analizar están situados en el sector medio del Sistema Central español. Una de las zonas, la de mayor extensión, forma parte de los relieves de transición entre las sierras de Gredos y Guadarrama; corresponde a la depresión de San Martín de Valdeiglesias-El Tiemblo-Cebreros, que denominaremos a partir de aquí *Depresión de San Martín de Valdeiglesias*. La segunda está centrada en uno de los contrafuertes de la Sierra del Francés, alineación montañosa situada en el sector central de la Sierra de Guadarrama; este conjunto lo referiremos de aquí en adelante como *La Pedriza de Manzanares* y abarcará tanto este conjunto orográfico como el mega-relieve del Cerro de San Pedro y los terrenos situados entre ambos (figura III.1).

Los relieves de transición entre las sierras de Gredos y Guadarrama presentan un fisonomía peculiar, caracterizada principalmente por la inflexión que se produce en la estructura morfográfica general; la Sierra de Guadarrama, de dirección predominante SO-NE, da paso hacia el O a la Sierra de Gredos de dirección fundamental E-O. En la franja de unión hay rasgos morfológicos de los dos conjuntos serranos, lo que permite un estudio evolutivo muy completo para este sector medio del Sistema Central.

Si analizamos en conjunto y a grandes rasgos las sierras de Guadarra y Gredos, podemos observar la imbricación entre las direcciones de las sierras principales, así como la existencia de una serie de planicies elevadas, depresiones tectónicas y alineaciones de sierras secundarias (figura III.2).

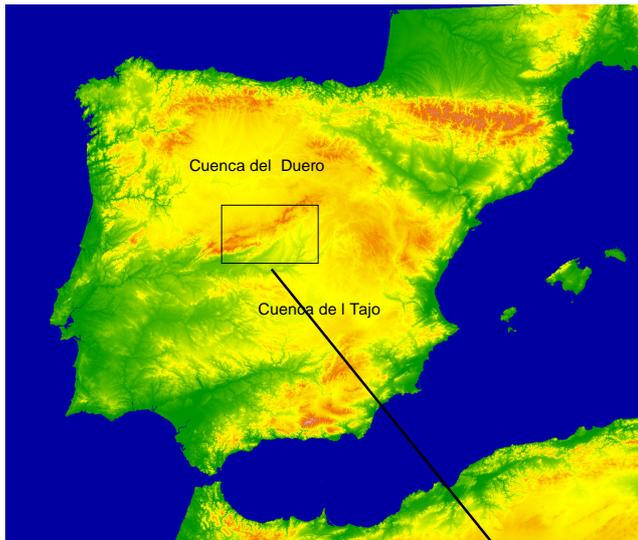
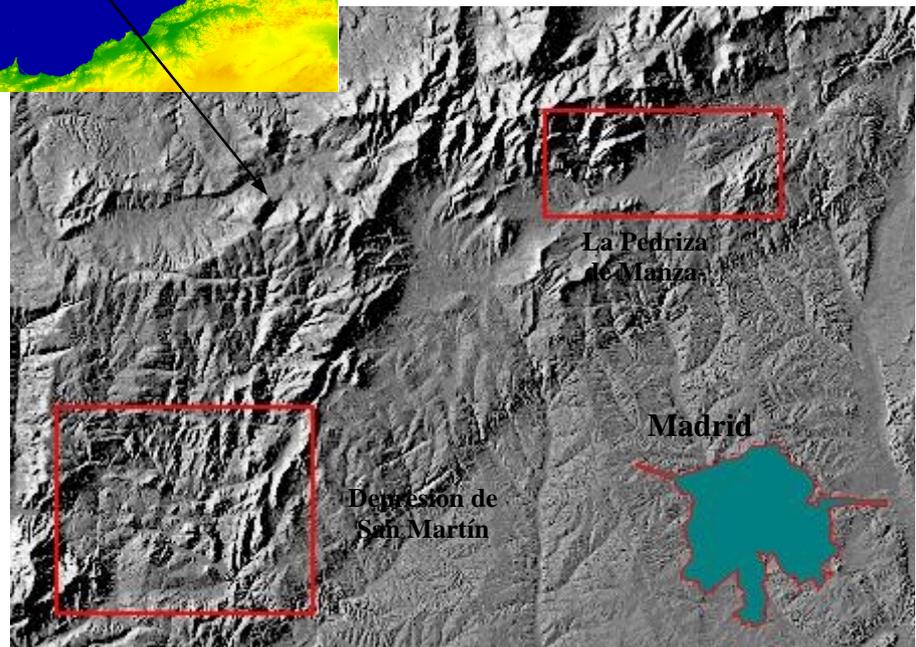


Figura III.1 Situación de las áreas de estudio dentro del contexto peninsular.



Los replanos más elevados se sitúan en las cumbres de las alineaciones montañosas, sobre las que destacan una serie de relieves, en general con suave declive, que marcan las cotas orográficas principales. Este nivel superior queda restringido en anchura a las divisorias, si bien en algunos casos presenta mayor extensión; así ocurre cuando se unen dos o más alineaciones. Su fisonomía es suavemente ondulada y se encuentra reelaborada por la acción de la dinámica periglaciaria. La cota topográfica es en torno a los 1800-2100 metros de altitud y dentro de las elevaciones principales destacan: Pico del Lobo (2.274 m) en la Sierra de Ayllón; La nevera (2.105 m), Reventón (2.079 m), Peñalara (2.428 m), Cabeza de Hierro (2.380 m), Pico Najarra (2.209 m), Oso (2.196 m), Bola del Mundo (2.268 m) y Siete Picos (2.138 m) para la Sierra de Guadarrama. En la Sierra de Gredos tenemos Escusa (1.959 m), Lanhamala (1.996 m), Cabeza (2.183 m), Zapatero (2.160 m), La Serrota (2.294 m), Toroza (2.026 m), Moros (2.065 m), La Mira (2.065 m), Almanzor (2.592 m), Calvi-tero (2.401 m), Peludillo (2.254 m) y Corocha (2.399 m).

Formando un primer escalón en las laderas de las alineaciones principales, aparecen una serie de planicies sobre las que destacan algunos relieves cuyas cotas culminantes son similares a las de la planicie superior ya mencionada; se trata de las planicies de parameras y ejemplos de ellas son: La Paramera de Ávila entre 1.200-1.550 m, altiplanicie de Navalperal de Pinares-Navas del Marqués en torno a 1.200-1.400 m, etc.

Dando pie a las alineaciones orográficas están las rampas, la norte y sur, situadas en la vertiente septentrional y meridional respectivamente. Estos relieves presentan cotas variadas y en algunos casos se encuentran dislocadas en dos escalones. En el conjunto montañoso de Guadarrama-Somosierra-Ayllón la cota de la rampa en la vertiente septentrional oscila entre los 1300 y los 1000 m, mientras que en la vertiente meridional se encuentra entre los 1000 y los 650 m. En la Sierra de Gredos la rampa septentrional se localiza entre 1200 y los 800 m y la meridional oscila entre los 850 y los 400 m.

En el dominio de las áreas montañosas hay una serie de depresiones de origen tectónico, que son equivalentes a las rampas. Del conjunto de ellas caben destacar: las del Valle del Lozoya, Moralarzal-Manzanares el Real-Guadalix, El Atazar-Lozoyuela-Buitrago del Lozoya, en la Sierra de Guadarrama-Somosierra-Ayllón; y en el área de Gredos, El Herradón-Barraco-Burgohondo-Navaluenga-Puente de Burguillo, Alto Alberche, Valle del Amblés, Puerto de Tornavacas-Barco de Avila- Puerto de Villatoro. Entre ambas alineaciones montañosas, sierras de Gredos y Guadarrama, hay que mencionar las depresiones de Campo Azálvaro y la de San Martín de Valdeiglesias-El Tiemblo-Cebreros, objeto de nuestro estudio.

Centrándonos en los terrenos a analizar, digamos que en ningún caso aparece incluido el nivel de cumbres; si aparecen las otras unidades o elementos físico-orográficos mencionados, es decir: parameras, rampas y depresiones, con sus correspondientes laderas de enlace.

En la *Depresión de San Martín de Valdeiglesias* las parameras tienen representación en el ángulo NO y margen O del área de estudio, e incluyen relieves suaves como son Merina (1318 m) y Guisando (1303 m). Esta unidad presenta un gran desarrollo hacia el N, donde se extiende ampliamente en la altiplanicie de Navalperal de Pinares-Navas del Marqués; hacia el O se ve restringida a la divisoria de aguas de la Sierra del Valle, que es la terminación más oriental de Gredos.

En la rampa de este sector pueden diferenciarse los dos niveles ya mencionados. Al norte de la *Depresión de San Martín de Valdeiglesias* el escalón superior se encuentra muy disectado por la red fluvial, quedando restringido a pequeños reta-

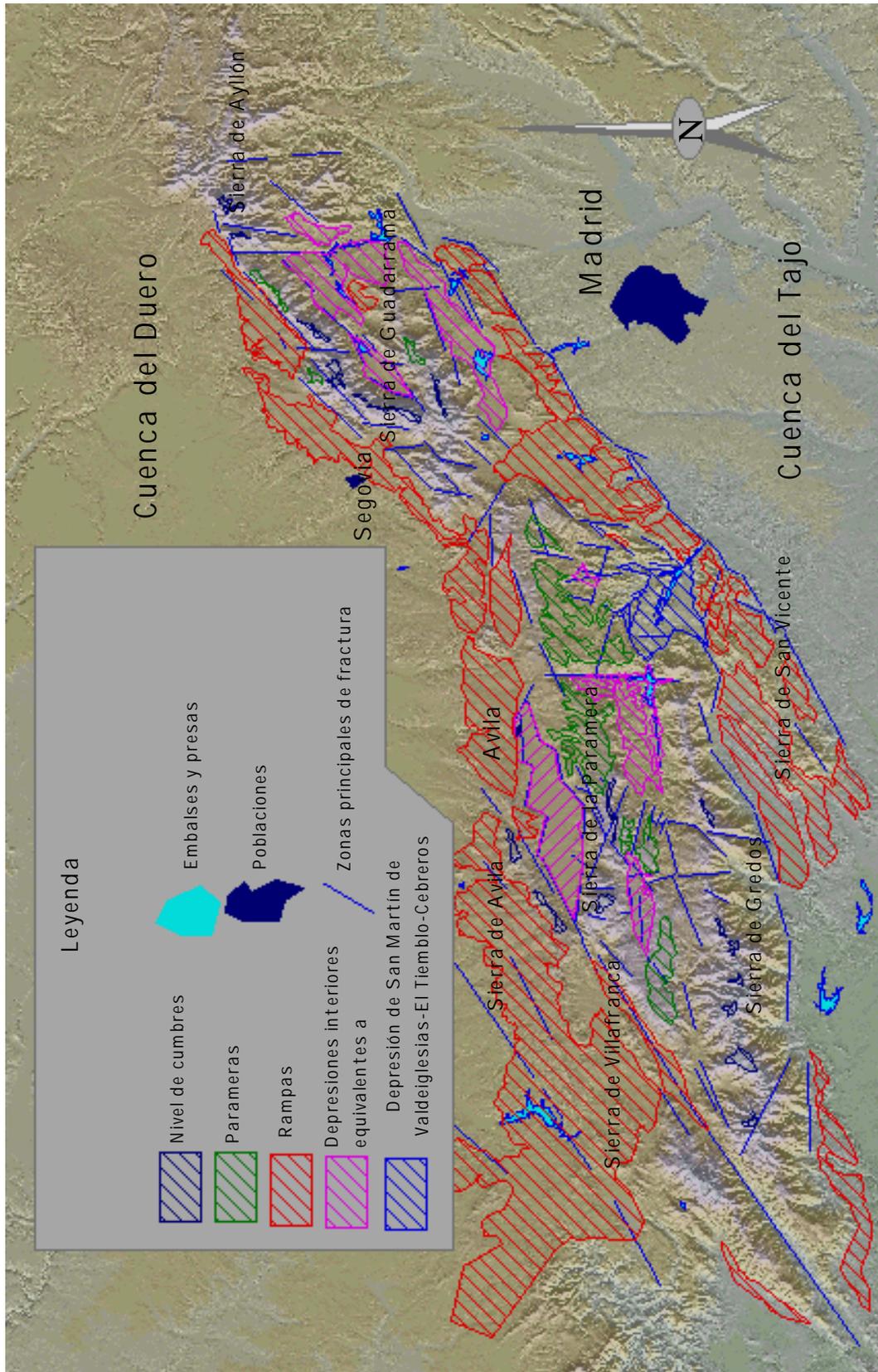


Figura III.2 Esquema morfo-fisiográfico del conjunto de sierras de Gredos y Guadarrama, Sistema Central español

zos; hacia el borde E, este escalón superior presenta un mayor desarrollo y se extiende al norte de Colmenar del Arroyo en dos retazos bien representados. Al sur, hacia la fosa del Tajo, destacan la rampa de Cadalso de los Vidrios, que en su mayoría queda fuera del ámbito de este trabajo; la depresión de San Martín de Valdeiglesias-El Tiemblo-Cebreros equivale al nivel de rampa inferior, al igual que la rampa meridional en la zona de Colmenar de Arroyo-Chapinería-Navas del Rey.

Los dos escalones formados por las rampas están jalonados por una serie de cerros de diversas magnitud y cuya fisonomía es la característica de los relieves graníticos. Ejemplo de ellos son: Cerro Mesas (1.027 m), Cabeza Reguera (875 m), El Higuero (841 m), Montazo (1069 m), Horma (1.106 m), Almojón (1.166 m), Almenara (1.262 m), Cabeza la Huerta (1.126 m.), Parada Cuerda (961 m), Conjunto de las Cabrerías (Cabrera Alta - 1.041 m), Seroles (1.018 m) y Castillejos (893 m), todas ellas en la rampa superior; y Navalrey (782 m), Hinojosa (773 m), Navalunga (831 m), Trasierra (882 m), San Esteban (793 m) y Guijo (771 m) (figura III.3), que comprenden a la rampa inferior.

En la *Depresión de San Martín de Valdeiglesias*, estas tres grandes unidades presentan unas cotas medias de: 1150 m la superficie superior equivalente a las parameras, unos 860 m el escalón superior de la rampa y en torno a los 720 m el escalón inferior.

En la *Pedriza de Manzanares* la planicie de paramera queda restringida a pequeñas hombreras, zonas superiores de los contrafuertes y algunas áreas de cruces entre alineaciones; como ejemplos podríamos citar las Torres en La Pedriza o en la Sierra de la Morcuera, entre Mondalindo y el puerto de Canencia. Sin embargo, los piedemontes tienen un amplio desarrollo en la rampa de Colmenar Viejo y en la depresión de Moralzarzal-Manzanares el Real-Guadalix, parte de la cual es incluida en este trabajo; concretamente la que queda limitada entre el macizo granítico de La Pedriza del Real de Manzanares y la Alineación de la Sierra del Hoyo-Cerro de San Pedro (Figura III.4).

En las laderas que conforman la vertiente meridional de este sector central de la Sierra de Guadarrama, destaca el macizo de la Pedriza. Por su fisonomías y espectacularidad, es considerado el "paisaje granítico por excelencia"; en él aparecen todo tipo de formas (crestas, domos, canchos, etc.) en conjuntos rocosos como: El Yelmo, El Pájaro, La Pared de Santillana, Cancho Losillo, El Cancho de los Muertos, etc.

En suma, las áreas elegidas para validar nuestro procedimiento corresponden a dos sectores del Sistema Central, y están caracterizadas por presentar un

buen desarrollo de las laderas y las planicies de piedemonte; la planicie intermedia de paramera queda limitada a abundantes pero exiguos retazos, y no aparece la planicie de cumbres. La depresión de San Martín es el típico relieve difuso de transición y con notable control estructural; la Pedriza de Manzanares es, sobre todo, un relieve granítico.

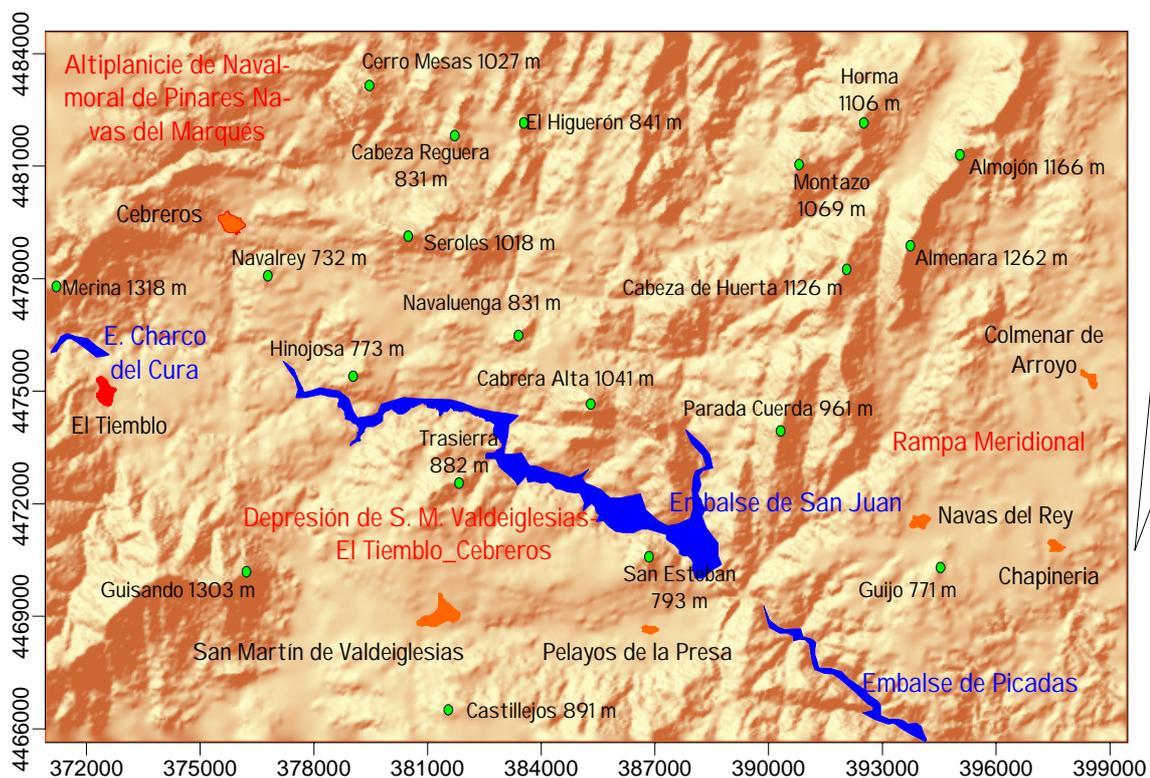


Figura III.3 Elementos orográficos del sector de enlace entre las sierras de Gredos y Guadarrama.

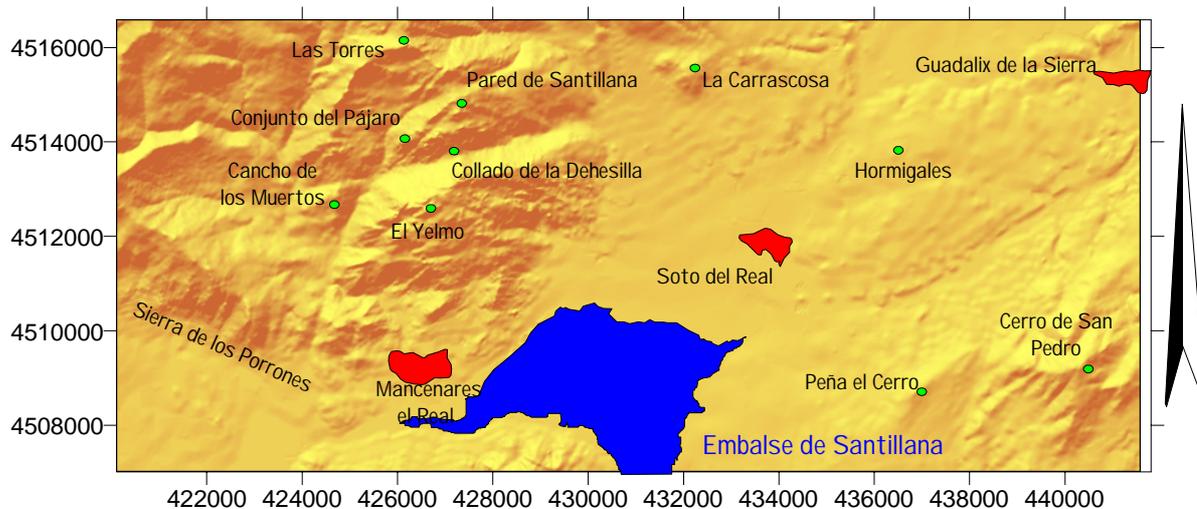
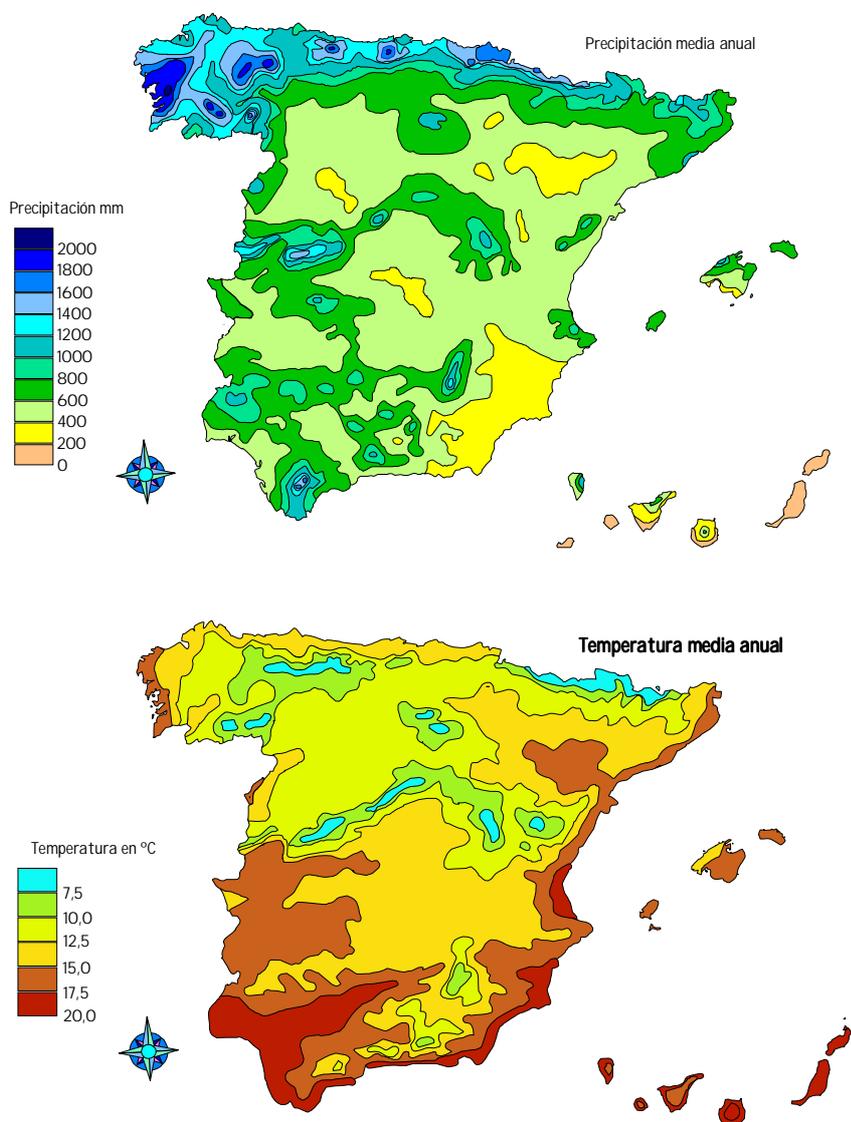


Figura III.4 Elementos orográficos de la Pedriza de El Real de Manzanares y su entorno.

III.2.2.- Climatología

El clima en el centro de la Península se caracteriza por un marcado contraste entre las zonas montañosas del Sistema Central y las cuencas del Tajo y Duero; esto queda de manifiesto tanto por el régimen termométrico como pluviométrico. Dicho contraste, se ve acentuado por la disposición de las alineaciones montañosas respecto a la entrada general de los frentes atlánticos (figura III.5).



Distribución de precipitaciones y temperaturas para España (datos del INM - MOPU).

Figura III.5: Distribución de precipitaciones y temperaturas en España, según datos del Instituto Nacional de Meteorología (INM). Atlas de Climatología (IGN 1992).

La distribución de las precipitaciones es muy similar en ambas cuencas, con valores comprendidos entre los 400 y 600 mm de media general, si bien hay dos áreas centrales donde el rango oscila entre los 200 y 400 mm. En cuanto a las temperaturas, el contraste entre ambas submesetas es más neto; mientras en la cuenca del Duero la temperatura media anual se encuentra entre los 10 y 12,5 °C, en la cuenca del Tajo la temperatura media oscila entre los 12,5 y 15 °C. Esta diferencia tiene una notable repercusión en el tipo de clima correspondiente.

Debido a su mayor altitud respecto a las cuencas y su actuación como barreras naturales ante la entrada de frentes atlánticos, las alineaciones montañosas que conforman el Sistema Central presentan unas condiciones menos cálidas que las cuencas. En las zonas menos elevadas y los piedemontes, las precipitaciones oscilan entre los 600 y 800 mm; hacia las cumbres se produce un incremento progresivo y llegan a tener valores máximos localizados en la Sierra de Gata-La Estrella (>1200 mm), Sierra de Gredos (>1400 mm), Sierra de Guadarrama (>1000 mm) y Somosierra (>800 mm); en estos puntos las temperaturas presentan mínimos que oscilan entre los intervalos de 7,5 y 10 °C para las zonas de media ladera y piedemontes, y de menos de 7,5 °C para las zonas de cumbres.

Esta distribución de las precipitaciones y temperaturas se mantiene a lo largo del año, quedando más o menos acentuada en función de las variaciones estacionales.

Centrándonos en la zona de estudio, hemos seleccionado una serie de estaciones termo-pluviométricas para establecer sus características climáticas y determinar la relación que pueda existir entre los procesos geomorfológicos y las condiciones climáticas de la zona. La selección se ha basado en la disponibilidad de una serie temporal lo más extensa y continua posible; si bien los datos obtenidos del Instituto Nacional de Meteorología, dejan bastantes lagunas tanto en continuidad como en cantidad. La distribución de las estaciones y su posición geográfica se muestran en la figura III.6 y en la tabla III.1.

Para cada una de las estaciones seleccionadas se ha realizado una ficha hídrica completa, con la valoración de la evapotranspiración según el método de Thornthwaite, con una capacidad de campo de 10 cm de agua. Así mismo, se ha realizado para cada una de las estaciones la clasificación climática según el método de Thornthwaite y el de dominios de Köppen, que serán explicados más adelante.

Figura III.6 Disposición de las estaciones termo-pluviométricas elegidas.

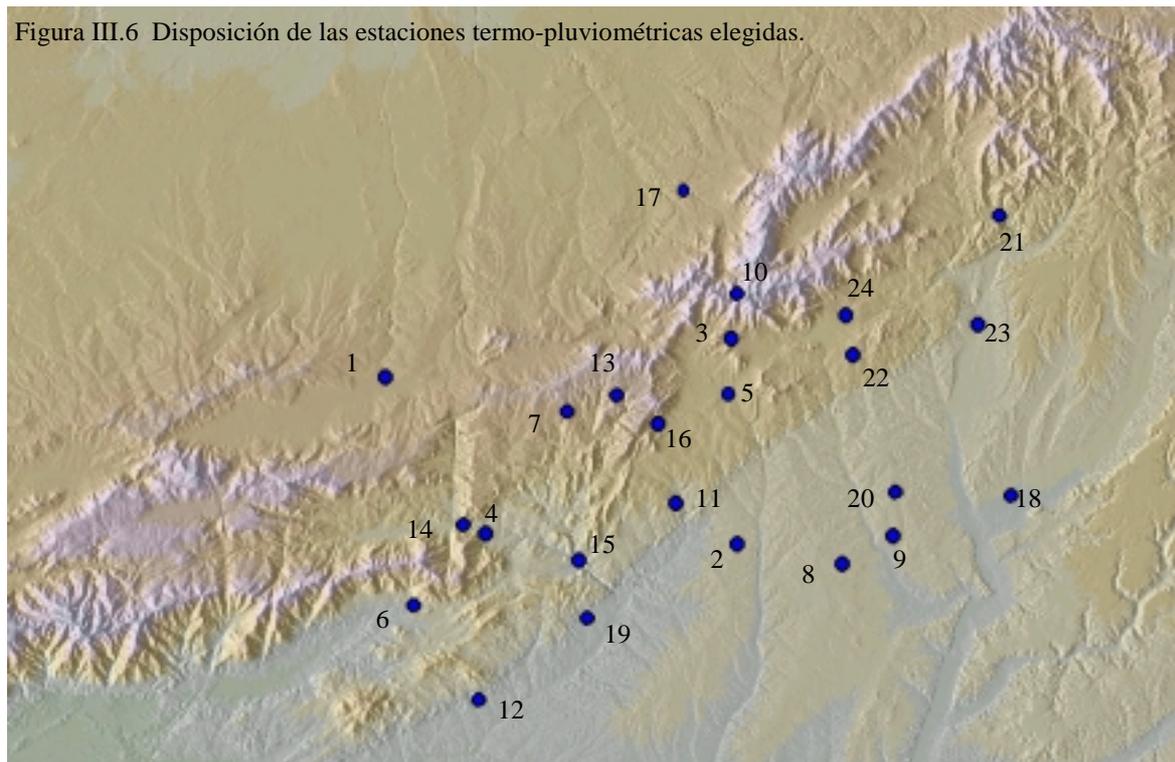


Tabla III.1 Nombre y localización de las estaciones termo-pluviométricas seleccionadas.

Nº	Estación	Latitud	Longitud	Altura	Periodo de años
1 - y	AVILA	40° 39' 20" N	4° 41' 52" O	1130 m	1961-1990
2 - Q	BRUNETE 'LA PELLEJERA'	40° 23' 20" N	3° 57' 17" O	580 m	1924 - 1989
3 - x	COLLADO-VILLALBA	40° 38' N	3° 59' O	917 m.	1970-1989
4 - Y	EL TIEMBLO 'CENTRAL PUENTE NUEVO'	40° 24' 40" N	4° 26' 27" O	580 m	1933 - 1998
5 - U	EMBALSE DE NAVACERRADA	40° 42' 55" N	4° 0' 12" O	1140 m	1971 - 1998
6 - t	LA ADRADA	40° 18' N	4° 38' O	1000 m.	1970-1989
7 - s	LAS NAVAS DEL MARQUES 'FABRICA DE RESINAS'	40° 35' 20" N	4° 22' 7" O	1220 m	1971 - 1998
8 - É	MADRID CUATRO VIENTOS B.A.	40° 22' N	3° 47' O	687 m	1961-1990
9 - Ò	MADRID RETIRO	40° 24' N	3° 40' O	667 m	1961-1990
10 - V	NAVACERRADA 'PUERTO'	40° 46' 50" N	4° 0' 37" O	1890 m	1946 - 1998
11 - w	NAVALAGAMELLA	40° 23' N	4° 09' O	590 m	1970-1989
12 - H	NOMBELA	40° 09' N	4° 30' O	603 m	1970-1989
13 - u	PEGUERINOS	40° 38' N	4° 14' O	1351 m	1970-1989
14 - Z	PRESA DE BURGUILLO	40° 25' 35" N	4° 31' 57" O	750 m	1942 - 1998
15 - l	PRESA DE SAN JUAN	40° 22' 20" N	4° 18' 42" O	540 m	1931 - 1998
16 - W	SAN LORENZO ESCORIAL 'MONAST.'	40° 35' 20" N	4° 8' 52" O	1028 m	1946 - 1998
17 - Ü	SEGOVIA	40° 57' N	4° 07' O	1005 m	1961-1990
18 - Í	TORREJON DE ARDOZ B.A.	40° 29' N	3° 27' O	611 m	1961-1990
19 - X	VILLA DEL PRADO 'PICADAS'	40° 19' 45" N	4° 14' 57" O	523 m	1953 - 1998
20 - Á	CHARMARTIN	40° 28' N.	3° 41' O.	667 m.	1978-1988.
21 - À	PRESA DEL ATAIZAR	40° 54' N.	03° 27' O.	960 m.	1970-1990
22 - È	COLMENAR VIEJO	40° 39' N.	03° 4' W.	1004 m.	1979-1989
23 - J	TALAMANCA	40° 44' N.	03° 10' E.	654 m.	1970-1989
24 - L	SOTO DEL REAL	40° 45' N.	03° 7' O.	940 m.	1979-1989

III.2.2.1.- La distribución de precipitación y las temperaturas

Si realizamos un gráfico (grafico III.1) ordenadas/abcisas (temperaturas medias/precipitación) con los valores anuales correspondientes a las estaciones analizadas, observamos que éstas se agrupan en tres poblaciones. En general y como cabría esperar, hay una notoria asociación con su situación geográfica, así: un primer grupo de estaciones corresponde a los localizadas en la cuenca del río Tajo, abarcando desde el centro de la misma hasta el piedemonte serrano (inclusive); el segundo grupo corresponde a las estaciones localizadas en la cuenca del Duero y excepcionalmente la de Brunete (nº 2) que pertenece a la cuenca del Tajo; el tercer grupo es el de las estaciones localizadas en la “sierra” a una altura superior a los 1000 metros.

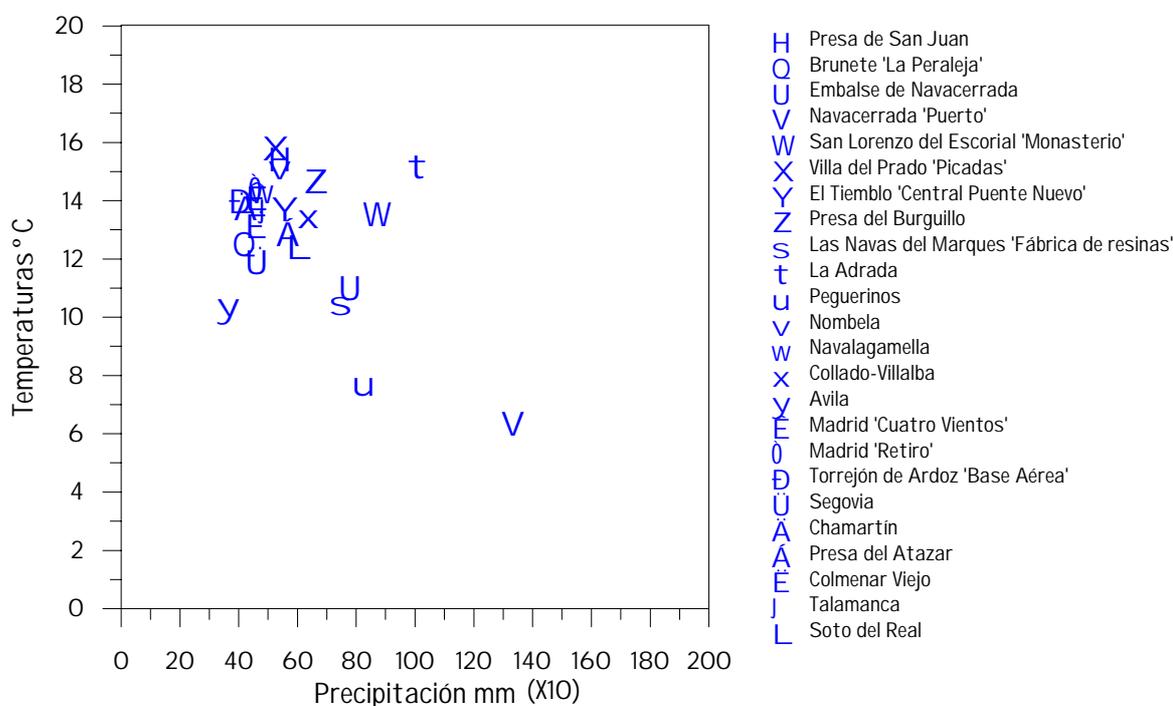


Gráfico III.1 Distribución de las estaciones termo-pluviométrica según temperatura media anual y precipitación anual (datos obtenidos como medias de las secuencias temporales de datos aportados por el INM).

En el grupo primero (estaciones pertenecientes a la Cuenca del Tajo) la precipitación media oscila entre los 450 y los 667 mm, con temperaturas entre los 13,4 y 15,7 °C. Si analizamos más en detalle el gráfico, podremos observar que estas estaciones se distribuyen según tres subgrupos, así: unas presentan condiciones de mayor aridez (La Presa de San Juan, Villa del Prado-Picadas y Nombela) por estar situadas en el borde meridional del macizo cristalino y estar a la “sombra” de los frentes atlánticos; otra serie de ellas (Navalagamella, Madrid Retiro, Madrid Cuatro Vientos, Chamartín, Colmenar Viejo, Talamanca del Jarama y Torrejón de Ardoz)

están más alejadas de la barrera orográfica que constituyen las sierras del sector medio del Sistema Central y por ello alejadas de las áreas de precipitación debida a la retención de los frentes; el resto (El Tiemblo, Presa del Burguillo, Soto del Real, Presa del Atazar y Collado-Villalba) están situadas en cuencas interiores del macizo y sometidas a unas condiciones más húmedas y templadas.

El siguiente grupo de estaciones (las de la cuenca del Duero y Brunete) se diferencian del anterior en los intervalos de temperaturas; éstos oscilan entre los 12,4 y 10,4 °C, algo más frías que las del grupo anterior. Las precipitaciones son similares y varían entre los 364 y 461 mm. En el caso de Segovia y Ávila es notorio el descenso térmico respecto a las restantes; esto se explica por su exposición a los frentes provenientes del N y NO, acentuado por su altimetría, superior a los 1000 m y su proximidad a los frentes montañosos. En el caso de Brunete las condiciones pueden ser debidas a su situación en una zona intermedia en la cuenca y su proximidad al río Guadarrama.

El tercer grupo de estaciones están sometidas a unas condiciones climáticas más extremas, debidas fundamentalmente al comportamiento de los frentes al chocar con las barrera orográfica que constituye el Sistema Central. Las estaciones son La Adrada, San Lorenzo de El Escorial "Monasterio", Embalse de Navacerrada, Las Navas del Marqués y Peguerinos; en ellas la precipitación oscila entre los 748 y 1007 mm y las temperaturas entre los 15,1 y 7,6 °C.

La estación de Navacerrada "Puerto" forma parte de lo que podría ser un cuarto grupo; si bien sólo se dispone en el Sistema Central de este observatorio de altura. Marca las condiciones representativas de las zonas de cumbres, su temperatura media es de 6,3 °C y la precipitación de 1332 mm anuales.

La evolución climática anual es muy similar en toda la región analizada, si bien las diferencias indicadas anteriormente son perceptibles en los patrones de funcionamiento (ver fichas hídricas y gráficos – Anexo III) de los distintos grupos. En general se puede observar que todas las estaciones presentan un máximo de precipitación, más o menos marcado, durante los meses correspondientes a la estación de invierno; además no suele coincidir con el mínimo de temperaturas, el cual se encuentra por lo general ligeramente desplazado hacia el comienzo de la estación primaveral.

El estiaje se produce en el centro del periodo estival, por lo general en el mes de Julio, coincidiendo con las temperaturas más cálidas. Es también en este periodo cuando se hace más patente la falta de agua en el suelo, ya que la evapotranspiración es muy alta; solo las estaciones de Navacerrada "Puerto", Embalse de Navacerrada,

San Lorenzo del Escorial Monasterio, Las Navas del Marqués, Peguerinos y Segovia, presentan reservas suficientes para hacer frente al periodo estival.

Este tipo de evolución puede verse más clara en los gráficos de *termohietas* (Anexo III), donde se representa para cada estación un año teórico calculado con las medias mensuales de un periodo de años. En cada uno de los gráficos A, B y C se incluyen los tres grupos de estaciones descritos anteriormente y en ellos se pueden apreciar claramente las diferencias anuales; entre el primero y segundo grupo, la diferencia se da en el rango de temperaturas; el gráfico A presenta una variación térmica más amplia que el B, que se hace patente en la estilización o el achatamiento de las curvas. Lo que diferencia claramente al gráfico C de los anteriores no es su variación térmica, sino su variación pluviométrica; más homogénea a lo largo del año que en los dos casos anteriores.

Nuevamente hay que separar la estación del Puerto de Navacerrada, gráfico D; comparada con las estaciones de Navalagamella (primer grupo definido) y Peguerinos (segundo grupo), se puede apreciar cómo en la primera la precipitación es mucho mayor y más homogénea a lo largo del año y cómo el rango de temperaturas es más estrecho y frío que en las otras dos estaciones.

En los gráficos E y F se representan el resto de las estaciones; en el primero se comparan los tres subgrupos del primer grupo establecido y en el segundo las estaciones del grupo A más cercanas al resto de los grupos y la estación de La Adrada. El gráfico G y F agrupa las estaciones de Colmenar Viejo, Soto del Real, Talamanca, Chamartín y Presa del Atazar; la separación de estas estaciones se ha realizado por presentar un periodo de datos bastante inferior a las anteriores, aunque el comportamiento anual es muy similar a las del primer grupo.

En resumen, el conjunto de estaciones tiene un patrón similar a lo que se ha definido como clima mediterráneo, con tendencia a la continentalidad, salvo la estación de Navacerrada Puerto que presenta un patrón típico de climas más fríos (mediterráneo de montaña) .

III.2.2.2.- *La clasificación climática*

Aunque existen numerosos métodos para clasificar los climas en el mundo, los más utilizados son los de Köppen (1923) y Thornthwaite (1931-1948).

La clasificación de Köppen se basa en los valores anuales de temperatura y precipitación, calculados a partir de las medias anuales a lo largo de un periodo de años. Consta de una primera letra que designa los grandes grupos climáticos, una segunda letra que divide cada uno de ellos en subgrupos y, una tercera y cuarta (esta última escasamente utilizada) que otorga características especiales de temperatura y precipitación.

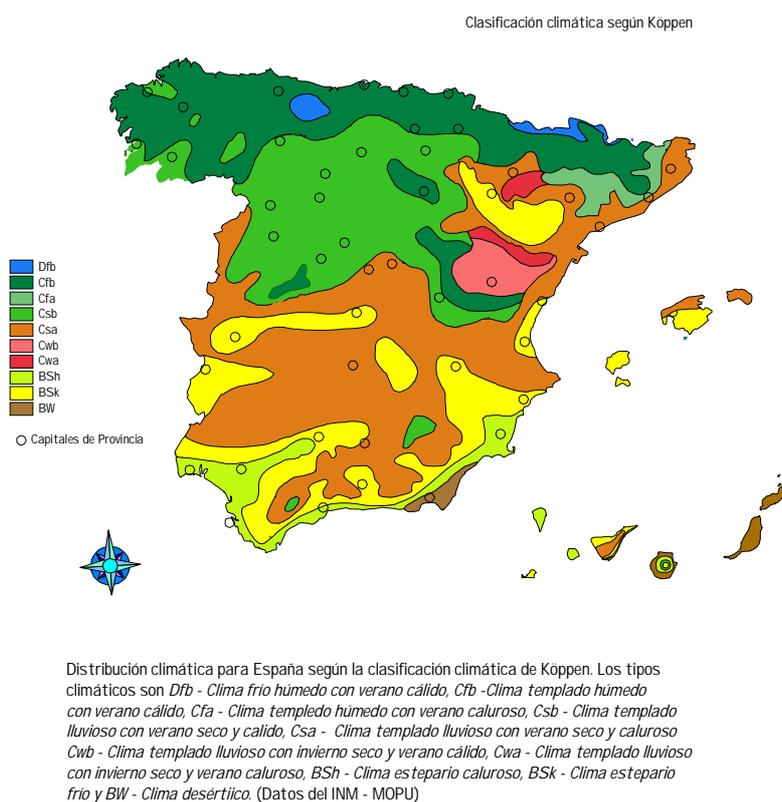


Figura III.7 Clasificación Climática de Köppen según el Atlas Nacional de España (IGN, 1992)

(Anexo III) y las diferentes clasificaciones, podemos decir que las subdivisiones presentadas en el mapa de IGN son válidas, pero en detalle revelan algunas anomalías: para la depresión de San Martín de Valdeiglesias-El Tiemblo-Cebreros el clima de tipo *Csa* penetra más en el macizo de lo expresado por el IGN y la estación de Ávila y Soto del Real presentan un tipo de clima más húmedo (*Cfb- Clima frío húmedo con verano cálido*); la estación de Soto del Real debe sus características climáticas a su situación respecto al macizo montañoso. En las clasificaciones realizadas por nosotros aparece una cuarta letra, la *c'*, e indica que durante más de cuatro meses se supera la temperatura de 10°C.

Como ya se indicó, también se ha clasificado el clima según el método de Thornthwaite. Este consiste en la intersección de dos clasificaciones lineales independientes; una se basa en el régimen térmico y utiliza como parámetro la evapo-

La figura III.7 muestra una subdivisión de España según la clasificación climática de Köppen; en la zona central peninsular puede comprobarse el contraste entre dos sectores: la Meseta N y el Sistema Central de un lado, y la Meseta S, por otro. El primer sector posee un *clima templado lluvioso con verano seco y cálido (Csb)*, mientras el otro sector es de *clima templado lluvioso con veranos secos y caluroso (Csa)*.

Si analizamos los datos suministrados por Servicio Nacional de Meteorología, con los cuales hemos desarrollado las fichas hídricas

transpiración potencial, la otra en el hidrológico y utiliza el índice hídrico, calculado para todas las estaciones. Las dos primeras letras de la clasificación marcan el régimen hidrológico, mientras las segundas (marcadas con apóstrofes) el régimen térmico. Cada una de las separaciones principales, señaladas con las letras mayúsculas, son denominadas por Thornthwaite *provincias climáticas*, las letras minúsculas establecen las características peculiares de cada estación.

Con el método de Thornthwaite y en la zona que nos ocupa, la mayoría de las estaciones presentan un tipo CsB'a' y cuya descripción es: un *Clima mesotérmico con una concentración de calor anual en el periodo estival menor del 48% y subhúmedo con verano seco*. Precisemos que hay cinco estaciones cuyo clima es diferente al anterior: Ávila, Colmenar Viejo, Chamartín, Peguerinos y el Puerto de Navacerrada; a las tres primeras les corresponde un clima CwB'a' (*Clima mesotérmico con una concentración de calor anual en el periodo estival menor del 48% y subhúmedo con invierno seco*); a la de Peguerinos el BsC'b' (*Clima microtérmico con una concentración de calor anual en el periodo estival entre el 48% y el 68% y húmedo con verano seco*) y a la de Navacerrada el AsC'b' (*Clima microtérmico con una concentración de calor anual en el periodo estival entre el 48% y el 68% y perhúmedo con verano seco*).

Como se puede comprobar, ambas clasificaciones otorgan unos tipos climáticos parecidos para las estaciones consideradas, por lo que podemos trabajar a partir de un clima medio general. No obstante, algunas estaciones se separan de esa media debido, fundamentalmente, a su localización en puntos orográficos singulares que favorecen condiciones especiales.

III.2.2.3.- Valoración morfoclimática

Una vez analizadas las características climáticas de la zona de estudio y su entorno, podemos abordar las implicaciones de los agentes atmosféricos en el modelado. Para aproximar unos datos acerca de esas implicaciones, seguiremos el método de los Dominios Climáticos y los CPS, Wilson (1968) y Peltier (1950). Debemos aclarar que los Dominios Climáticos hacen referencia a los procesos morfológicos en unas condiciones climáticas y no al tipo de clima; es decir, las estaciones que quedan dentro de determinados *dominios* no tienen por qué presentar una clasificación climática similar a la indicada en la gráfica, su localización en éstas indica que son muy probables los procesos morfológicos típicos del *dominio climático* en el cual se encuentra clasificada.

Según la clasificación de Dominios Climáticos de Wilson (*op. cit.*), la mayoría del territorio presenta condiciones *semi-áridas*; la excepción corresponde al Puerto de Navacerrada. Estas condiciones persisten a lo largo de todo el año y así se aprecia en los gráficos de termohietas (Anexo III). Todas las estaciones analizadas tienen un régimen anual muy similar, con escasa variación de precipitación a lo largo del año y una amplia variación térmica que se apunta hacia valores altos en el periodo estival (gráfico III.2).

Esas condiciones antes apuntadas son las idóneas para impedir el desarrollo de una cobertera vegetal adecuada y, en consecuencia, que la erosión pluvial sea intensa; este hecho queda reflejado en los CPS como un máximo para todas las estaciones. En cuanto a los restantes procesos que contempla el método de Wilson (*op. cit.*) podemos decir que: la meteorización química y la física presentan valores intermedios y dependen más de la orografía, el tipo litológico, etc; la acción eólica, aunque aparece como moderada, se acerca más a valores mínimos ya que la región no se encuentra sometida a condiciones atmosféricas que faciliten la actuación, de forma importante, de este agente.

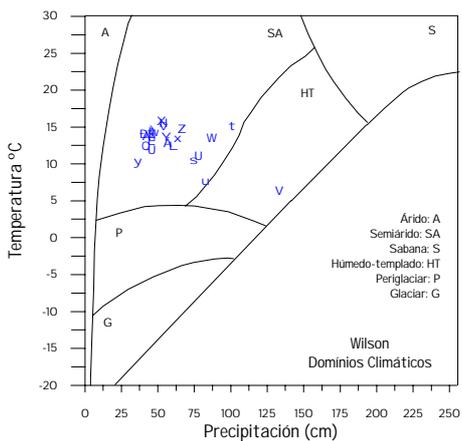
En el sistema desarrollado por Peltier (*op. cit.*) hay una mayor subdivisión de Dominios Climáticos, que complicarán posteriormente el resto de las clasificaciones. Como en casos anteriores, la mayoría de las estaciones quedan en el dominio *Semi-árido*; el grupo más cercano al límite del dominio *Templado-húmedo* de Wilson (*op. cit.*) pertenece en las gráficas de Peltier (*op. cit.*) al dominio *Sabana*, cuyas características son las de una mayor humedad y una clara división entre un periodo seco y otro húmedo. Las estaciones situadas en las cuencas y en las partes inferiores de las rampas (pedemontes) coinciden en las dos clasificaciones, las situadas en las laderas y planicies superiores (parameras) son las que presentan marcadas diferencias.

Gráfico III.2 Relaciones de las medias climáticas con la intensidad de los procesos morfogénicos según Wilson (1968) y Peltier (1950). Los gráficos A, B, C y D pertenecen al modelo de Wilson, siendo: A - Dominios climáticos; B, C, D - C.P.S. Los gráficos E, F, G, H pertenecen a Peltier, siendo: E - los dominios climáticos y F, G, H - corresponden a los C.P.S.

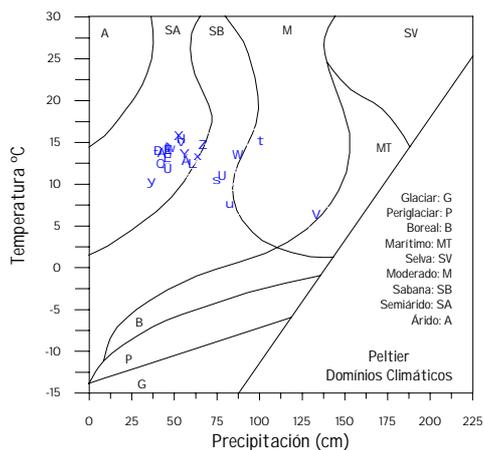
H	Presa de San Juan
O	Brunete 'La Pellejera'
U	Embalse de Navacerrada
V	Navacerrada 'Puerto'
W	San Lorenzo del Escorial 'Monasterio'
X	Villa del Prado 'Picadas'
Y	El Tiemblo 'Central Puente Nuevo'
Z	Presa del Burguillo
S	Las Navas del Marques 'Fábrica de resinas'
t	La Adrada
u	Peguerinos
v	Nombela
w	Navalagamella
x	Collado-Villalba
y	Avila
E	Madrid 'Cuatro Vientos'
0	Madrid 'Retiro'
Đ	Torrejón de Ardoz 'Base Aérea'
U	Soria
U	Salamanca 'Base Aérea MATACAN'
U	Segovia
A	Charmartin
A	Presa del Atazar
E	Colmenar Viejo
J	Talamanca
L	Soto del Real

III.-Validación del procedimiento de análisis morfográfico

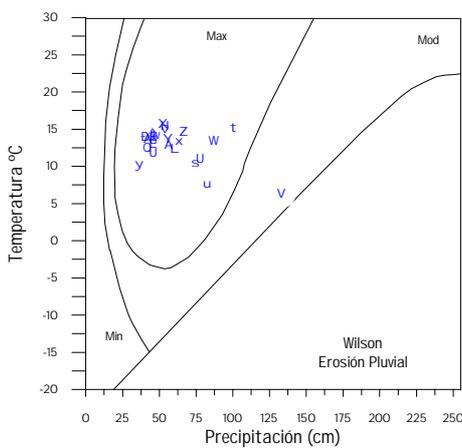
A



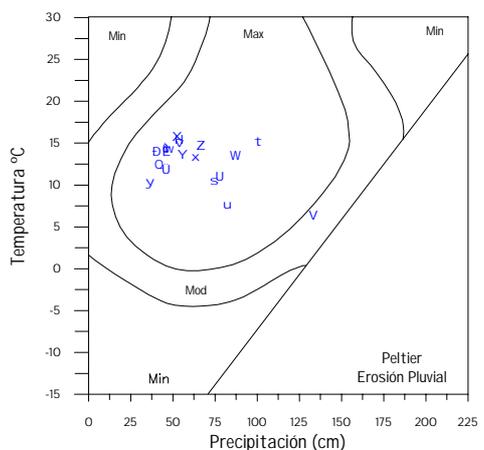
E



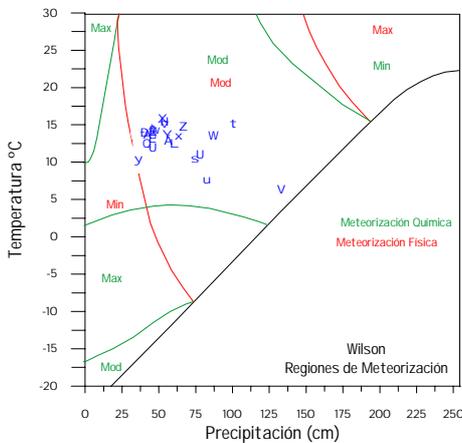
B



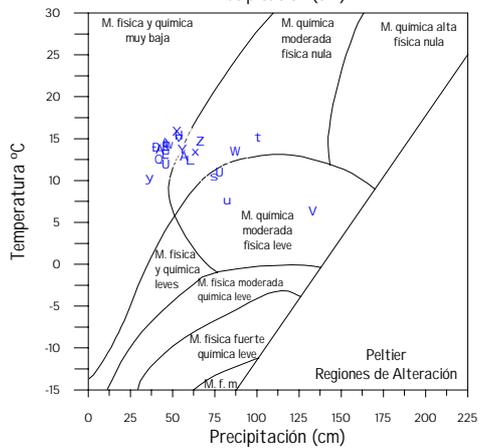
F



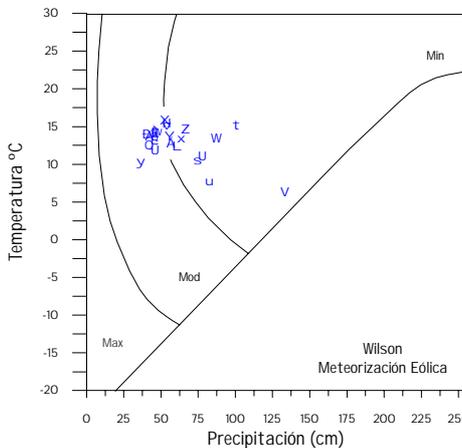
C



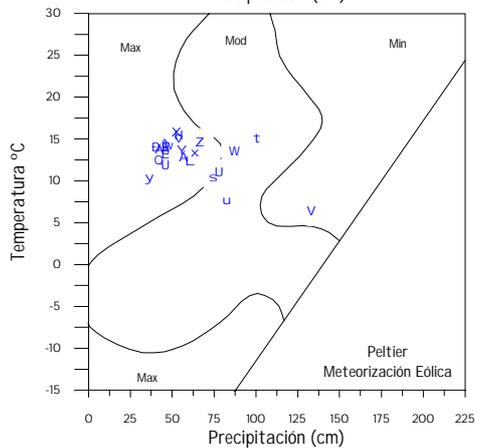
G



D



H



Como en la clasificación de Wilson (*op. cit.*) y salvo Navacerrada-Puerto, también en la de Peltier (*op. cit.*) todas las estaciones presentan un máximo en la erosión pluvial. Esto es de gran importancia, ya que muchos de los procesos erosivos se producen por la concentración de lluvias, sobre todo tormentas, que descargan gran cantidad de precipitación en un periodo corto de tiempo; la escasa vegetación que existe en las rampas y laderas meridionales de las sierras del Sistema Central, favorecen los procesos de arrastre y escorrentía.

III.2.3.- Hidrografía

Las zonas de estudio pertenecen a la cuenca hidrográfica del río Tajo y concretamente se localizan en las subcuencas de los ríos Alberche y el Manzanares.

El *río Alberche* tiene su nacimiento en una pequeña depresión (San Martín de la Vega de Alberche-Navadijos-Cepeda de Mora) al pie de la Sierra de Villafranca; sale de esta depresión a través de una garganta de dirección general N-S que cambia bruscamente a la altura de San Martín del Pimpollar, donde se alinea según el macizo principal de Gredos, E-O, para entrar en la depresión de Burgohondo-Navaluenga-Presa del Burguillo (figura III.8).

El tramo medio comienza tras el fuerte encajamiento de la Garganta de El Burguillo, que introduce al río Alberche en la depresión de San Martín de Valdeiglesias-El Tiemblo-Cebreros, donde se localiza la zona de estudio; en esta depresión el río toma una dirección general NO-SE y sale de ella a través de otro fuerte encajamiento, garganta de Picadas, que le incorpora al dominio sedimentario de la Fosa del Tajo, río al que se le une en las cercanías de la población de Talavera de la Reina.

La cuenca del río Alberche está limitada en sus tramos alto y medio por las vertientes meridionales de las sierras de Villafranca y La Paramera, la terminación más meridiano-occidental de la Sierra de Guadrama, las vertientes septentrionales de las sierras del Cabezo y del Valle y la terminación más oriental del Macizo Central de Gredos. La red de drenaje en el curso alto y medio presenta un marcado control de la facturación, hecho notorio por la linealidad de los cauces, encajamientos bruscos, fuertes codos y un patrón de drenaje rectangular; cabe destacar la serie de gargantas y codos que tienen lugar en su tramo alto, y la linealidad del cauce desde San Martín del Pimpollar hasta su entrada en la depresión de San Martín de Valdeiglesias-El Tiemblo-Cebreros.



Figura III. 8 Esquema de la cuenca hidrográfica del río Alberche. Depresión 1 : Depresión de San Martín de la Vega del Alberche-Navadijos-Cepeda de Mora, Depresión 2 : Burgohondo-Navaluenga-Presa del Burguillo, Depresión 3 : Depresión de San Martín de Valdeiglesias-El Tiemblo-Cebreros.

En el curso bajo cambia el patrón de drenaje, pasando de rectangular a dendrítico, más común de los materiales detríticos de la fosa; también el cauce se hace más amplio, principalmente debido a la pérdida de control directo de la fracturación en el encajamiento, lo que facilita el desarrollo de una llanura aluvial y de un conjunto de terrazas.

El aporte de caudal que el río Alberche realiza como tributario al Tajo se encuentra entorno a una media anual 673 millones de m³, concentrado principalmente entre las estaciones de invierno y comienzos de primavera, como puede apreciarse en el gráfico III.3.

Como se ha señalado, la *Depresión de San Martín de Valdeiglesias* se localiza en el tramo medio del río y, en consecuencia, la red de drenaje está determinada por las fracturas siguiendo un patrón rectangular. Este importante control de la fracturación ha facilitado los encajamientos, impidiendo el desarrollo de llanuras aluviales destacables (Figura III.9).

Caudales medios mensuales de entradas

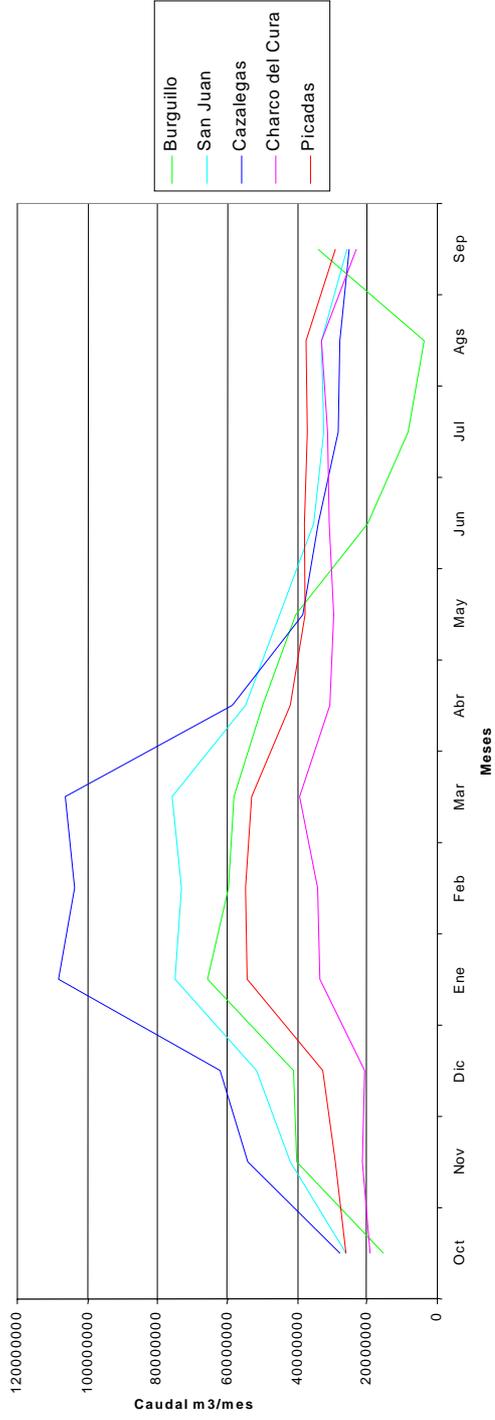
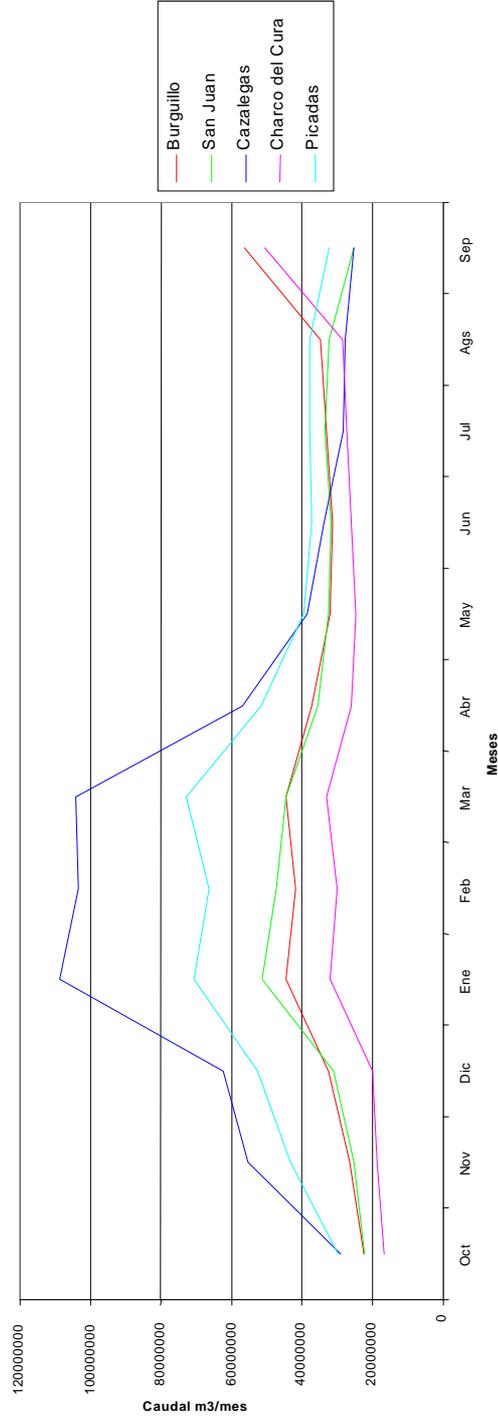


Gráfico III.3 Entradas y salidas de cuadal de los diferentes embalses de la cuenca del río Alberche

Caudales medios mensuales de salidas



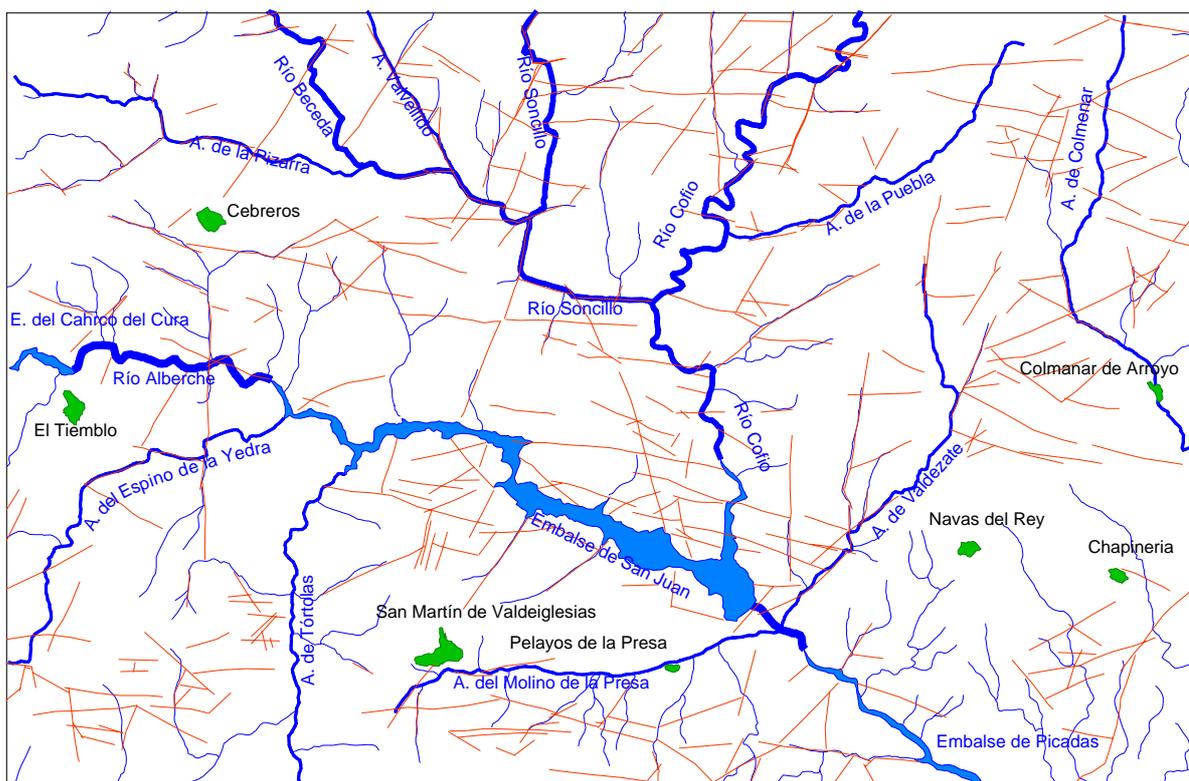


Figura III.9 Esquema de la red hidrográfica de la depresión de San Martín de Valdeiglesias-El Tiemblo-Cebreros.



Figura III.10 Cuenca hidrográfica del río Manzanares.

El río *Manzanares* tiene su origen en la vertiente meridional de la alineación montañosa de Cuerda Larga, en el paraje conocido como Ventisquero de la Condesa.

Su curso alto, cuyo entorno conforma la zona de estudio, transcurre encajado en la red de fracturas con una configuración bastante quebrada, debido fundamentalmente al gran número de codos; tras una notoria garganta, La Garganta Camorza, pasa a la depresión de Manzanares del Real-Guadalix de la Sierra-Redueñas. Al abandonar esta depresión se encaja en la rampa de Colmenar Viejo, para salir a la Cuenca del Tajo en los Montes del Pardo (Figura III.10).

Dentro del área de estudio presenta como principales tributarios el arroyo de la Majadilla, que cubre con su cuenca la zona interna de *La Pedriza de Manzanares*.

El régimen hídrico del río Manzanares en su curso alto es claramente estacional, con fuerte aporte de caudal en la etapa primaveral debido al deshielo de las acumulaciones de nieve invernal. Los caudales medios mensuales quedan repartidos como muestra el cuadro III.1.

De los datos expuestos se observa claramente el déficit que se produce en el mes de Febrero, recuperado posteriormente en Abril y Marzo por el efecto del deshielo. El estiaje en esta zona cercana al macizo montañoso se ve ligeramente reducida por los aportes de las tormentas veraniegas y las reservas de agua acumuladas durante la primavera y el invierno.

	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.
Caudales medios mensuales (m ³ /seg)	2.2	2.3	2.9	3.9	1.2	5.7	5.5	4.4	2.9	2.8	2.7	2.5
Aportaciones medias mensuales (Hm ³)	5.8	5.9	7.7	10.3	2.8	15.1	14.3	11.7	7.5	7.5	7.4	6.5

Cuadro III.1. Distribución de caudales de entrada y salida en el embalse de Santillana.

III.2.4.- Encuadre Geológico

Tanto la *Depresión de San Martín* como *La Pedriza de Manzanares* y su entorno, se encuentran dentro del Macizo Hespérico y, más concretamente, en lo que Lotze (1945) denominó la “Zona Galaico-Castellana” y Julivert *et al.* (1972) “Zona Centroibérica” .

Dada esta localización y por lo que se refiere a las repercusiones morfológicas, los rasgos geológicos básicos de estos terrenos y más concretamente los pertenecientes al Sistema Central donde se sitúan las dos áreas de análisis, pueden resumirse en las siguientes características:

- Los afloramientos actuales que conforman el Sistema Central se distribuyen según tres dominios principales, uno *central* y dos de *borde*.
- El *dominio central* engloba las sierras de Gredos y Guadarrama, caracterizadas por el predominio de la fracturación y los materiales cristalinos: los asociados al plutonismo dominan en la parte central y occidental y, los

derivados del metamorfismo en la oriental. La distribución del grado de metamorfismo así como la intensidad y extensión disminuye de E a O, predominando en todas las zonas las series pre-ordovícicas (pre-hercínicas). Estas características conforman unos relieves predominantemente “germánicos”.

- Los *dominios de borde* comprenden las sierras de Gata-Peña de Francia (el occidental) y Somosierra-Ayllón (el oriental). En ellos aparecen abundantes afloramientos de materiales post-ordovícicos (hercínicos) caracterizados por su estructura de plegamiento y bajo o nulo metamorfismo. Estos rasgos condicionan la presencia de relieves diferenciales tipo “apalachianos”; máximo en el borde occidental donde los materiales pre-ordovícicos están escasamente transformados.
- Los materiales post-paleozoicos, coberteras mesozoicas y terciarias, se localizan en las depresiones interiores; los materiales más recientes, cuaternarios, aparecen distribuidos por todo el macizo.

Esas características generales han sido puestas de manifiesto a lo largo de un siglo de trabajo que, podría decirse, comienza con Macpherson (1901) y su “*estrato cristalino*”; esto se concreta en la década de 1950 con los estudios petrológicos (ver al respecto: Fúster, 1951; Fúster y De Pedro, 1954a, 1955; San Miguel y García de Figuerola 1954) y consolida en la década de 1980 y 1990 con innumerables trabajos de los departamentos de Petrología y Geodinámica de las universidades Complutense de Madrid y de Salamanca, el I.T.G.E. (Instituto Tecnológico Geo-minero de España) y el C.S.I.C. (Consejo Superior de Investigaciones Científicas).

No es cuestión de referir aquí cada uno de esos trabajos (Tesis Doctorales, Tesis de Licenciatura, monografías, artículos, etc.); remitimos para ello a las memorias de los Mapas Geológicos de la serie MAGNA (Bloque del Sistema Central) que ha sido realizado en su mayoría por los responsables de esa obras y contienen notables reseñas de las mismas. Por cuanto fue pionero al respecto y en los últimos años ha quedado un tanto olvidado, citaremos a Parga Pondal (1969), ya que su obra sobre la fracturación tardi-hercínica sigue siendo referente básico en esta zona.

Lo que aquí nos interesa destacar para centrar el tema de la validación del modelo, es una breve reseña de los rasgos litológicos y tectónicos de las zonas elegidas.

III.2.4.1.– *Litología*

Las dos zonas que nos ocupan en este trabajo, se caracterizan litológicamente por la profusión de rocas plutónicas granitoideas, entre las que afloran rocas metamórficas orto y para-derivadas.

En la *Depresión de San Martín* los materiales metamórficos aparecen en dos afloramientos localizados al E y O de la zona: “macizo metamórfico de El Escorial-Villa del Prado” y el “macizo metamórfico de Ojos Albos-Cebreros-El Tiemblo” respectivamente.

El macizo de El Escorial –Villa del Prado ha sido estudiado ampliamente por Peinado (1973) y más recientemente en las hojas del proyecto MAGNA. Se diferencian dos grandes grupos de rocas, paraderivadas y ortoderivadas; dentro de las primeras se distinguen esquistos y paraneises entre los que afloran niveles de mármoles y rocas calcosilicatadas inicialmente descritas por Carandel (1914) y García de Figeroa (1956). En el caso de los esquistos y paraneises derivan de pelitas y grauwacas mientras los segundos lo hacen de sedimentos calcodolomíticos y margosos. En general se encuentran bastante deformados, recrystalizados y migmatizados, si bien puede reconocerse esporádicamente restos de estratificación y estructuras estromatolíticas (Capote *et al.* 1981). En cuanto a las segundas, se diferencian como la litología más abundante ortoneises glandulares acompañados de ortoneises mesocráticos y leuconeises, que representan posiblemente una serie de intrusiones pre-hercínicas; este origen ígneo en cuanto a la naturaleza de la roca original, propuesto inicialmente por Fernández Casal y Capote (1971) y Fernández Casal (1975) con matizaciones de Peinado y Alvaro (1981) y Bellido *et al.*, (1981), está bastante aceptado en el ámbito del Sistema Central.

En el macizo de Ojos Albos-Cebreros-El Tiemblo (Capote y Vegas, 1968; Fuster y Mora, 1970; Capote y Fernández Casal, 1975), aparecen también rocas paraderivadas y ortoderivadas. Las primeras se encuentran representadas por dos grupos de metasedimentos: las de grado medio-alto y grado medio-bajo. El primer grupo está constituido por filitas y esquistos con intercalaciones de materiales más samíticos, en los que aparecen lentejones y capas de samitas y rocas calcosilicatadas. El segundo grupo está constituido por esquistos de grano fino y filitas; dentro del conjunto de los esquistos aparecen lentejones y niveles de cuarcitas gruesas con carácter microconglomerático y lentejones de grano más fino ricos en anfíboles y plagioclasas.

Las rocas ortoderivadas están constituidas por ortoneises glandulares que presentan una migmatización generalizada y que corresponden posiblemente a antiguos granitoides (Capote 1971).

Con todo y como se ha señalado, los materiales más abundantes en ambas zonas de estudio son las rocas intrusivas entre las que destacan los granitoides. Estos han sido descritos y analizados por numerosos autores (San Miguel *et al.* 1960, Aparicio *et al.* 1975, Bellido *et al.* 1983, Brandebourger 1984, Casillas y Peinado 1988, García Cacho y Aparicio 1987, Fúster y Villaseca 1988, etc.) y, en general, se trata de dos series emplazadas en distintas etapas orogénicas y con composición químico-mineralógica bien diferenciada: la primera serie está constituida por leucogranitos peraluminicos; su generación sería mesocrustal y sintectónica, y respecto al metamorfismo se localizaría en zonas de alto grado; la segunda serie tiene una composición calcoalcalina de tipos básicos meta-alumínicos a ácidos alumínicos productos de la fusión parcial de rocas metamórficas, siendo su emplazamiento en los momentos finales de la orogenia hercínica.

Las características petrográficas, composicionales, así como su relación con los eventos tectónicos y estructurales de los diferentes grupos litológicos, se resumen en el cuadro III.2 y cuadro III.3.

III.2.4.2.- *Tectónica*

Los eventos orogénicos importantes dentro del Sistema Central se pueden agrupar en tres grandes etapas evolutivas: Hercínica, Tardihercínica y Alpina.

La *Orogenia Hercínica* es la responsable primaria de los grandes rasgos tectónicos que hoy se observan en los materiales paleozoicos y prepaleozoicos del Macizo Hespérico. En ciertas áreas pueden intuirse algunos rasgos de etapas orogénicas previas, pero en el Sistema Central la intensa transformación sufrida posteriormente por los materiales ha borrado las posibles huellas (ver tabla III.2).

Por lo que respecta a nuestro trabajo, es de gran importancia el trazado y características de las redes de fracturación, ya que serán las que posteriormente controlarán el relieve actual.

La *etapa tardihercínica* se caracteriza por los eventos de deformación frágil que dieron lugar a las fracturas o grandes “desgarres tardihercínicos” (Parga Pondal, 1969; Ubanell, 1981, 1982; Capote *et al.* 1987) que son coetáneos con el emplaza-

Tabla III.2 Resumen de estructuras, distribución y eventos metamórficos de las diferentes fases de la Orogenia Hercínica para el entorno de estudio, sintetizado de Fernández Casals y Capote (1971), Capote (1983, 1985) y Bellido *et al.* (1981).

Fase		Estructuras	Metamorfismo	Distribución
Pérmico inferior	5 ^a	pliegues con longitudes de onda grandes y pequeñas amplitudes	Post-metamórficas	Local
	4 ^a	pliegues de gran longitud de onda y pequeña amplitud		General
	3 ^a	pliegues retrovergentes		General
	2 ^a	cizalla dúctil subhorizontales con una fuerte milonitización	facies de anfibolitas, con baja presión y alta temperatura llegando a producir migmatización	General
Devónico Inferior	1 ^a	foliación penetrativa que será modificada y reorganizada por las deformaciones posteriores	facies de las anfibolitas con temperaturas y presión intermedia.	General

miento de la gran mayoría de los granitoides. Para el entorno que tratamos estos acontecimientos se han establecido en dos grandes etapas y presentan las siguientes características:

- Etapa Malagón: caracterizada por una tectónica de desgarre
- Etapa Hiendelaencina: es la más importante de fracturación para el Sistema Central; las direcciones principales son N10° a N30°E y N70° a N90°E. El tipo de movimiento de las fracturas evoluciona en esta etapa desde desgarres normales a fallas con una componente direccional importante.

La *Orogenia Alpina* es la responsable del relieve actual y, en general, consiste en un proceso de reactivación de algunas de las fracturas creadas durante la etapa tardihercínica.

A partir de los trabajos de lo que dio en llamarse la “escuela alemana de geología española” (Schröder, 1930 ref. 1947; Stickell, 1930; Schmidt-Th, 1945 ref. 1950; etc.) se asignaron a esta orogenia unas etapas o fases tectónicas estandarizadas en zonas alpinas y a su juicio, reconocibles en la Meseta y el Sistema Central, éstas son: Sávida, Esteárica, Ática, Rodámica y Waláquica. En los últimos años la tendencia de la mayoría de los investigadores ha sido, bien utilizar esa cronología como una referencia aproximativa, bien sustituirla por otra a escala regional. En el primer caso se tiende a apoyar los eventos geológicos en las etapas o procesos correlativos de sedimentación (Pedraza, 1978; Martín Serrano, 1988), en el segundo se introduce una nueva nomenclatura más o menos correlacionable con la previa (Aguirre *et al.* 1976

Cuadro III.2: Resumen petrográfico de las rocas pre-hercínicas del entorno de las zonas de estudio a partir de Fúster y Mora (1970), Capote (1971), Fernández Casal y Capote (1971), Capote *et al* (1981), Peinado y Alvaro (1981), Bellido *et al.* (1981), Hernández Samaniego *et al.* (1982), Capote y Vegas (1968) y las hojas correspondientes del Proyecto MAGNA.

Litologías	Composición mineralógica	Estructura	Textura	Procesos	Roca origen	Edad
Metasedimentos predominantemente pelíticos (Esquistos y paragneisis con intercalaciones samítics) Paragneisis Mármoles Rocas calcosilicatadas	Principales: cuarzo plagioclasa, biotita, silimanita acicular o prismática y cordierita. Secundarios: feldespato potásico, moscovita y granate. Accesorios: circón, apatito, turmalina y monacita.	* Migmatíticas variadas. * Orlas de biotitas * Estructuras estromatolíticas * Micropliegues * Bandeado composicional	Granoblástica a granolepidoblástica ocasionalmente foliada	* Migmatización general. * Intrusiones métricas de leucogranitos precoces	Predominantemente Pelitas	Precámbrico superior - Cámbrico inferior
	Principales: cuarzo, biotita, feldespato potásico, silimanita y plagioclasa. Secundarios: andalucita y moscovita. Accesorios: circón, apatito y opacos.	* Foliación importante * Bandeado composicional.	Granoblástica de grano fino	* Migmatización	Grauvacas	
	Principales: calcita y dolomía. Secundarios y accesorios: flogopita, diopsido, fosterita, clinohumita y espinela.	* Posibles ripples y cuerpos acuinados. * Estratificación planar oblicua. * Posibles estructuras estromatolíticas	Granoblástica		Rocas carbonatadas (calizas y dolomías)	
	Principales: diopsido y plagioclasas. Secundarios y accesorios: ámfibol, flogopita, microclina, grosularia y vesubiana. Metasedimentos más pelíticos	* Bandeado composicional	Granoblástica de grano fino		Margas	
Metasedimentos fundamentalmente pelíticos. (Esquistos, paragneisis y filitas micáceas)	Porfíroblastos: cordierita y andalucita (menor proporción) Matriz: cuarzo, plagioclasa, biotita y moscovita. Accesorios: opacos, circón, esfena, apatito y feldespato potásico. Materiales más samíticos Principales: cuarzo, plagioclasa, biotita y moscovita Secundarios: cordierita y granate	* Bandeado composicional. * Estructuras sedimentaristas (paragneisis)	Porfíroblástica (esquistos) Granoblástica de grano fino (Paragneisis)	* Alteración importante en los esquistos. * Migmatización y recristalización. * Milonitización en bandas.	Pelitas. Areniscas cuarzo-plagioclasticas Areniscas microconglomeráticas.	Pre-hercínicos
	Principales: cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa y biotita. Secundarios: silimanita Accesorios: opacos, apatito, circón, espinela y turmalina. Capas microconglomeráticas: cuarzo, plagioclasa y biotita. Megacristas: feldespato potásico	* Microbandeados composicionales.	Granoblástica de grano fino Microconglomerática	* Migmatización y recristalización	Samitas Rocas ricas en componentes calcáreos.	
Ortoneises	Matriz: cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa y biotita. Secundarios: silimanita Accesorios: apatito, circón, monacita, topacio y turmalina. Principales: cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa muy ácida, biotita y silimanita. Secundario: granate. Accesorios: apatito, circón y turmalina	* Enclaves esporádicos de rocas metamórficas * Bandeado composicional	Blastoporfídica Matriz: granolepidoblástica	* Migmatización irregular	Granitos porfídicos (?)	Pre-hercínicos
Leuconesises	Secundario: granate.	* Bandeado composicional * Foliación bien definida	Granoblástica a porfíroblástica de grano fino a medio	* Migmatización	Granitoides (?)	

Cuadro III.3 Resumen petrográfico de las rocas granitoideas del entorno de las zonas de estudio, extraído a partir de San Miguel *et al.* .1960, Aparicio *et al.* 1975, Belido *et al.* 1983, Brandebourger 1983, Casillas y Peinado 1983, Aparicio y García Cacho 1987, Fúster y Villaseca 1988 y las hojas correspondientes del Proyecto MAGNA.

Litología	Mineralogía	Estructura	Textura	Procesos	Edad
Diatexitas (Migmatitas con predominio de fracción granítica)	Principales: cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y biotita Secundarios: moscovita, clorita y albita. Accesorios: Silimanita, cordierita, apatito, circón, opacos y turmalina	* Abundantes enclaves y fragmentos de rocas metamórficas	Neísica bandeada inequigranular de grano fino a medio. cristales ideomorfos de cuarzo y feldespato.	Importante plegamiento y foliación	Etapas tardías de la 2ª fase de deformación hercínica
Complejo básico intermedio (Cuarzo-gabros anfibólico-biotíticos, Cuarzo-dioritas anfibólico-biotíticas y Granodioritas biotítico-anfibólicas-piroxénicas)	Principales: plagioclasa, biotita, anfíbol y cuarzo Secundarios: clinopiroxenos y feldespato potásico Accesorios: apatito, circón, opacos, esfena y allanita.	* Las zonas de contacto dan lugar a pasillos de enclaves	Textura muy variable, desde hipideomorfa inequigranular a a equigranulares, grano medio a fino con tendencia porfídica	Inyección importante de venas granodioríticas-adamelliticas, aplíticas y pegmatíticas Importante alteración	
Adamellititas-Granodioritas foliadas con agregados biotíticos	Principales: cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa y biotita. Secundarios: mica blanca, epidota, prehnita, clorita, opacos, esfena, sercita, clinzoisita rutilo, carbonatos y fluorita. Accesorios: apatito, circón, monacita y opacos. Fenocristales: feldespato potásico.	* Gran número de enclaves de naturaleza variada. * Foliación muy marcada.	Textura variada desde hipideomorfa inequigranular a a equigranular de grano medio a grueso.	Alta deformación	
Adamellititas-granodioritas. (Facies foliada, profídico-biotítica foliada y biotítico-cordierítica)	Principales: cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y biotita Secundarios: moscovita, albita, clorita pinnita, calcita, prehnita, rutilo y epidota (productos de alteración) Accesorios: apatito, circón, opacos, cordierita, corindón, espinela, andalucita y sillimanita.	* Presencia importante de enclaves. * Estructuras planilineales penetrativas y de flujo.	Hipideomorfo inequigranular porfídica con matriz de grano medio a grueso.	Alta de formación. Intrusión de diques de aplita y pegmatita.	Afectadas por la 4ª fase hercínica
Granitos microporfídicos (facies ss. y foliados)	Fenocristales: cuarzo, feldespato potásico, biotita y plagioclasa. Principales: cuarzo, feldespato potásico, biotita y plagioclasa. Secundarios: clorita, sercita, epidota, rutilo, clinzoisita, pinnita y opacos (productos de alteración) Accesorios: cordierita, apatito, circón, monacita, opacos y granate.	* Presencia de numerosos enclaves * Foliación y estructuras de flujo. * En general isotropos. * Puntuales orientaciones de biotitas y megacristales. * Enclaves variados en composición y distribución.	Hipideomorfa inequigranular porfídica de grano fino	Deformación variable en intensidad. Algunas intrusiones de diques aplíticos y pegmatíticos	
Adamellititas	Principales: cuarzo, feldespato potásico, biotita y plagioclasa. Secundarios: clorita, sercita, esfena, epidota, rutilo, clinzoisita, carbonatos, opacos, fluorita y prehnita Accesorios: anfíbol, allanita, apatito, circón, monacita y opacos.		Varia de fino a inequigranular hipideomorfa de grano medio a grueso.	Alteración importante. Episientización.	
Leucogramitos	Principales: Cuarzo, plagioclasa feldespato potásico y biotita Secundarios: moscovita, clinzoisita, sercita, clorita, opacos, epidota y esfena. Accesorios: circón, apatito, monacita, allanita, opacos y fluorita Principales: cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa.	* Enclaves muy escasos.	Roca homogénea, hipidiomorfo equigranular de grano fino a grueso.	Episientización y silicificación debido a actividad hidrotermal.	Carbonífero superior – Permico inferior
Leucogramitos aplopegmatíticos	Principales: clorita, sercita, opacos, prehnita, clinzoisita y carbonatos. Accesorios: biotita, moscovita, allanita, circón, opacos, apatito, monacita y granate.	* Enramado de diques y masas tabulares. * Contiene enclaves de granitos microporfídicos exclusivamente	Textura variada desde términos alotriomorfos hipideomorfos, heterogranulares y equigranulares de grano medio a fino con tendencia micrográfica y micropegmatítica.		

Capote *et al.* 1990); por lo que respecta a las zonas que nos ocupan, sobre todo la oriental, uno de los trabajos citados (Capote *et al. op cit.*) distingue las siguientes etapas:

- Etapa Ibérica: es la responsable de los eventos compresivos principales que dan lugar a el plegamiento de la Cordillera Ibérica, este fuerte plegamiento se ve transformado en el Sistema Central en desgarres normales que con posterioridad pasan a distensiones. Esta etapa es la responsable de la formación y estructuración de las alineaciones interiores del Sistema Central y la caracterizan por direcciones N10°-N30°E y N60°-N100°E.
- Etapa Guadarrama: para el Sistema Central corresponde a la principal de compresión y es responsable de la estructuración en *Horsts* y *Grabens*, destacando los cabalgamientos de borde que limitan el Sistema Central y las fosas terciarias . Existe una evolución temporal de los esfuerzos: comienza por una tectónica inversa-direccional y desplazamientos de fracturas con dirección N20° y N70° , pasa a desgarres inversos, y termina con desgarres normales mediante fallas con dirección N80°E y N110°E.
- Etapa Torrelaguna: corresponde a una etapa compresiva que afecta a los materiales del zócalo, dando lugar a fracturas de dirección N-S. Esta etapa parece continuarse durante épocas recientes afectando a depósitos cuaternarios.

III.2.5.- Encuadre Geomorfológico.

Las sierras que conforman el Sistema Central y, en concreto, las que constituyen los conjuntos montañosos de Guadarrama y Gredos, presentan una fisonomía escalonada que ha llamado la atención desde antiguo y que aun plantea una serie de problemas tanto genéticos como evolutivos.

La mayoría de las hipótesis genéticas se han elaborado en el sector medio del Sistema Central, donde la estructura de *horsts* y *grabens* es más patente.

La primera interpretación del relieve de estas áreas que podemos considerar netamente geomorfológica, es la realizada por Schwenzner (1937). Para este autor existen una serie de superficies o replanos escalonados y articulados entre sí que, partiendo de las zonas cimeras, descienden hacia las cuencas; él los describe basán-

dose en lo que W. Penck (1924) definió como la *escalera de piedemonte* (*piedmonttreppe*), esto es: un relieve tecto-erosivo. Lo basa en una tectónica continua de intensidad creciente y una denudación que arrasa los bordes de los bloques elevados dando las planicies de Meseta (Masetafachen, M3, M2 y M1).

Solé Sabarís (1952) y Birot y Solé Sabarís (1954) consideran que el relieve actual del Sistema Central tiene su origen en una penillanura finiterciaria, que es desnivelada y sometida a una serie de procesos de pedimentación creando las rampas. Así pues, y en contra de lo expuesto por Schwenzner (1937), estos autores entienden que el Sistema Central es ante todo un conjunto de bloques tectónicos que se superponen a toda acción denudadora.

Pedraza (1978) considera una superficie generatriz, la *penillanura poligénica heterocrona*, que sería deformada dando lugar a las divisorias principales y al inicio de lo que denomina “ciclo arcósico” (básicamente Mioceno). A lo largo de esta primera etapa se produce una intensa morfogénesis marcada por un ambiente de sabana, durante el cual comienzan a elaborarse los piedemontes y a rellenarse las cuencas sedimentarias del Tajo y Duero.

El *ciclo post-arcósico* (del Plioceno a la actualidad), se inicia con una fuerte tectogénesis que daría como resultado: el levantamiento de la zona axial de la cadena montañosa y la ruptura de la superficie culminante, una agudización de las fosas intramontañosas, y la desnivelación del piedemonte de sabana. Estos últimos evolucionarían en condiciones más áridas a lo que actualmente conocemos.

Garzón (1980) junto a un análisis de los diferentes métodos de representación cartográfica de las formas y procesos geomorfológicos, plantea un modelo evolutivo en el cual los piedemontes son, en su mayoría, una antigua superficie de lavado (etchplain) fosilizada por las coberteras de sedimentos recientes (terciarios) y luego exhumada.

Los dos trabajos anteriores se localizan en el área de Gredos, sin embargo Sanz Herraiz (1986) estudia detenidamente el sector oriental de la Sierra de Guadarrama. En su desarrollo se centra más en los procesos recientes y la cartografía geomorfológica, que en los aspectos evolutivos. En sintonía con las ideas de Birot y Solé Sabarís (1954), interpreta una deformación cortical principal, ocurrida en el Mioceno, que se traduce en una estructuración de la sierra en bloques desnivelados, configurando un sistema montañoso que -aunque con variaciones de modelado- se mantuvo como tal desde su construcción hasta el momento actual.

Tras estos trabajos han aparecido otros muchos, sobre todo en los últimos años; el cuadro III.4 muestra la distribución temporal de acontecimientos planteados en estas zonas por diferentes autores.

Para concretar las referencias que nos aportan mayor número de datos para nuestro trabajo, lo resumimos como sigue: Pedraza (1978) por cuanto cualifica en unidades básicas del relieve y las diferentes planicies que sirven de base a la validación; Sanz Herraiz (1976, 1986), Martín Ridaura (1986) y Pedraza *et al.* (1989) por cuanto establecen la morfología granítica de la zona de la *Pedriz de Manzanares*; Pedraza (1978), Centeno (1988) y Sanz Santos (1987) por cuanto se refiere a la morfología granítica y los relieves residuales en la zona de enlace de Gredos y Guadarrama.

Finalmente y en lo que se refiere a los acontecimientos más modernos destacaremos la sucesión elaborada por Centeno (1988), que se localiza en una de las zonas objeto de nuestro trabajo (cuadro III.5).

Cuadro III.5 Modelo de evolución cuaternaria de la rampa meridional (Centeno, 1988)

	Según datos locales (Alberche)	Según datos megarregionales (Tajo)
Holoceno	Depósitos fluviales	
Pleistoceno superior	Encajamientos y exposición de domos	
Plesitoceno medio		Alteración y formación de <i>flared slopes</i>
Pleistoceno inferior	Inicio de la incisión. Replanos de sustitución del <i>pediment</i>	
Plioceno	Formación del <i>pediment</i> inferior (M ₁)	

III.3.- Unidades del relieve

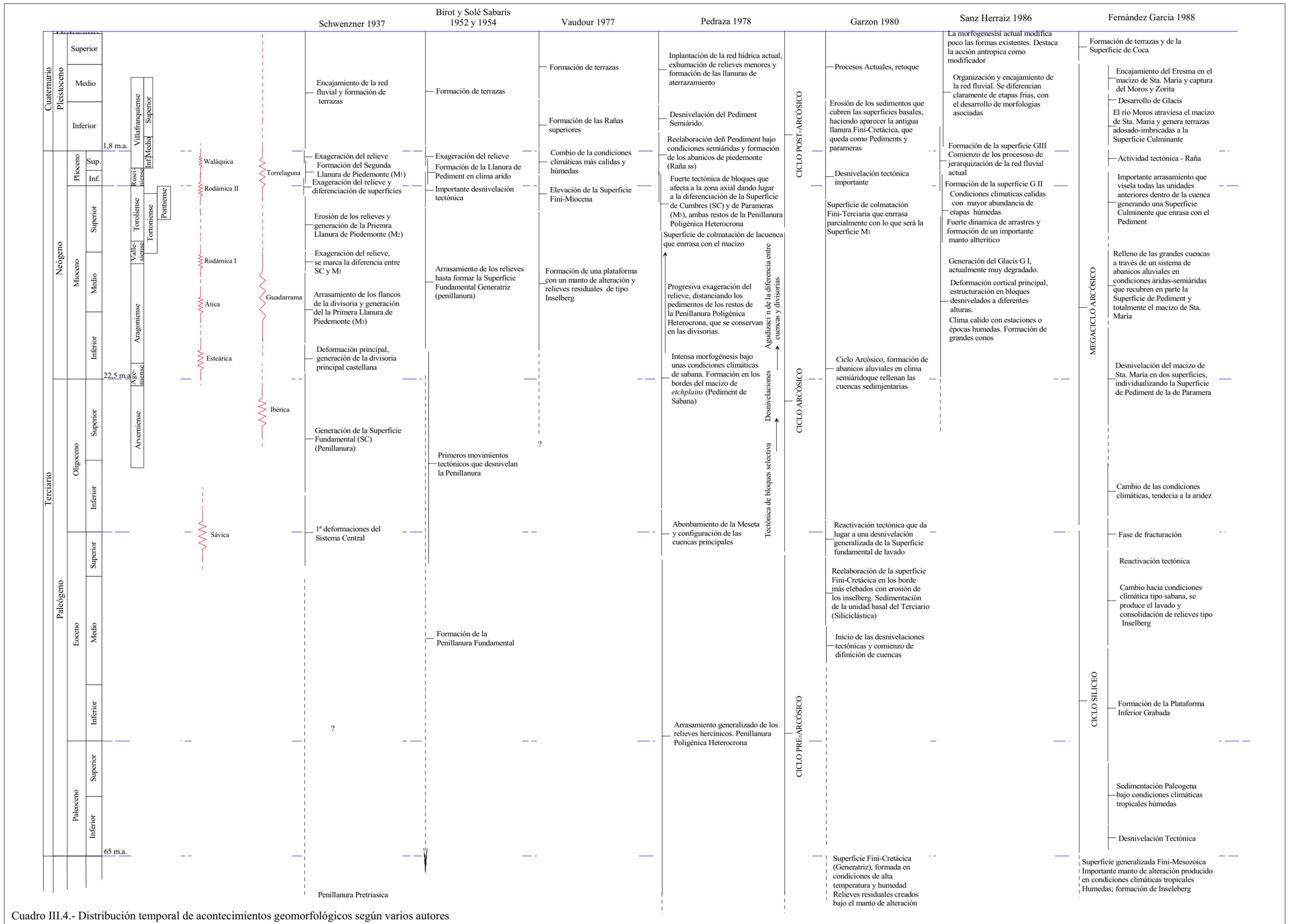
III.3.1.- Introducción

Como ya se ha mencionado, la *Depresión de San Martín de Valdeiglesias* conforma un punto singular dentro del Sistema Central español, ya que en ella se produce un cambio en la dirección general de las alineaciones montañosas principales.

Se trata de una zona en la que convergen una serie de relieves que determinan el tránsito entre las sierras de Gredos y Guadarrama, y en ella se realizaron los trabajos que sirven de base para el desarrollo de un procedimiento para la clasificación del relieve (Pedraza 1978); este en sus líneas fundamentales, que sigue pautas metodológicas similares a las utilizadas en los *Land Systems* (Christian & Steward, 1968), que sin duda es el trabajo más estandarizado es este tipo de clasificaciones.

En el procedimiento aludido, la clasificación del relieve se realiza de forma jerárquica (figura III.11), así: el primer nivel corresponde a los *conjunto geológicos peninsulares*; el segundo a los *conjuntos geomorfológicos*; el tercero a las *unidades geomorfológicas* y por último, están los *elementos geomorfológicos*. Dentro de estos últimos, diferencia dos tipos: aquellos elaborados conjuntamente con la unidad geomorfológica a la cual pertenecen y que denomina *propios*; y los que estando sobre la unidad son posteriores a su génesis que denomina *sobreimpuestos*.

Este trabajo ha servido de base en posteriores estudios, algunos de los cuales precisa ciertos aspectos de la clasificación, y en trabajos aplicados. Destacaremos las aportaciones de Centeno (1988), que en los *elementos* sobreimpuestos diferencia aquellos que se generan por agradación y degradación y, a su vez, los heredados y los degradantes de las formas existentes. En cuanto a las aplicaciones hay que citar el trabajo de Martín Duque (1997), que desarrolla un procedimiento utilizar de estos métodos en planificación y ordenación territorial.



Cuadro III.4.- Distribución temporal de acontecimientos geomorfológicos según varios autores

Carrasco 1997

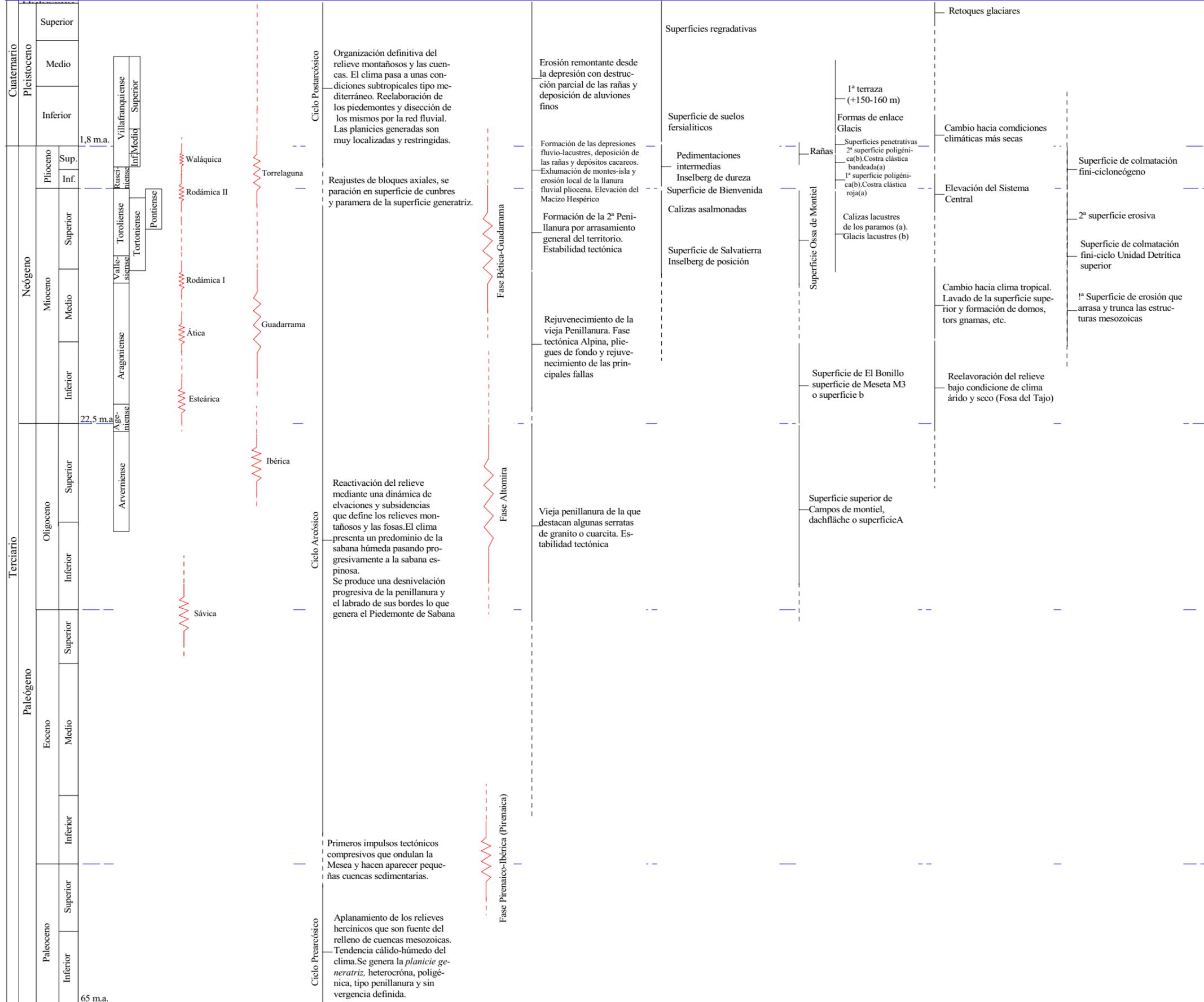
Hernández Pacheco 1947

Díaz del Olmo 1987

Pérez González 1982

Gutiérrez Elorza y Rodríguez Vidal 1978

García Abad 1978



(a) Región de Madrid, Alcarria, Mesa de Colmenar y Ocaña
 (b) Plataforma externa de Montes de Toledo y Valle del Tajo

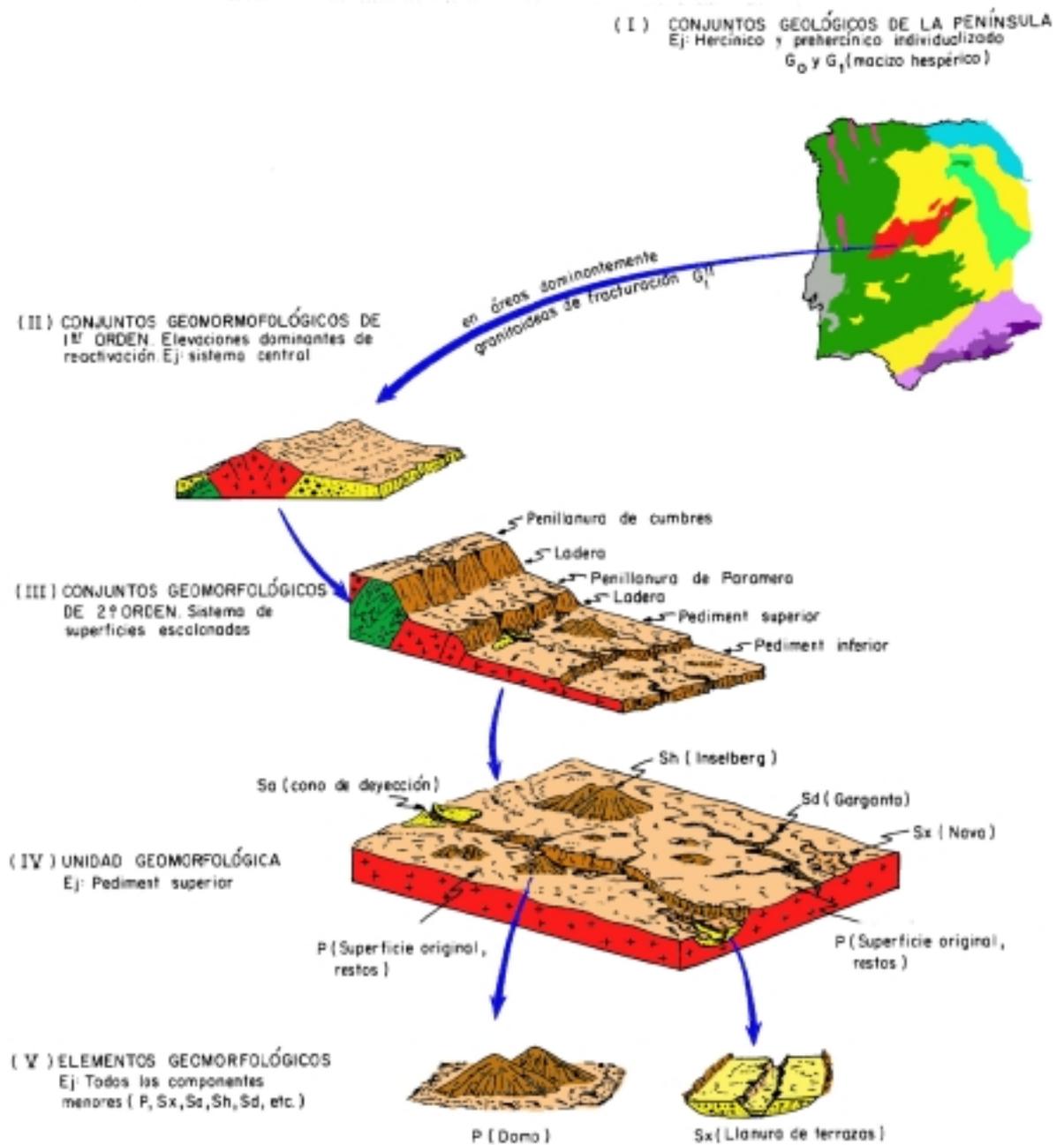


Figura III.11 Esquema jerárquico de clasificación del relieve. P - elementos propios, sobreimpuestos por: sh - herencia, Sa - agregación, Sd - degradación y Sx - mixtos (según Pedraza *et al.* 1996).

Nosotros aquí nos vamos a centrar en las dos jerarquías de mayor escala: *unidades geomorfológicas* y *elementos geomorfológicos*. Las jerarquías superiores (menor escala) quedaron ya referidas al describir el contexto geográfico y geológico de esta zona; señalaremos, sin embargo, que en esta clasificación los terrenos que nos ocupan son: hercínico y prehercínico (macizo hespérico) como conjunto o región geológica; elevaciones dominantes de reactivación (aquí, el sistema Central) co-

mo conjunto o región geomorfológica de primer orden y sistema de superficies escalonadas o “block mountain” (aquí sierra de Gredos y Guadarrama) como conjuntos o regiones geomorfológicas de segundo orden (figura III.11). El esquema III.1a muestra un resumen de las Unidades Geomorfológicas en el entorno del área de estudio, referidas al macizo cristalino y sus subcuencas interiores.

La otra zona elegida, La Pedriza de Manzanares presenta la misma organización del relieve y, por tanto, le son extensibles estas unidades (esquema III.1b). La razón de su elección como también se significó ya previamente, es la de su morfología granítica que aporta todo un conjunto de fisonomías a escala de elementos ya descritas previamente (Sanz Herraiz, 1976, 1988; Martín Ridaura, 1986 y Pedraza *et al.* 1989).

Todas las unidades de estas zonas, ordenadas de mayor a menor altitud, se describen a continuación mediante su correspondiente ficha en la que se incluyen:

Nombre de la Unidad Geomorfológica.

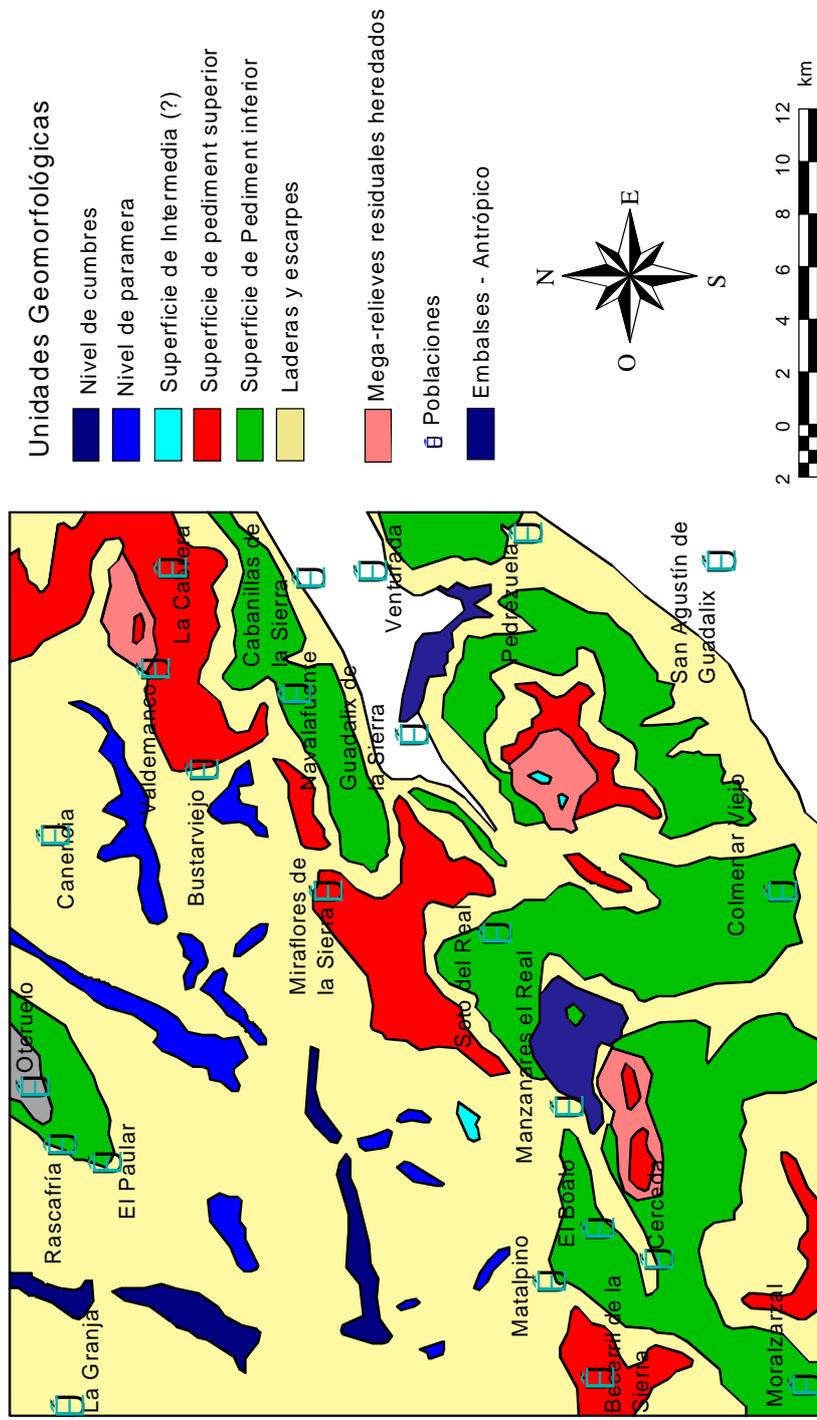
Descripción general.

Elementos geomorfológicos que la conforman o elementos propios.

Elementos geomorfológicos sobreimpuestos principales.

Génesis y edad atribuible.

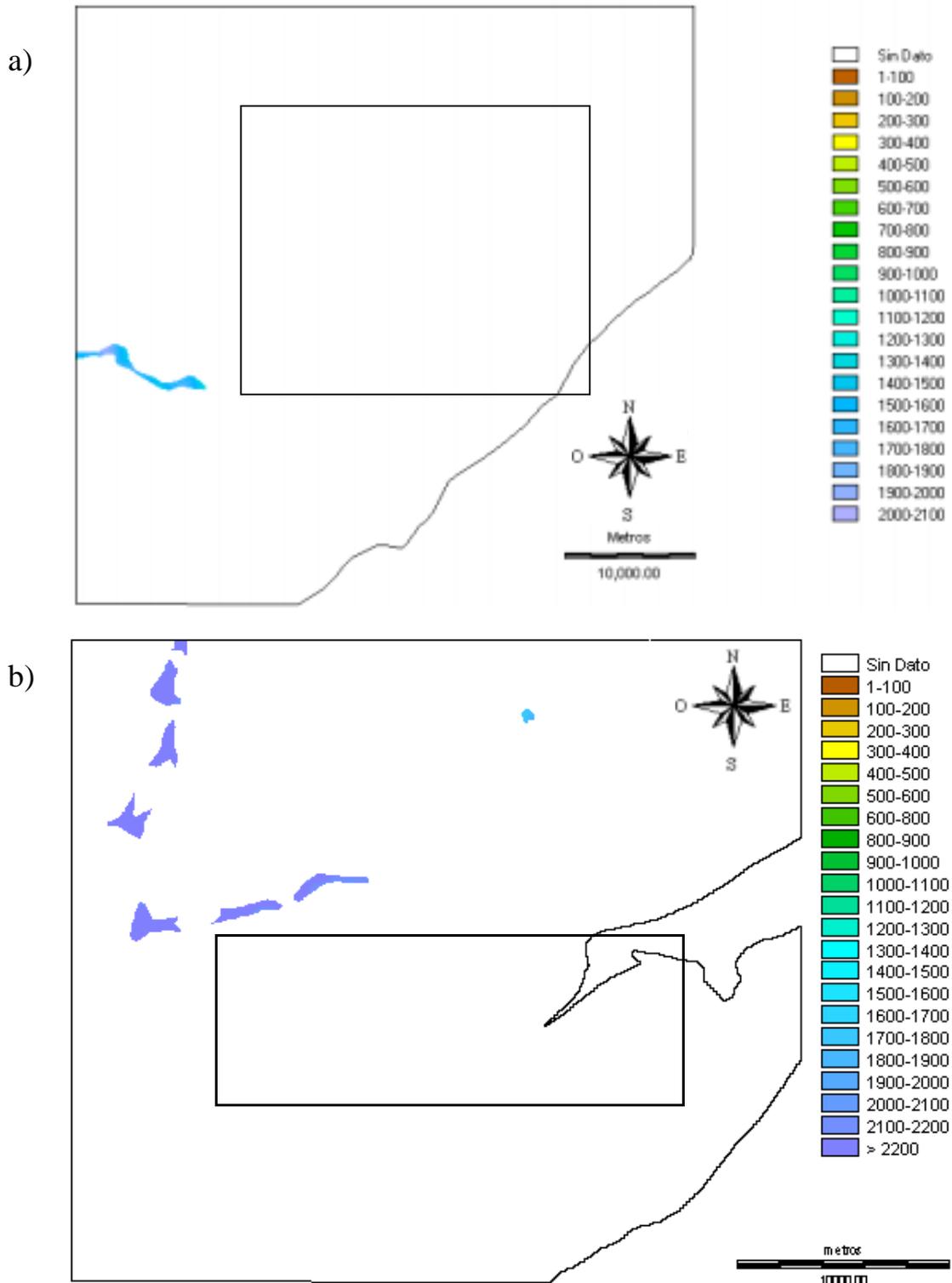
Correspondencia con unidades definidas por otros autores.



Esquema III.1b Disposición de las unidades Geomorfológicas en La Pedriza de Manzanares y su entorno.

III.3.2.- Descripción de las unidades

III.3.2.1 Planicie de cumbres



Esquema III.2. Localización y distribución de alturas de la Planicie de Cumbres a) Depresión de San Martín de Valdeiglesias, b) La Pedriza de Manzanares.

Descripción: En áreas adyacentes a las que nos ocupan, la planicie de cumbres está constituida por una serie de retazos limitados a las divisorias principales de las alineaciones montañosas. Su altura media está en torno a los 1.900 metros; en las sierras centrales de Gredos y Guadarrama aparece en torno a los 2.000–2.200 metros, descendiendo progresivamente hacia ambos bordes.

Aquí no podemos establecer una tendencia general de la unidad, ya que su representación es muy escasa; aunque la porción analizada tiene una vergencia hacia el SE, al igual que la unidad de paramera.

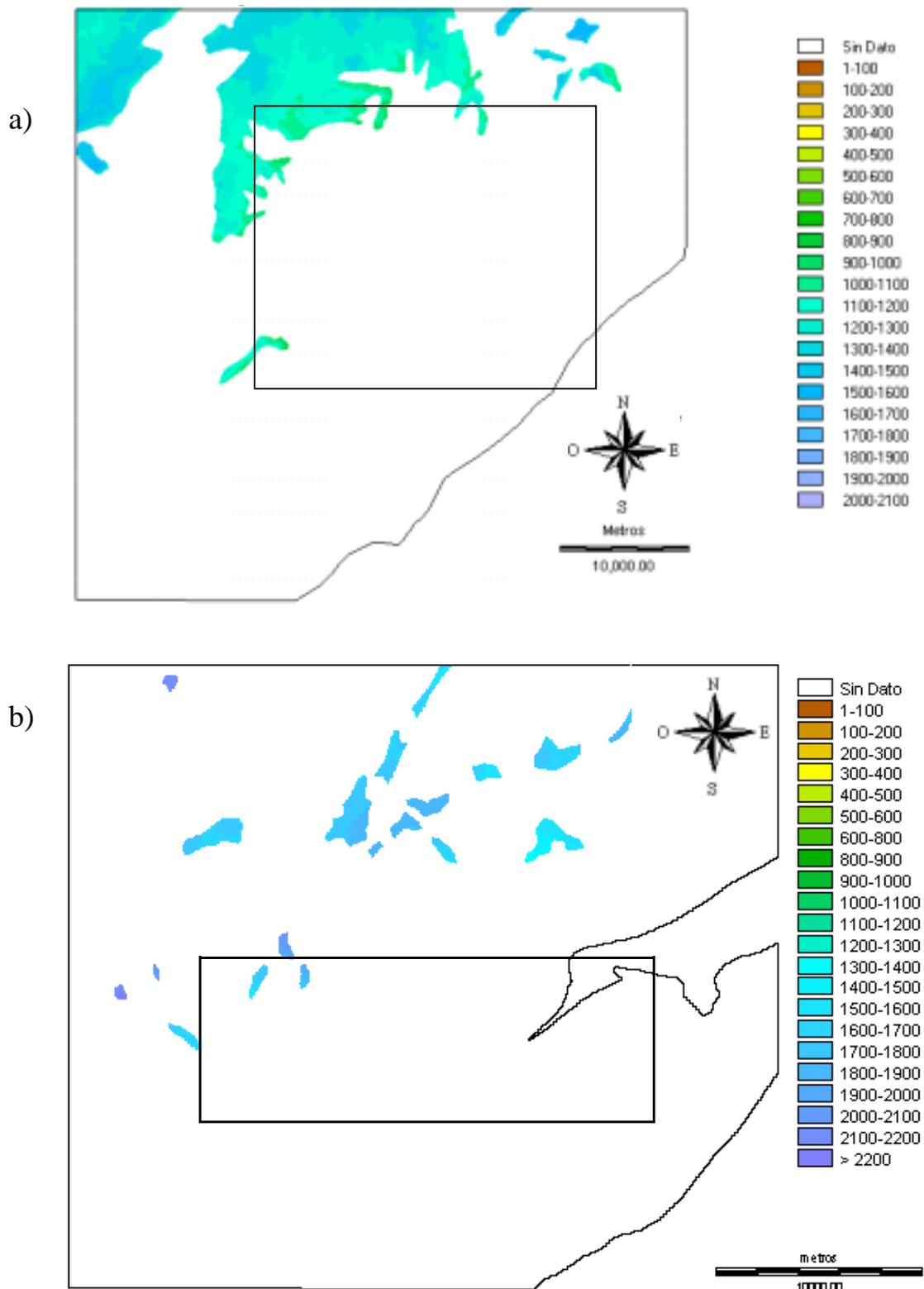
Elementos propios: corresponden a restos de planicie, que conforman las divisorias de los principales alineaciones montañosas; dadas estas características, su distribución espacial es restringida y presenta un carácter marcadamente relicto. A estos retazos de superficie hay que añadirles los relieves de tipo *monadnock*, elementos morfológicos más destacables de la unidad.

Elementos sobreimpuestos: Para el área que nos ocupa, los elementos más destacables son los debidos a la acción periglacial y los procesos erosivos remontantes de las cabeceras de los arroyos.

Génesis y edad: Esta unidad se ha definido en ésta y otras regiones (Pedraza, 1978) como una penillanura poligénica (formada bajo la sucesión de diferentes ciclos morfogenéticos) y heterocrona (su desarrollo abarca una amplia etapa temporal). Aquí puede considerarse concluida a principios del Cenozoico, siendo modificada posteriormente por la desnivelación tectónica del levantamiento general del Sistema Central español.

Correspondencia con otras nomenclaturas o asignaciones genéticas y temporales: Schwenzner (1937) la cita como la penillanura “intraterciaria”, Solé Sabarís (1952) como fini-miocena, Schmieder (1915 ref. 1953), Hernández Pacheco (1923) como la penillanura “generatriz fini-cretácica” y, Garzón (1980) y Martín Serrano (1988) como la superficie de “sabana fini-cretácica” (*etchplain*).

III.3.2.2.- *Planicie de parameras*



Esquema III.3 Localización y distribución de alturas de la Planicie de Parameras en el entorno de a) la Depresión de San Martín de Valdeiglesias, b) La Pedriza de Manzanares.

Descripción: Se trata de una altiplanicie suavemente ondulada con vergencia hacia el SE y adquiere un gran desarrollo, localizada principalmente al N y NO de la *Depresión de San Martín de Valdeiglesias*; son las parameras abulenses que dan nombre a la unidad. En la Pedriza de Manzanares queda limitada a pequeños retazos en hombreras y cimas de cuerdas; para encontrar aquí bien definida este tipo de morfología hemos de desplazarnos hacia el este, en los Llanos de la Morcuera. Su cota oscila entre los 1800 y 1100 metros de altitud.

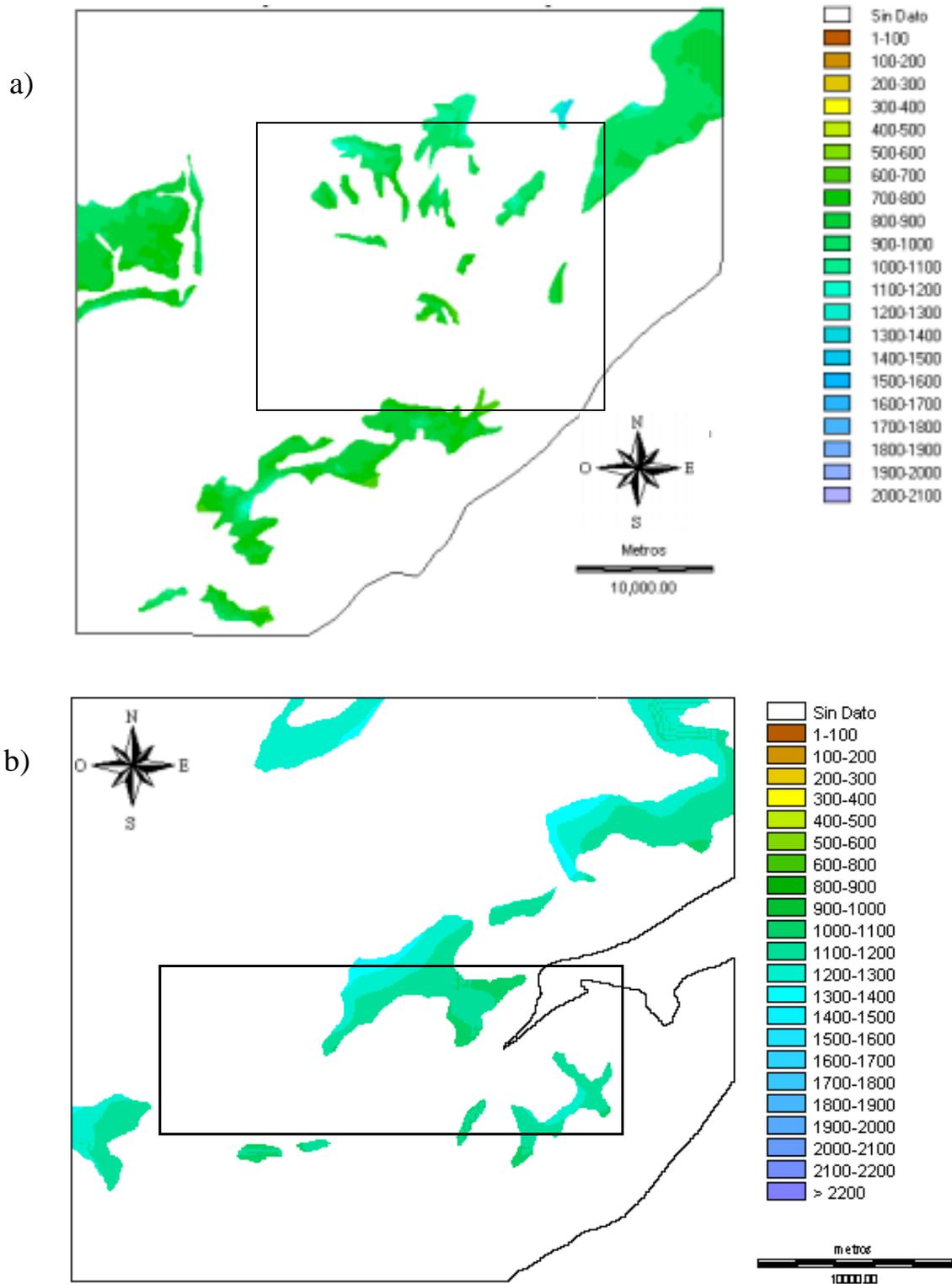
Elementos propios: Los más destacables son los restos de la planicie original y los relieves residuales tipo *monadnock* entre los que podemos diferenciar dos tipos: aquellos que no presentan ninguna relación con la litología, su forma general es cónica y podrían ser considerados como relieves de posición; y aquellos que se encuentran asociados a grupos litológicos que dan lugar a formas lineales, como diques de cuarzo, en este caso podemos hablar de relieves de resistencia y cuya forma general está fuertemente controlada por la fisonomía de afloramiento rocoso.

Elementos sobreimpuestos: Aquí destacan los derivados del encajamientos de la red fluvial, básicamente las gargantas, muchas de las cuales están ligadas a la red de fracturas. Otros elementos son los *tor* y los *inselberg*; estos últimos aparecen en los bordes de la unidad, correspondiendo en muchos casos a relieves previos reestructurados por las morfogénesis posteriores lo que, como señalamos, hace pensar en otro tipo de morfogénesis. Son observables también depósitos fluvio-periglaciares ligados a cauces, si bien, estos elementos se encuentran escasamente desarrollados. Son destacables las alteraciones intensas que han sufrido los materiales metamórficos, aunque su relación temporal y genética con la unidad es difícil de concretar.

Génesis y edad: Como en el caso de la unidad anterior se ha descrito esta superficie como una penillanura poligénica y heterocrona (Pedraza, 1978). Dadas estas circunstancias, su génesis es principalmente cenozoica; a partir de este momento quedó diferenciada por las desnivelaciones tectónicas.

Correspondencia con otras nomenclaturas o asignaciones genéticas y temporales: corresponde a la planicie de meseta definida por Schwenzner (1937) como M₃. Pedraza (1978) la considera genéticamente relacionada con la unidad *penillanura poligénica*, siendo la tectónica alpina la causante del desdoblamiento de dicha superficie en estas dos unidades: cumbres y parameras; esta misma génesis tectónica es la que establecen Solé Sabarís (1952) y Birot y Solé Sabarís (1954), si bien a partir de una superficie fini-miocena. El planteamiento propuesto por Pedraza (*op. cit*) es seguido por otros autores como Centeno (1988), Sanz Santos (1987), Carrasco (1997), etc. en la zona que nos ocupa y en otras del Sistema Central.

III.3.2.3 *Pediment superior*



Esquema III.4 Localización y distribución de alturas del Pediment Superior. a) la Depresión de San Martín de Valdeiglesias, b) La Pedriza de Manzanares.

Descripción: Se trata de una serie de replanos, en algunos casos con un marcado carácter escalonado, de inclinación general SE y una disminución de alturas de NE a SO. En zonas puntuales la vergencia de esta superficie queda claramente controlados por la red hidrográfica; es el caso del desarrollo de la unidad en depresiones morfo-tectónicas internas del macizo, como por ejemplo la Depresión de Herradón-Casillas.

La cota media general de la unidad se sitúa entre 1000 y 900 metros, si bien en los tramos próximos a los contrafuertes de las sierras o en escarpes de depresión puede encontrarse muy escalonada. De NE a SE la altura desciende progresivamente de medias de 1200-1100 m hasta 800-700 m.

En la depresión de San Martín-El Tiemblo-Cebreros, el *pediment* queda como pequeños retazos que constituyen conjuntos de relieves residuales; hacia sus bordes aparece escalonado y termina por articularse con las laderas o ampliarse hacia la cuenca o Fosa del Tajo para definir las rampas. En la rampa de Cadalso de los Vidrios - Cenicientos y en la de El Escorial - Fresnedilla, el desarrollo es más homogéneo y tienen mayor continuidad.

En a Pedriza de Manzanares la unidad se estructura en una serie de replanos más o menos amplios que se sitúan adheridos a las laderas del macizo y como divisoria entre la rampa de Colmenar y la depresión Moralarzal-Guadalix de la Sierra.

Elementos Propios: Están constituidos por los restos de planicie y relieves residuales, muchos de ellos tipo *inselberg*. En general estos últimos son heredados de una "superficie previa" y remodelados durante el proceso de formación de la unidad que estamos analizando; ejemplos de este tipo de relieves son la Peña de Cadalso de Los Vidrios. La Peña de Cenicientos y el Cerro de San Pedro normalmente se ha descrito como un resto de la planicie de parameras, sin embargo el pequeño retazo de superficie en su zona culminante no equivale a esa unidad; para nosotros, como veremos, es el ejemplo más claro de la presencia de una unidad intermedia entre la de paramera y la de pediment superior.

Como relieves propios de la unidad, si bien con porciones heredadas sobre todo en sus culminaciones, podrían destacarse los del conjunto de Las Cabreras, el cerro de Seroles, el cerro Mesas o el Horma (en la *Depresión de San Martín de Valdeiglesias*) y Hormigales, Cerro de la Berrocosa, Cerro Peñote, Cancho El Escorial, Alto Negrete (en *La Pedriza de Manzanares*).

Elementos sobreimpuestos: Los más destacables son los debidos al encajamiento de la red fluvial plio-cuaternaria que han dado lugar a la formación de gargantas y valles someros.

En muchos sectores, especialmente en la rampa de Colmenar del Arroyo –El Escorial hay que destacar el notable desarrollo de los berrocales. Estas morfologías, analizadas ampliamente por Centeno (1987), se generan a expensas del *pediment* y llevan asociada una importante alteración que deja bolos de dimensiones métricas dispersos o agrupados entorno a relieves residuales de tipo cóncavo y de génesis subcutánea o intracutánea. Este berrocal y esta alteración pueden tener un origen posterior al de la formación de la unidad y, por tanto, ser sobreimpuesto y degradativo.

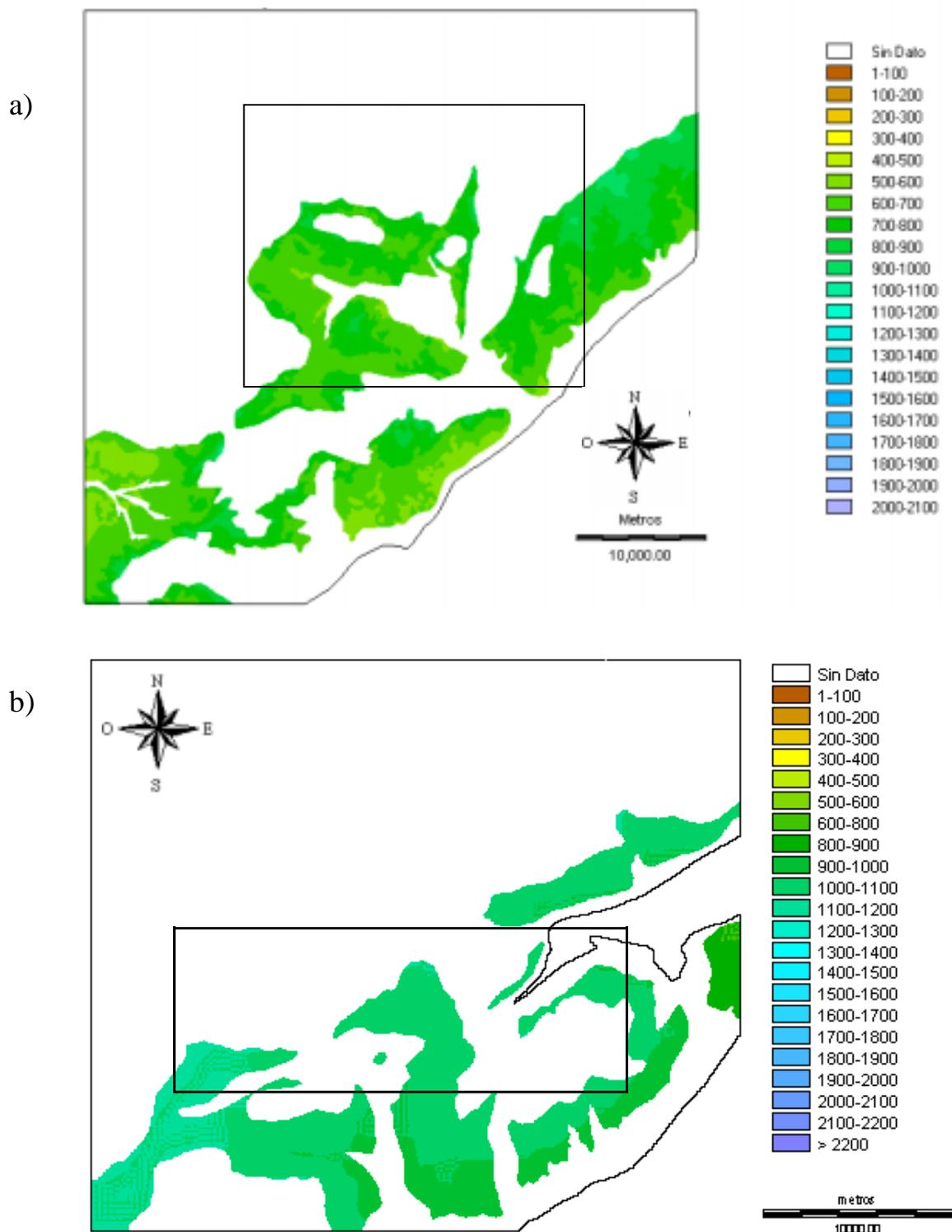
Edad y génesis: En principio esta morfología siempre se ha citado como un *pediment* (Biro 1937) ajustándose a la tipología establecida por McGee (1897, ref Thornbury, 1957) o Mackin (1970) y que, a grandes rasgos, puede definirse como: *unas superficies de erosión que corta cualquier tipo de roca y estructura, adosadas a los pies de las zonas montañosas y cuyas pendientes oscilan entre 1º y 7º.*

En los últimos años las ideas apuntan hacia formas poligénicas que parte de un pediment de sabana (o *etchplain*), reelaborándola bajo unas condiciones climáticas áridas-semiáridas. Esta elaboración deja pocos restos de la morfología original, pues sólo conservan relieves residuales tipo *inselberg*, asimilados por la nueva unidad; conviene precisar que junto a estas formas residuales heredadas aparecen otras originales del proceso de pedimentación. La edad de estos últimos procesos se ha apuntado como pliocena.

Correspondencia con otras nomenclaturas o asignaciones genéticas y temporales: Schwenzner (*op. cit.*) se refiere a esta unidad como la “planicie de meseta” M₂. Solé Sabarís (1952) y Biro y Solé Sabarís (1954) la definen como un *pediment* (*ss*) y Garzón(1980) considera que es una antigua llanura tipo *etchplain* conservada a lo largo del Terciario por coberteras de sedimentos que luego fueron desmantelados. Pedraza (1978) la describe para la zona que nos ocupa como biclimática: una superficie de sabana o *etchplain* coetánea con el “ciclo arcósico”, posteriormente desnivelada tectónicamente y remodelada en ambientes más áridos; esta idea ha sido seguida por autores posteriores como Garzón (1980), Centeno (1988), Sanz Santos (1987), Centeno *et al.* (1990), etc.

Otros autores como Sanz Herraiz, C. (1988) describen la unidad refiriéndola como Glacis I y dando una descripción general para la rampa del sector central del Guadarrama.

III.3.2.4.- *Pediment inferior*



Esquema III.5 Localización y distribución de alturas del Pediment Inferior en el entorno de a) la Depresión de San Martín de Valdeiglesias, b) La Pedriza de Manzanares.

Descripción: Esta unidad tiene un amplio desarrollo a lo largo del borde del macizo cristalino y de muchas de las depresiones interiores. Se trata de una superficie con clara vergencia hacia los principales colectores de la red hidrográfica en cada zona: en las cuencas interiores aparece muy marcada esta tendencia hacia el centro de la misma donde suele aparecer el colector principal; en los bordes del macizo dicha tendencia la marcan los ríos de segundo y tercer orden (Alberche, Perales, Jarama, Guadalix, etc.), si bien en zonas concretas se puede ver alterada por la red hidrográfica local.

La media de alturas se sitúa en torno a los 750-700 metros, si bien la tendencia general es a ir disminuyendo la cota media de NE a SO, presentando cotas medias en torno a los 800-750 metros hacia el NE y de 700-650 hacia el SE.

Elementos propios: Dentro de este conjunto destacan los restos de superficie y los relieves residuales congénitos a la unidad. En cuanto a los restos de superficie, el máximo desarrollo se produce en las rampas, donde suelen presentarse en continuidad con el *pediment superior*, de la que les separa un pequeño escalón morfológico. En las depresiones interiores (San Martín de Valdeiglesias-Cebreros-El Tiemblo, Depresión del Alto Tiétar, Depresión de Manzanares el Real-Guadalix) esta unidad aparece bien definida, aunque su morfología está muy controlada por ciertos rasgos estructurales y a los procesos morfogenéticos debidos a la red fluvial.

Los relieves residuales son de tipo *inselberg* y fisonomía cónica y cómica fundamentalmente, presentando en ambos casos un *nick* muy marcado. Dentro de los *inselberg* cómicos destacan el conjunto desarrollado en torno al embalse de San Juan, entre los que se debe mencionar San Esteban, El Yelmo, Cerro del Almodón, los que se localizan al E de Cenicientos en la cabecera del arroyo de Tabalón, donde pueden encontrarse algunos de los mejores ejemplos de este tipo de formas del relieve. También en el entorno de *La Pedriza de Manzanares* están presentes morfologías de este tipo, es el caso de Peñalaguna, El Enebrillo, Las Cabezas, Cerro del Perro, Pela de las Gallinas, etc.

Junto a las formas cómicas y cónicas, existen otras lineales debidas a un contraste litológico importante; se encuentran elaborados a expensas de los diques, sobre todo de cuarzo. Ejemplo de este tipo de relieves es la alineación de la Serrejuela.

Elementos sobreimpuestos: Las formas sobreimpuestas son debidas a los encajamientos fluviales. En este caso adquieren un significado sobresaliente, sobre

todo en las depresiones interiores ya que pueden llegar a retocar la unidad de forma significativa y modificar su fisonomía general, la cual se ve claramente influenciada por la disposición de la red actual.

Como en el *pediment superior*, también aquí aparece un berrocal más o menos disperso asociado a zonas de alteración y arenización. Su posición en el contexto evolutivo es problemática ya que resulta difícil establecer si se debe a un proceso congénito con la unidad o posterior a ella; sí es cierto que a favor de esas zonas se desarrolla un conjunto de navas y depresiones semiendorreicas que llegan a alcanzar dimensiones considerables, como ocurre en la rampa de Navas del Rey- Colmenar de Arroyo-Chapinería, o en el fondo de la depresión de Robledo de Chavela. El máximo desarrollo, aparece en el entorno del embalse de Santillana; aquí constituye una asociación de navas que terminan por generar un surco en el mismo contacto *pediment-ladera* (Sanz Herraiz, C. 1988).

Edad y génesis: Como en el caso anterior, podemos considerar que se trata de un *pediment*, ajustándose a sus características a las que se han descrito anteriormente (ver unidad de *pediment superior*).

Debemos hacer hincapié en la similitud que tiene esta unidad con el *Pediment Superior*, ya que este último aporta alguna de las formas heredadas por la presente. Aunque existen zonas donde aparece una clara separación entre los dos *pediment* (superior e inferior), en otras no es tan patente, esto hace pensar que ambas unidades han tenido un origen común y con posterioridad fueron separadas por desnivelaciones tectónicas.

Correspondencia con otras nomenclaturas o asignaciones genéticas y temporales: Schwenzner (1937) refiere estos relieves como la planicie de meseta como M₁, nomenclatura seguida posteriormente por numerosos autores. Solé Sabarías (1952) y Birot y Solé Sabarís (1954) consideran un único nivel de piedemonte (*el piedemonte*) y si en zonas se encuentra escalonado lo atribuyen únicamente a la tectónica fini-terciaria. Pedraza (1978) la describe para la zona que nos ocupa como el resultado de una desnivelación tectónica del primitivo "*etchplain*" y su posterior modelado (degradación) en un ambiente más árido; idea seguida por autores posteriores como Garzón (1980), Centeno (1988), Sanz Santos(1987), etc.

Sanz Herraiz, C. (1988) refiere esta unidad como Superficie de Glacis II (GII) asignándola una edad Pliocena y describiéndola como resultado de la inestabilidad tectónica y una crisis morfoclimática importante.

III.2.1.5 Vertientes de sustitución del pediment inferior



Esquema III.6 Localización y distribución de alturas de las Vertientes de Sustitución del Pediment Inferior en el entorno de la Depresión de San Martín de Valdeiglesias.

Descripción: Aunque su extensión dentro de la zona es escasa, esta unidad tiene gran importancia tanto por su significado evolutivo (sirve para establecer el encajamiento de la red fluvial actual) como genético (es un proceso morfogenético reciente que persiste en la actualidad). Su morfología es la de un sistema de rellanos progresivos encajados y disectados por los canales fluviales de orden inferior. Presenta un marcado carácter de sustitución del *pediment inferior*, con el cual enlaza a través de un ligero escarpe de no más de una decena de metros.

Los replanos quedan claramente inclinados hacia el SE en su tendencia general y localmente hacia los cauces que la surcan. El principal desarrollo se encuentra en torno a los arroyos de Tabalón y Pedrillán, al sur del pueblo de Cebreros.

La cota media de la unidad se sitúa en torno a los 600 m, si bien en el área N llega a alcanzar los 650 m y hacia el contacto con la cuenca sedimentaria se sitúa en los 450 m.

Elementos propios: Los elementos constitutivos de la unidad son los replanos que se encuentran desarrollados como interfluvios de la red hidrográfica y que presentan una morfografía de glacis; junto a estas formas aparecen relieves residuales dómicos, en muchos casos en proceso de exhumación y asociados a la red fluvial.

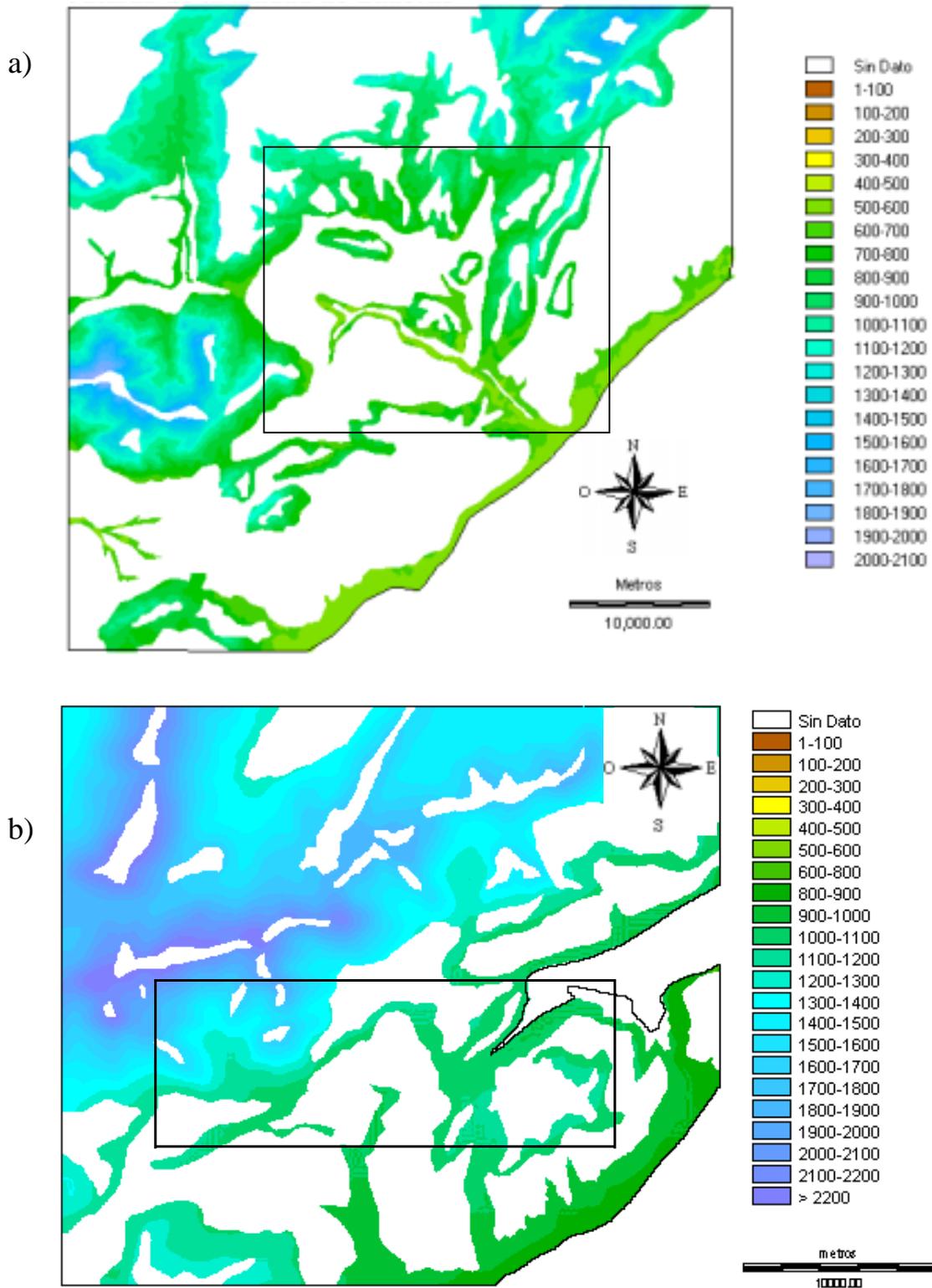
Elementos sobreimpuestos: Podemos considerar como elementos sobreimpuestos las incisiones generadas por los cauces actuales y el propio canal.

Génesis y edad: La unidad tiene un origen ligado al progresivo encajamiento y jerarquización de la red hidrográfica en la superficie de pediment inferior (Sanz Santos, 1987); no hay que descartar una posible influencia tectónica en su formación, debido fundamentalmente a su proximidad al contacto macizo-cuenca. La erosión, que inicialmente estaría poco definida, progresivamente se iría jerarquizando hasta la actual configuración, en la que es un elemento degradativo de las formas; esta erosión presenta una disposición aureolar en torno a los relieves de tipo *inselberg* dómico que, dada su fisonomía, dispersan la escorrentía hacia los bordes donde la relación roca-regolito hace que la diferencia de resistencia produzca el lavado y arrastre del material alterado.

Por su relación con la red hidrográfica actual, debe asignársele una edad cuaternaria (Sanz Santos *op. cit.*). Su mejor definición aparece en torno a los arroyos de Murales, Cantarrano y Tabalón en la zona que nos ocupa y que es donde la unidad tiene mayor desarrollo.

Correspondencia con otras nomenclaturas o asignaciones genéticas y temporales: Pedraza (1973, 1978) define en los materiales sedimentarios de la cuenca una serie de replanos denominó como *vertientes glacis*; posteriormente Sanz Santos (1987) describe este tipo de morfologías en el macizo y los cualifica en este contexto; también Centeno (1988) hace referencia a una serie de replanos o superficies de sustitución del *Pediment*.

III.3.2.6.- Laderas y escarpes



Esquema III.7 Localización y distribución de alturas de las laderas y escarpes: a) la Depresión de San Martín de Valdeiglesias, b) La Pedriza de Manzanares.

Descripción: Agrupamos aquí, tanto lo que se ha definido como unidad de laderas en otros trabajos (escarpes del frente montañoso) como los restantes escarpes de articulación. Hemos agrupado todas estas morfologías en una única unidad dado que, aun siendo fisonomías muy variadas, se trata de escarpes tectónicos posteriormente remodelados por los procesos geomorfológicos.

Los elementos considerados dentro de esta unidad son las porciones de terreno que quedan entre las diferentes superficies y sirven de enlace entre ellas. Se caracterizan por presentar pendientes variables, morfologías diversas (rectilíneas, cóncavas, convexas, cóncavo-convexas, etc.); todo el rango de alturas que aparecen en la zona.

Elementos propios: Son los escarpes de variada pendiente y desarrollo.

Elementos sobreimpuestos: Las formas sobreimpuestas son las debidas a los encajamientos fluviales y sus morfologías asociadas, así como las derivadas de los procesos gravitacionles y, en menor proporción en estas zonas, los periglaciares.

Génesis y edad: Es difícil de establecer una edad concreta, ya que son debidas a procesos diversos (poligénicos) y han sufrido constantes cambios y remodelaciones; podemos asignarles edades de desarrollo comprendidas entre el Paleógeno y el Plio-Pleistoceno. En cuanto a su génesis son elementos con un marcado carácter tectónico y en muchos pueden identificarse aún los escarpes de línea de falla.

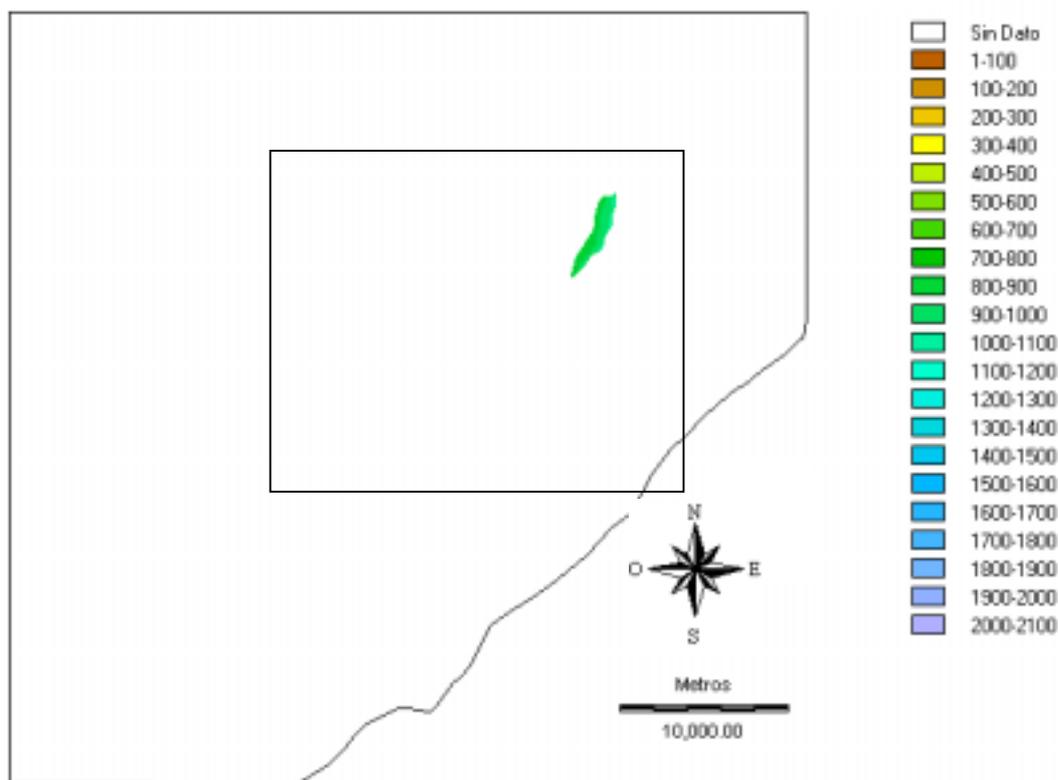
Correspondencia con otras nomenclaturas o asignaciones genéticas y temporales: Pedraza (1978), incluye estas morfologías por vez primera como una unidad geomorfológica de origen tectónico, sin embargo es Centeno (1988) quien realiza un intento de clasificación, separación y descripción detallada, llegando a diferenciar 8 tipos visibles, tal y como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro III.6 Topologías de laderas según Centeno (1988)

	FV	C	M ₁	M ₂	SI	M ₃
SC	8				3	1
M ₃		7			2	
SI				4		
M ₂		6		5		
M ₁						
C						

- 1.- Articulación entre superficie de cumbres y superficie de paramera: perfiles rectilíneos, se desarrolla sobre sustrato de material alterado con poco afloramiento de roca fresca. En la parte superior están presentes formas periglaciares y la tendencia rectilínea se ve modificada por la incisión de las cabeceras de los arroyos.
- 2.- Articulación de la superficie de paramera y la superficie intermedia: ladera de predominio de berrocales y relieves residuales de tipo inselberg dómico y lanchares. Se encuentra modificada por las cabeceras fluviales.
- 3.- Articulación de la superficie de cumbres y la superficie Intermedia: presenta características muy similares a las de tipo 2, si bien en las zonas superiores pueden presentar parecido a las de tipo 1.
- 4.- Articulación de la superficie intermedia y la superficie de *pediment*: existe un predominio del control tectónico y en la mayoría de los casos se ve desdibujada por la existencia de encajamientos fluviales. En el entorno de los relieves residuales de cumbre plana, en los que la culminación del relieve corresponde a la superficie intermedia, existe un berrocal que pasa paulatinamente hacia arenización según se asciende por la ladera.
- 5.- Articulación entre superficies de *pediment*: son vertientes muy variables en las que se encuentran muy marcados los procesos de desnivelación y de exhumación, pasando desde escarpes netos hasta enlaces casi insensibles entre niveles de *pediment*. Son importantes los berrocales y niveles de arenización.
- 6.- Articulación entre la campiña y el *pediment*: está muy controlado por los accidentes tectónicos entre el macizo cristalino y las cuencas sedimentarias, distinguiéndose escarpes netos, relieves con un control estructural importante como cuevas y graderíos debidos a conjuntos de fracturas que escalonan la ladera. Se ven claramente modificadas por la incisión fluvial.
- 7.- Articulación entre superficies no contiguas: este amplio grupo es la conjunción de las posibles combinaciones de los grupos anteriores.
- 8.- Vertientes de enlace con los fondos de valle: la red fluvial está muy controlada por la red de fracturas por lo que las vertientes corresponden en su mayoría a escarpes de línea de falla.

III.3.2.7 *Depresiones corredor*



Esquema III.8 Localización y distribución de alturas de las Depresiones-Corredor en Robledo de Chavela.

Descripción: Es una pequeña depresión situada al SO de la Población de Robledo de Chavela que presenta un recubrimiento superficial del regolito. La cota media de la unidad se sitúa en torno a los 900-850 metros, siendo en los bordes algo superior.

Morfologías similares aparecen en otros sectores del área analizada, pero sus dimensiones reducidas no han permitido su representación cartográfica. La separación como unidad autónoma se debe al significado morfoestructural que su génesis le confiere.

Elementos propios: Planicie de fondo de la depresión.

Elementos sobreimpuestos: Las formas derivadas de la actuación fluvial y las mixtas aluvial-coluvial, situadas estas últimas en los bordes de la unidad.

Génesis y edad: Son depresiones de carácter tectónico, originadas en los últimos estadios evolutivos de la reactivación; posiblemente durante el Pleistoceno inferior.

Correspondencia con otras nomenclaturas o asignaciones genéticas y temporales:

Pedraza (1978) y Garzón (1980) las describen como elementos sobreimpuestos a la Superficie inferior de Pediment; posteriormente Sanz Santos (1987) las diferencia como unidad independiente por su significado morfoestructural.

III.4.– Contribución del tratamiento morfométrico al análisis geomorfológico regional

III.4.1.– El tratamiento de la información morfográfica

Las directrices para el análisis morfométrico son las ya establecidas en el capítulo II y que debemos aplicar a las dos zonas elegidas para la validación. Como se ha visto a lo largo del trabajo, la *Depresión de San Martín de Valdeiglesias* y su entorno ha servido para poner en práctica el procedimiento, por lo cual los mapas derivados quedan ya reflejados en el trabajo y aparecen reunidos en el S.I.G. (Sistema de Información Geográfica) almacenado en el directorio SANMARTIN del CDRom.

Para la zona de la *Pedriza de Manzanares el Real* y su entorno, se seguirá el mismo esquema de obtención de datos derivados, si bien se hace aquí una pequeña descripción de los parámetros y límites de valores elegidos en la obtención de los mapas de grupos, unidades y elementos, que servirán posteriormente tanto para comparar, como para modificar la cartografía obtenida por técnicas tradicionales. Los mapas derivados del MDE para la zona de la Pedriza de Manzanares se encuentran reunidos en el sistema de información geográfica almacenado en el directorio Pedriza del CD-ROM.

Además, en el caso del MDE utilizado para La Pedriza de Manzanares no se ha procedido a un ajuste fino del mismo, dejando las irregularidades. Con esta acción se pretende probar la precisión de ajuste del modelo de análisis y precisar, de este modo, el grado en que afectan las pequeñas imperfecciones del modelo o los errores de cálculo al análisis posterior.

III.4.1.1.- *Los Grupos*

La primera subdivisión se obtiene del parámetro *pendiente* que, como se hizo en la *Depresión de San Martín de Valdeiglesias*, nos permite delimitar los grupos morfométricos básicos; dichos grupos se elaboraron sobre la base de la tabla II.7, que constituye un resumen general de las divisiones más comunes de los valores de pendiente.

Al igual que en el caso de la *Depresión de San Martín de Valdeiglesias*, se diferencian aquí tres grupos: el primero constituido por las pendientes bajas, cuyos valores están comprendidos entre 0° y 7° , y al que se denominará como *Grupo de Planicies y Vertientes*; el segundo está formado por las pendientes medias, con valores entre 7° y 15° , a los que se asignará la denominación de *Grupo de Enlace*; por último, los valores de pendiente superiores a 15° se engloba en el *Grupo de Relieves*.

El gráfico III.4 (Mapa de Conjuntos Morfométricos de la Pedriza y su entorno) muestra las tres divisiones establecidas como estándares en esta Tesis. Hay que resaltar en este caso la importancia que presenta el Grupo de Relieves, el cual destaca tanto en la Pedriza como en la cota media-alta del mega relieve del Cerro de San Pedro. El gráfico III.5 muestra la variación del gradiente de altura para cada uno de los grupos establecidos, la media de alturas es: para el *grupo de planicies y vertientes* de 1 metro, de 3 metros para el *grupo de enlaces* y para el *grupo de relieves* es de 7,5 metros.

III.4.1.2.- *Las Unidades*

El siguiente paso consiste en subdividir cada uno de los grupos en las unidades principales, en función de los parámetros morfométricos. La obtención de las unidades básicas de cada uno de los conjuntos antes obtenidos se realizará de forma similar a la de la zona de San Martín de Valdeiglesias. El orden de procesado que seguiremos es el siguiente:

- Grupo de planicies y vertientes.
- Grupo de Relieves
- Grupo de Enlaces

III.4.1.2.a.- Grupo de Planicies y Vertientes

El parámetro que nos permite realizar la primera división de unidades es la rugosidad (índice fractal), y consiste en el análisis del histograma de valores de esta variable (figura III. 12) para establecer los diferentes límites entre las unidades básicas. El Grupo de Planicies y Vertientes presenta una distribución de rugosidad comprendida entre los valores de 2,0000 y 2,1332, si bien el 99% del total del grupo queda englobado entre 2,0000 y 2,0046, que permite establecer las unidades básicas dentro del grupo.

Histograma del 99% de los valores de rugosidad

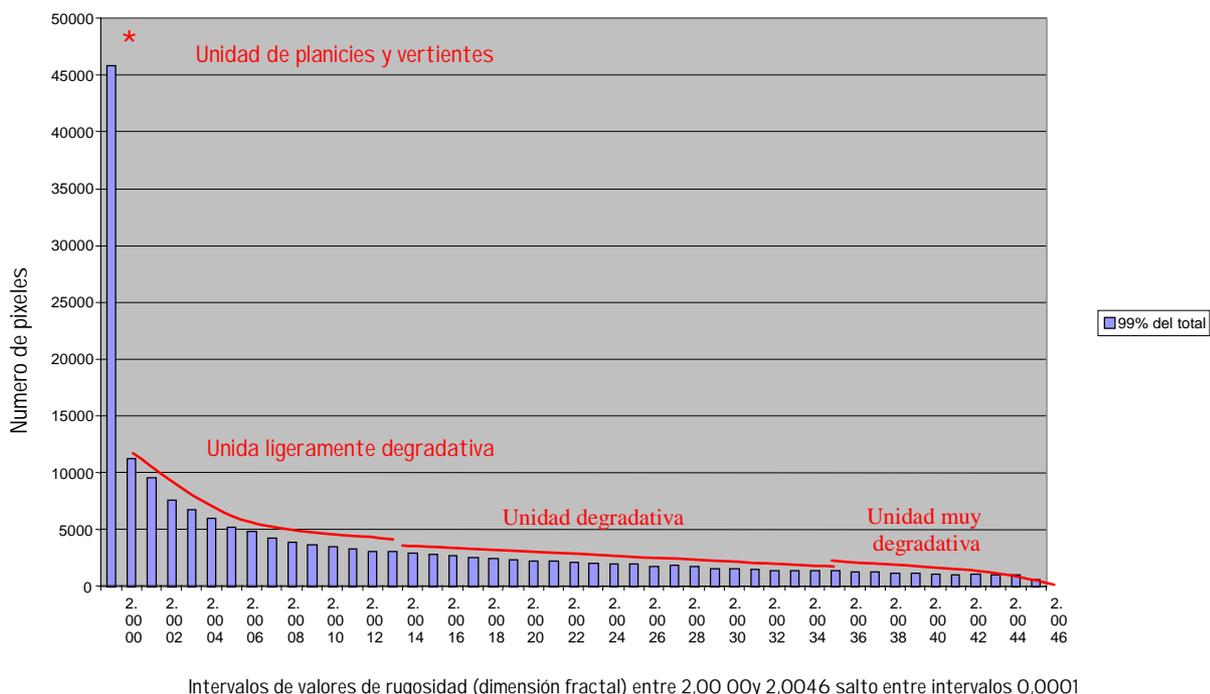


Figura III.12 Histograma de los valores de rugosidad para el grupo de planicies y vertientes de La Pedriza de Manzanares (Mapa militar de España E: 1:50.000, hojas 18-20 (508) y 19-20 (509), Cercedilla y Torrelaguna).

La primera división está dada por el valor de la *moda*, comprendido entre los valores de 2,0000 y 2,0001, que engloba el 25.8% del total de píxeles del grupo y que denominaremos **zonas llanas**. La siguiente división la situaremos entre los valores de 2,0001 y 2,0014 (correspondiente al valor de la media) que, junto con la anterior unidad seleccionada, albergan el 67% del total de la muestra; esta unidad la denominaremos como **zonas ligeramente degradativas** (entendiendo el término degradativo en relación con la pérdida de las características geométricas respecto a la unidad precedente). La siguiente unidad queda comprendida ente 2,0014 y 2,0035 (dos puntos más que el valor de la desviación típica) que alberga, junto con las otras unidades, el 90% del total de los píxeles del grupo; esta unidad la denominamos **zonas degradativas**, entendiendo el termino degradativo como se ha descrito previamente. El resto de píxeles del grupo quedan dentro de una última unidad que denominamos **zonas muy degradativas**.

Como puede observarse en los datos, el 67% del total de valores corresponde a las divisiones de zonas llanas y ligeramente degradadas, el resto no presentan una entidad muy homogénea y, en general, conforman las zonas de unión con el Grupo de Enlaces. Dentro del tratamiento de las unidades del grupo, se va a considerar ini-

Grupos morfométricos de La Pedriza y su entorno

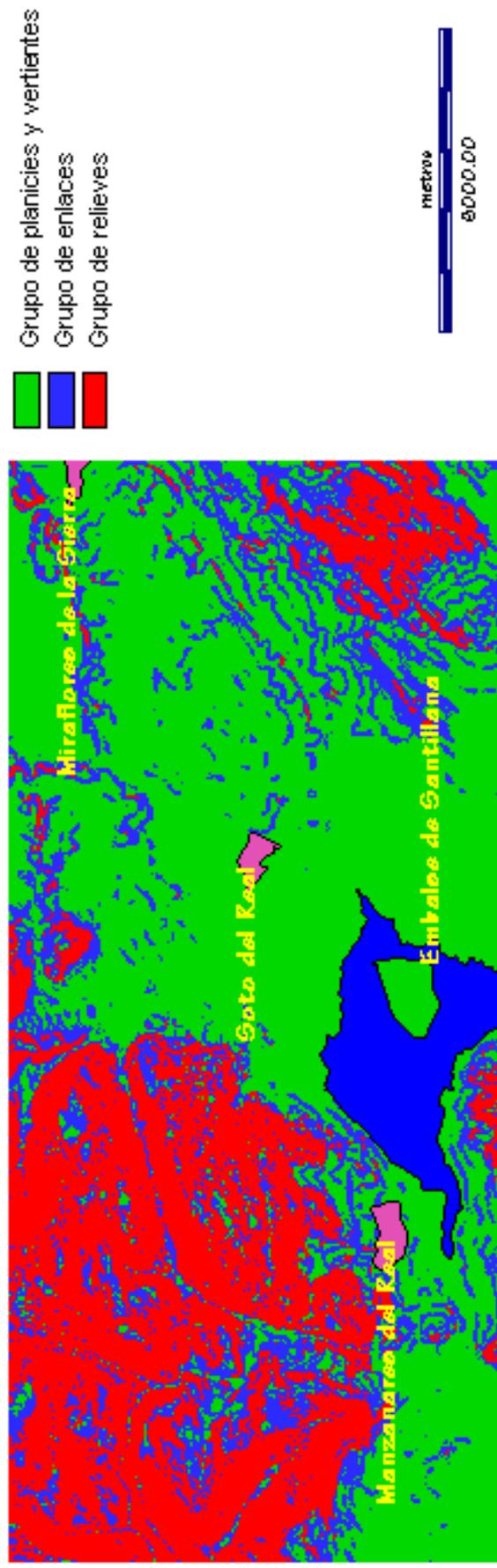
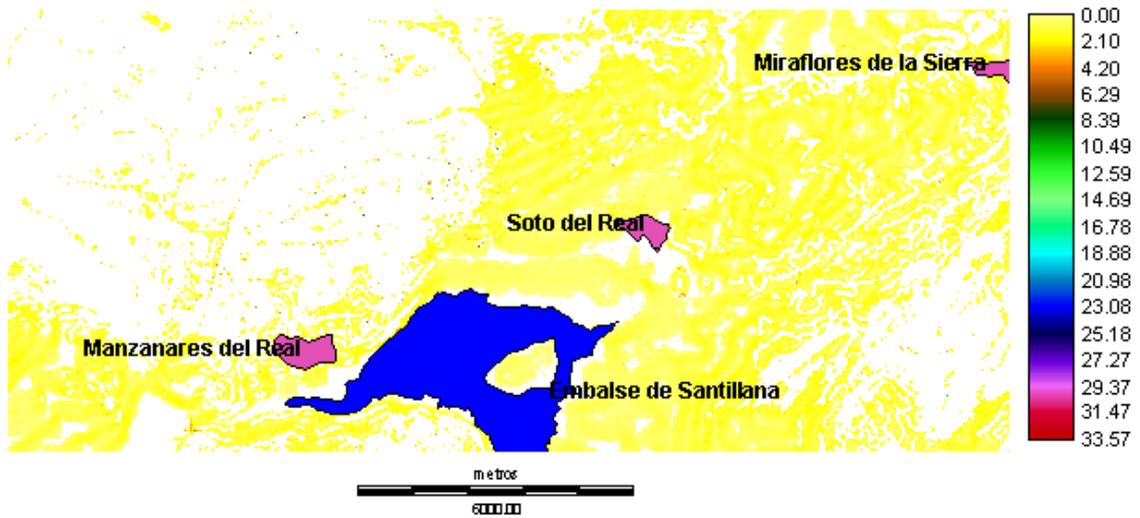
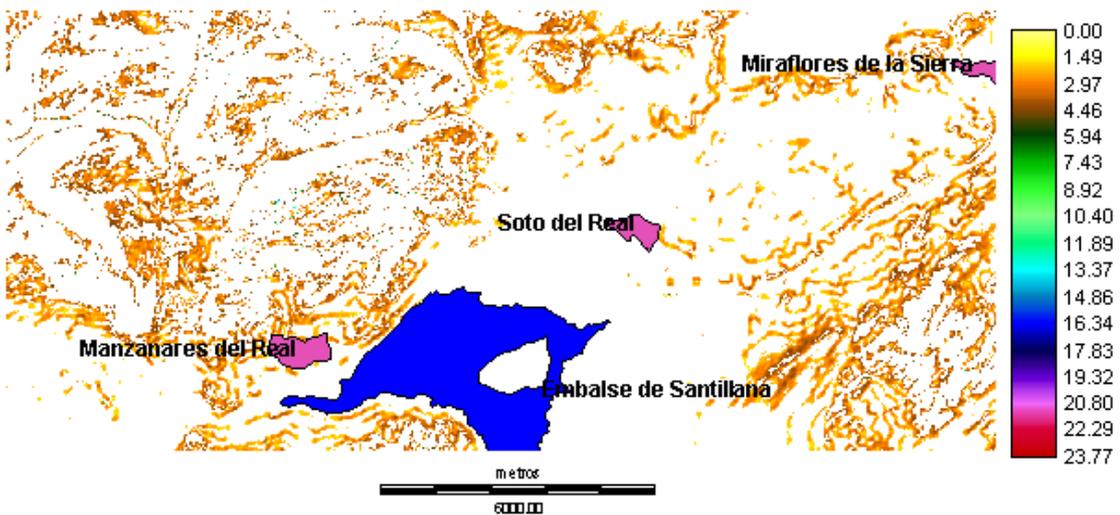


Gráfico III.4 Grupos principales de *La Pedriza de Manzanares* y su entorno (Mapa militar de España E: 1:50.000, hojas 18-20 (508) y 19-20 (509), Cercedilla y Torrelaguna).

Gradiente de altura del Grupo de Planicies y Vertientes



Gradiente de alturas del Grupo de Enlaces



Gradiente de alturas del Grupo de Relieves

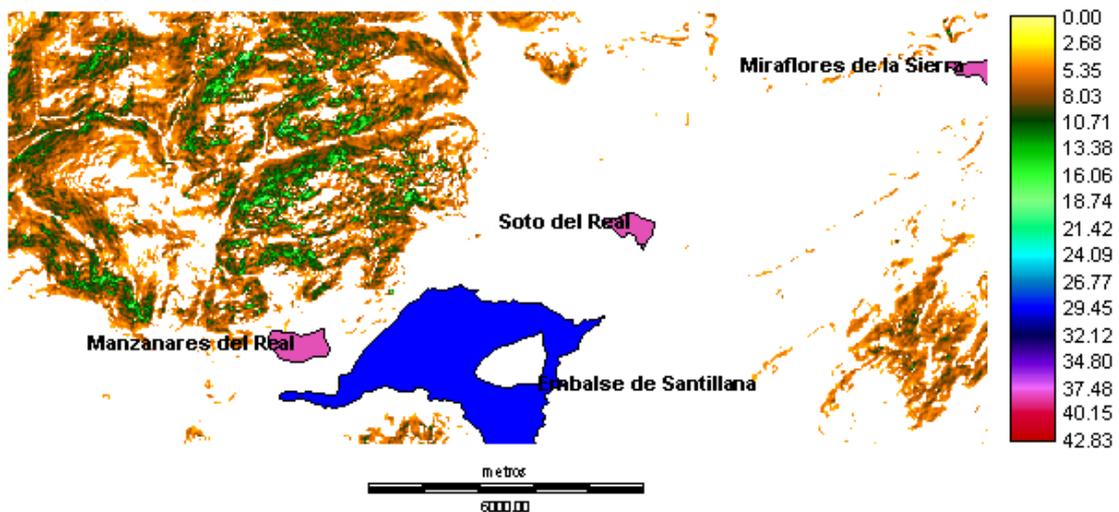


Gráfico III.5 Separación de los valores del gradiente de altura en función de los la *Grupos*. Las escalas de color de las leyendas no son iguales entre mapas ya que se ajustan en cada caso a los límites superiores e inferiores de los valores presentes en ellos (Mapa militar de España E: 1:50.000, hojas 18-20 (508) y 19-20 (509), Cercedilla y Torrelaguna).

cialmente en un único conjunto las dos primeras divisiones y mantendrán las dos segundas separadas las nomenclaturas de unidad degradada y unidad muy degradada.

La subdivisión principal se separará en tres unidades según su gradiente altitudinal, la separación de cada una de ellas se realiza en función de los parámetros estadísticos de la media (50% de los valores considerados), la media más dos veces la desviación típica (hasta el 95% del total), y el resto de los valores. Esta acotación de los valores permite separar lo que se podría considerar como terreno llano (**unidad llana**), del ligeramente ondulado (**unidad llana ligeramente degradada**) y del ondulado (**unidad ligeramente degradada**). El gráfico III.4 muestra el resultado final del proceso de tratamiento.

III.4.1.2.b.- Grupo de Relieves

Este grupo presenta una importante representación en el territorio ya que engloba la casi totalidad del conjunto paisajístico de La Pedriza de Manzanares y el mega-relieve del Cerro de San Pedro. Para la separación de unidades se ha utilizado el análisis de articulaciones con los límites de 25° entre progresivo-cambio y de 35° entre cambio-ruptura como primera aproximación; el parámetro rugosidad para este grupo se ha subdividido en los siguientes límites atendiendo a los parámetros estadísticos de la media (entre 2,0000 y 2,0536), la media más dos veces la desviación típica (95% de los datos – entre 2,0536 y 2,1098), y el resto de los valores que corresponden a rugosidades superiores a 2,1098.

La obtención final del mapa de unidades se ha realizado por una superposición de ambos mapas base (rugosidad reclasificada y articulaciones), ponderando de igual forma los dos; el mapa resultado (gráfico III.5) presenta las siguiente unidades:

- Laderas homogéneas: son laderas que se consideran rectilíneas y de poca pendiente dentro del grupo. Corresponden a las combinaciones entre los valores de rugosidad y articulaciones siguientes:
 - ◊ Laderas homogéneas y progresivo puro.
 - ◊ Laderas homogéneas y progresivo-cambiante.
 - ◊ Laderas rugosas y progresivo puro.

- Laderas ligeramente rugosas: son similares a las anteriores pero constituyen el paso a los relieves principales del territorio. Las combinaciones entre los parámetros considerados son las siguientes:
 - ◇ Laderas homogéneas y progresivo-ruptura.
 - ◇ Laderas muy rugosas y progresivo puro.
 - ◇ Laderas homogéneas y cambiante puro.
 - ◇ Laderas rugosas y progresivo-cambiante.

- Laderas rugosas: son laderas en las que los procesos asociados a este tipo de formas comienzan a ser visibles. Sus valores son la conjunción de:
 - ◇ Laderas rugosas y progresivo-ruptura.
 - ◇ Laderas muy rugosas y progresivo-cambiante.
 - ◇ Laderas rugosas y cambiante puro.

- Laderas inestables: en ellas los procesos de laderas son patentes y tanto la rugosidad como la pendiente son importantes. Sus valores se corresponden con :
 - ◇ Laderas muy rugosas y progresivo-ruptura.
 - ◇ Laderas rugosas y cambiante-ruptura.

- Laderas muy inestables: corresponden a los valores más altos tanto de pendiente como de rugosidad y engloban las áreas más escarpadas del relieve. La combinación de parámetros es la siguiente:
 - ◇ Laderas muy rugosas y cambiante puro.
 - ◇ Laderas muy rugosas y cambiante-ruptura.
 - ◇ Laderas muy rugosas y ruptura pura.

III.4.1.2.c.- Grupo de enlaces

La representación de este grupo dentro del territorio es muy heterogénea y, en general, se encuentra muy repartida en pequeñas porciones, lo que permite realizar una separación en muchas unidades. La forma de actuar será similar a la utilizada en la *Depresión de San Martín de Valdeiglesias*, por lo que separaremos la población de valores en dos unidades en función de los valores del gradiente y el estadístico 'media' de este parámetro. Los histogramas (figura III.13) son muy parecidos a

Unidades del Grupo de Llanuras y Vertientes

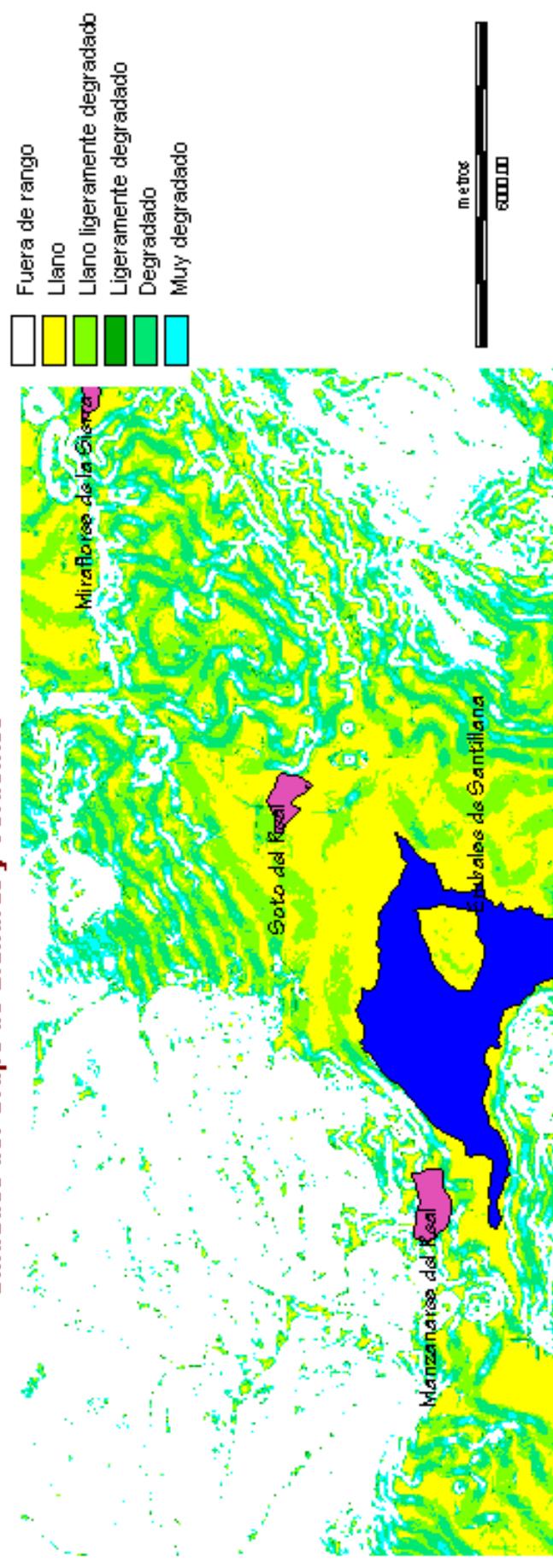


Grafico III.6 Separación de las diferentes unidades del grupo de planicies y vertientes (Mapa militar de España E: 1:50.000, hojas 18-20 (508) y 19-20 (509), Cercedilla y Torrelaguna).

Mapa de unidades del Grupo de Relieves



Grafico III.7 Unidades morfométricas del grupo de relieves (Mapa militar de España E: 1:50.000, hojas 18-20 (508) y 19-20 (509), Cercedilla y Torrelaguna).

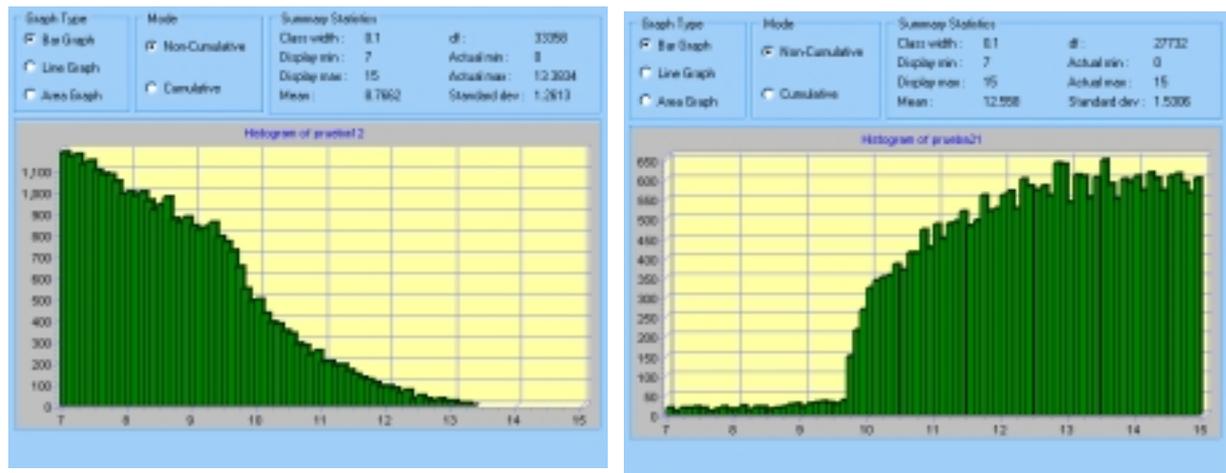


Figura III.13 Distribución de los valores de la pendiente en la unidad de enlaces para *La Pedriza de Manzanares*.

los obtenidos en la zona de la *Depresión de San Martín de Valdeiglesias*, los valores de la unidad de enlaces suaves tiene una media en torno a los 8,7°, acumulando la mayor cantidad de pendientes bajas del grupo, mientras que los enlaces fuertes son de 12,5° acumulando la mayoría de las pendientes altas.

El gráfico III.6 muestra la distribución de las dos unidades obtenidas para el Grupo de Enlaces. La superposición de los mapas de unidades morfométricas en un único mapa lo presenta el gráfico III.7 .

III.4.1.3.- *Los elementos*

A diferencia del procedimiento seguido en la zona de la *Depresión de San Martín de Valdeiglesias*, en la que se trabajó con una definición de píxel de 50*50 metros que permitía un patrón máximo de 122.500 m², la definición que tenemos en el modelo de la Pedriza de Manzanares y su entorno es de 25*25 metros en cada píxel, por lo que la definición máxima del patrón es menor de 30.625 m².

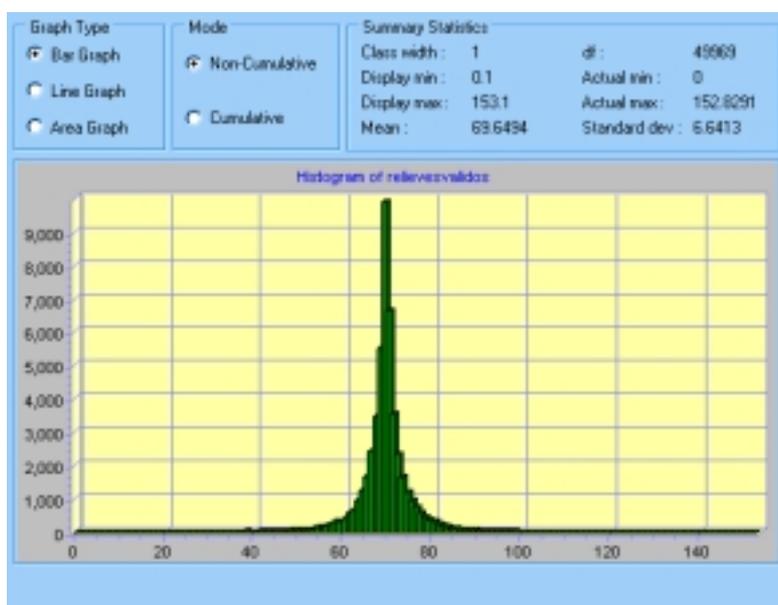
La primera de las consecuencias de este drástico aumento de definición en el MDE es la pérdida de análisis de formas mayores (relieves residuales tipo inselberg cónicos, dómicos mayores, etc.), por lo que las formas definidas para el mapa geomorfológico general no pueden ser comprobadas en el análisis del MDE. El gráfico III.8 muestra el resultado de la aplicación de la metodología expuesta en la *Depresión San Martín de Valdeiglesias*, para el análisis de cinco tipologías singulares de la Pedriza de Manzanares y su entorno; las formas de relieve seleccionadas son: El Yelmo, Las Torres, La Carrascosa, la terminación del Cerro de San Pedro y Hormigales. En esta selección solamente se puede utilizar la culminación de la forma; como se

puede apreciar, la definición obtenida no se compagina con las formas representadas en la cartografía tradicional y dista mucho de los resultados del análisis de ámbito regional.

En este caso se han rebajado los límites de búsqueda seleccionados para los patrones; mientras que en la zona de la *Depresión de San Martín de Valdeiglesias* se consideraron similitudes entre el patrón y el pixelado del MDE del 60% al 80%, en esta segunda área de estudio hemos utilizado similitudes entre el 55% y el 75%. Al igual que en la primera zona, la separación entre los píxeles que podríamos considerar como pertenecientes a un relieve y los que deberíamos excluir, se han basado en el parámetro curvatura.

Una solución en este caso puede ser buscar patrones geométricos independientes de la forma real del relieve y con diferentes grados de aproximación; algo similar a lo que se hacía para extraer las zonas de incisión lineal en la *Depresión San Martín de Valdeiglesias*. Los patrones seleccionados abarcan una amplia gama de geometrías, que pueden verse en el apéndice b, y cuyo resultado de superposición es el que muestra el gráfico III.9. El procedimiento seguido es similar al utilizado en los anteriores casos, y la figura III.14 muestra la distribución de curvaturas del conjunto de formas geométricas seleccionado; se han elegido los valores comprendidos a ambos lados de la media \pm la mitad de la desviación típica, es decir, entre 0.1 y 66.33 por un lado, 72.97 y 153.1 por otro.

El último paso, que tanto en el tratamiento como en la selección de áreas sigue la misma técnica ya descrita, corresponde a las zonas donde existe una mayor posibilidad de concentración de fluidos y por tanto donde la erosión concentrada puede llegar a ser más importante. El gráfico III.10 muestra el resultado del análisis.



Resta por último superponer toda la información en una única composición (gráfico III.11) y comparar el resultado con la cartografía realizada de forma tradicional para extraer las aportaciones de una y otra.

Figura III.14 Distribución de los valores de curvatura de la fisonomías seleccionadas

Mapa de Unidades de Grupo de Enlaces

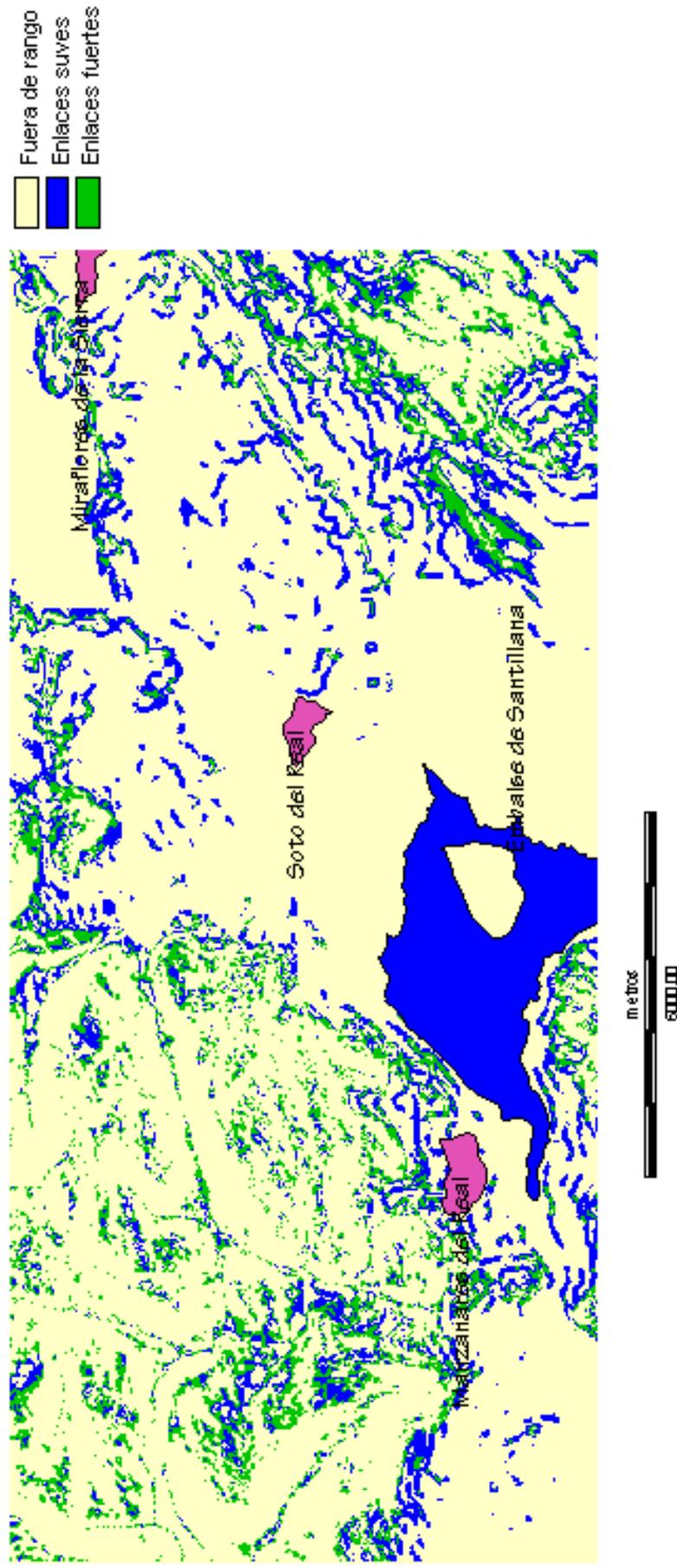
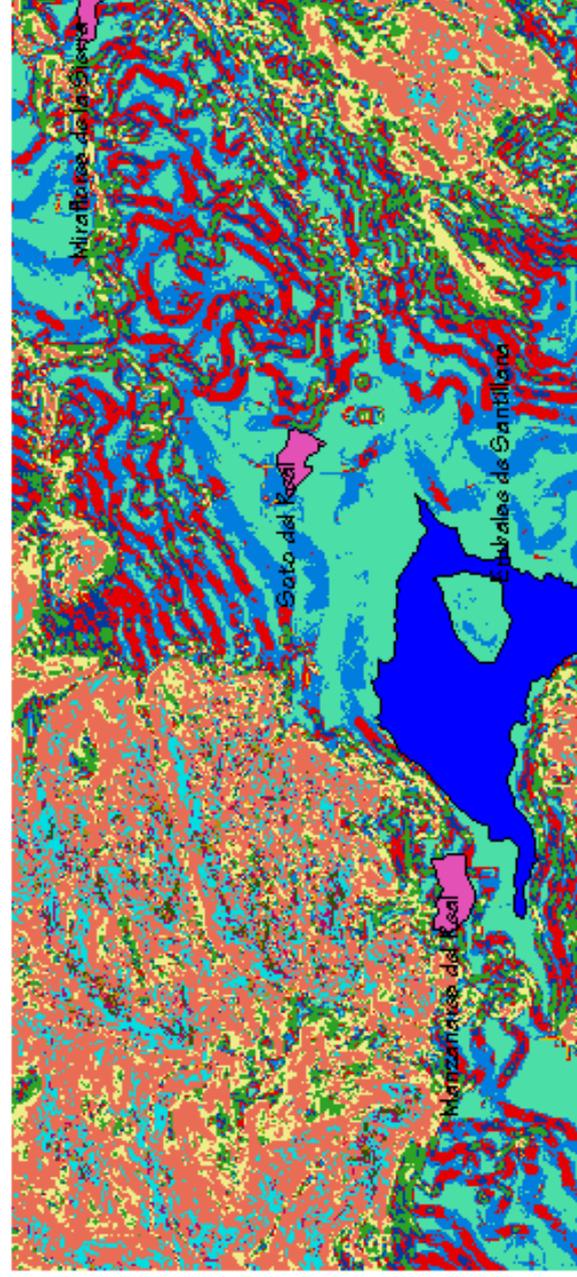


Grafico III.8 Separación de las diferentes unidades del grupo de enlaces para la zona de *La Pedriza de Manzanares* (Mapa militar de España E: 1:50.000, hojas 18-20 (508) y 19-20 (509), Cercedilla y Torrelaguna).

Unidades morfométricas



- Grupo llanuras y vertientes - Llano
- Llano ligeramente degradado
- Ligeramente degradado
- Degradado
- Muy degradado
- Grupo enlaces - Enlaces suaves
- Enlaces fuertes
- Grupo relieves - Laderas homogéneas
- Laderas ligeramente rugosas
- Laderas rugosas
- Laderas inestables
- Laderas muy inestables



Grafico II.9 Superposición del las unidades morfométricas de los diferentes grupos (Mapa militar de España E: 1:50.000, hojas 18-20 (508) y 19-20 (509), Cercedilla y Torrelaguna).

Mapa de relieves singulares

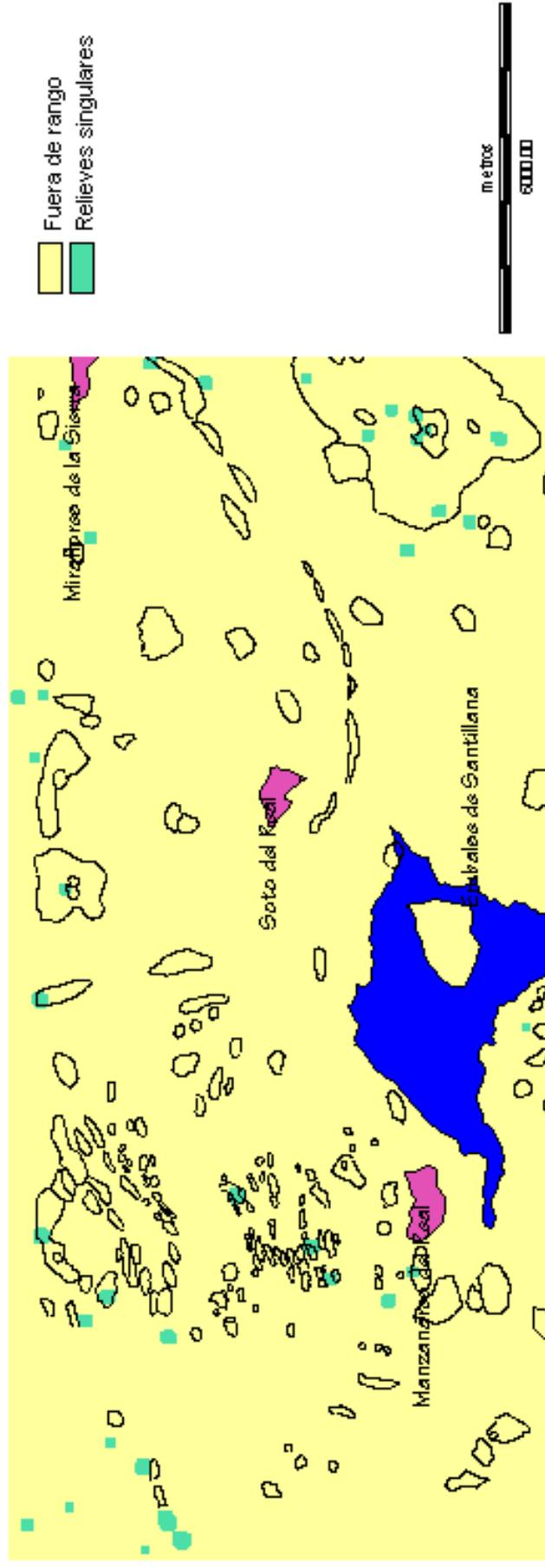


Grafico III.10 Comparación entre los relieves cartografiados de forma tradicional y los relieves singulares obtenidos por tratamiento digital (Mapa militar de España E: 1:50.000, hojas 18-20 (508) y 19-20 (509), Cercedilla y Torrelaguna).

Mapa de formas geométricas características

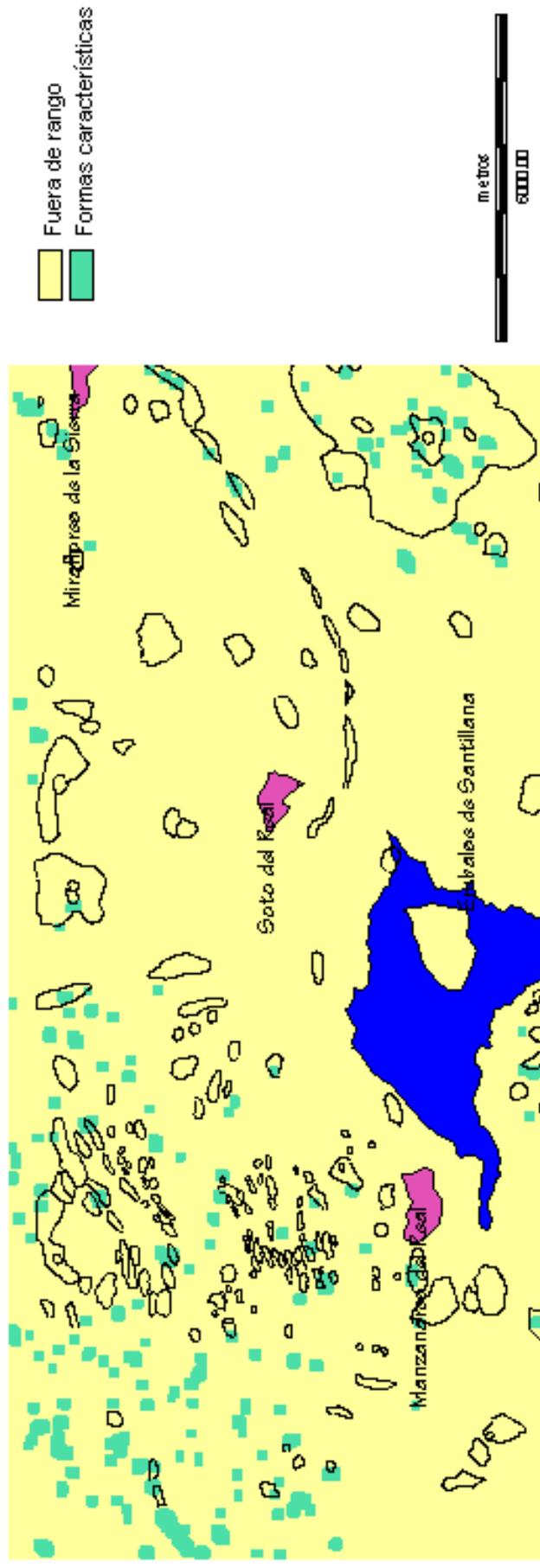


Grafico III.11 Comparación entre los relieves cartografiados de forma tradicional y las los geometrías características obtenidos por tratamiento digital (Mapa militar de España E: 1:50.000, hojas 18-20 (508) y 19-20 (509), Cercedilla y Torrelaguna).

Mapa de zonas de concentración de aguas e incisión en cauces fluviales

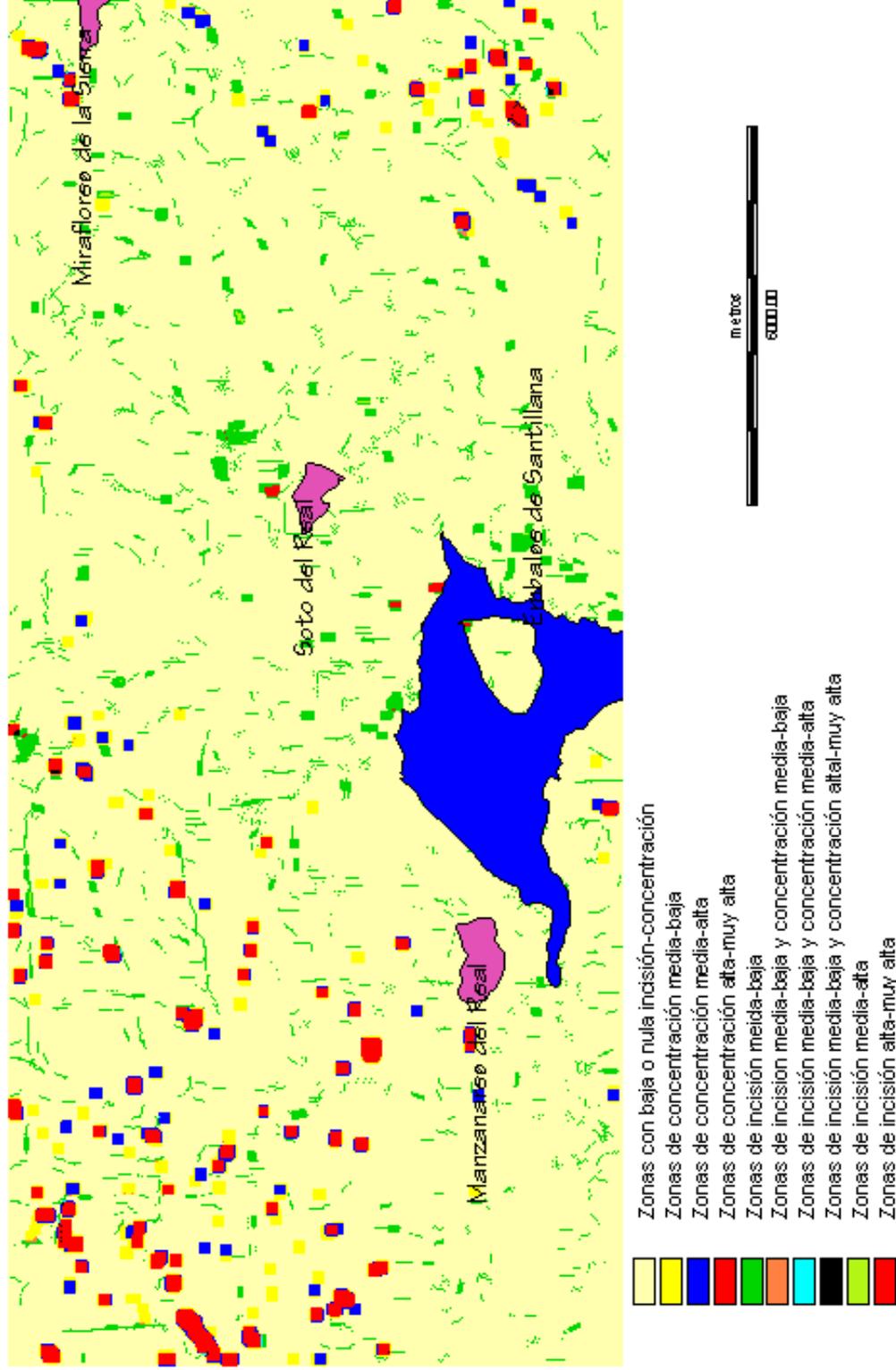


Gráfico III.12 Zonas más importantes de concentración-dispersión de fluidos y zonas de incisión de la red hidrográfica (Mapa militar de España E: 1:50.000, hojas 18-20 (508) y 19-20 (509), Ceredilla y Torrelaguna).

Unidades morfométricas

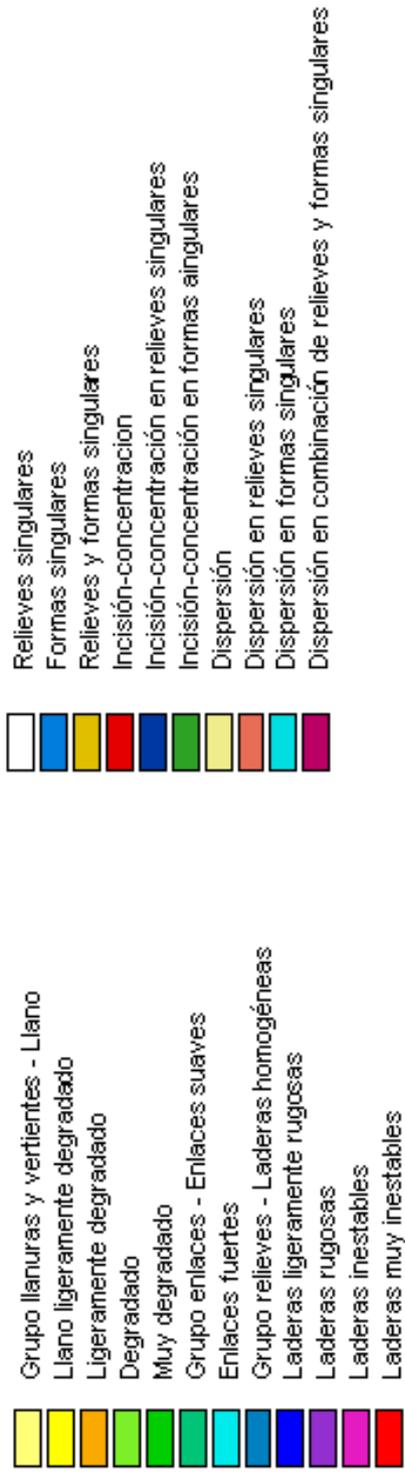
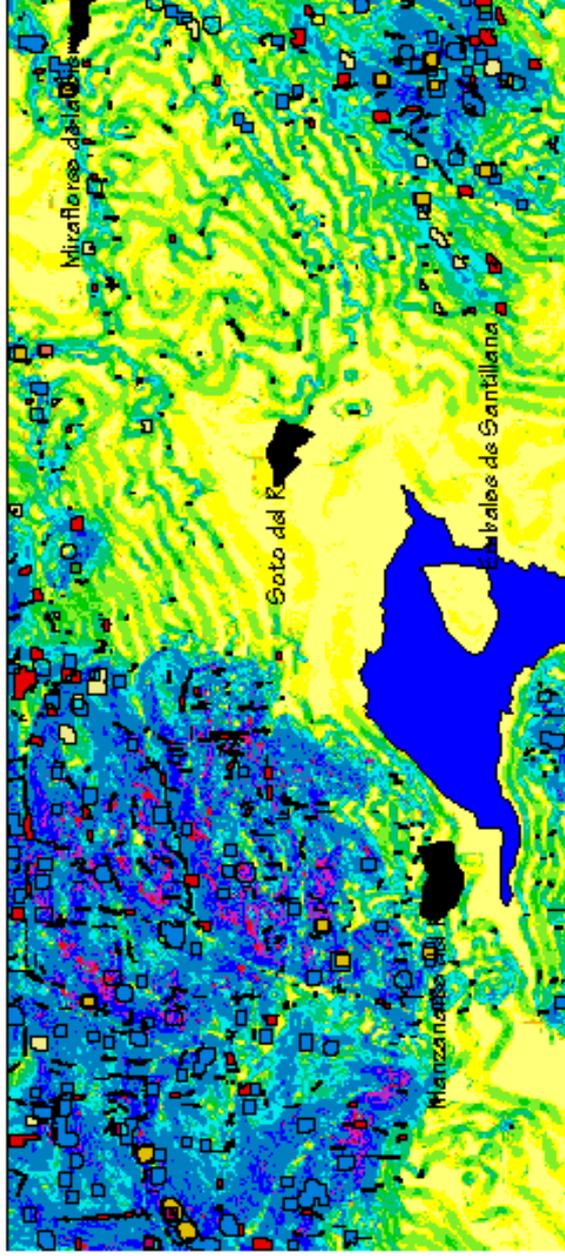


Grafico III.13 Superposición de *grupos, unidades y elementos* para la zona de *La Pedriza de Manzanares* y su entorno (Mapa militar de España E: 1:50.000, hojas 18-20 (508) y 19-20 (509), Cercedilla y Torrelaguna).

III.4.2.– Precisiones teóricas y cartográficas al análisis geomorfológico derivadas del tratamiento morfométrico

III.4.2.1.– *Respecto a las superficies*

Uno de los casos más sobresalientes en el análisis morfográfico es lo que hemos denominado *conjunto morfométrico de planicies y vertientes*, cuya diferenciación ha estado clara desde un principio; la unión con la cartografía geomorfológica ha servido para dar más precisión a los límites y ajustar las zonas de transición entre unidades más o menos cercanas. En determinadas zonas se han identificado pequeños retazos de planicie, lo que permite precisar los límites de la unidad y, también, asegurar que una porción del territorio cumple condiciones de rugosidad, altimetría y pendiente como para ser considerada parte de una superficie específica; es el caso de las *vertientes de sustitución del pediment inferior* y de la nueva unidad situada entre las *parameras* y el *pediment superior* que ya había sido hipotéticamente considerada como los restos de la primitiva *superficie de sabana o etchplain*.

En lo referente a los *pediments*, quedan claramente diferenciados en el análisis morfométrico, coincidiendo en gran medida con la cartografía geomorfológica obtenida por los métodos tradicionales; ésta ha sido retocada, sobre todo en sus límites, para optimizar los bordes con las laderas de transición a elementos altitudinalmente inferiores.

Esta mayor precisión en la cartografía de los límites correspondientes a los *pediments*, nos ha permitido identificar la unidad *vertientes de sustitución del pediment inferior* en el valle del arroyo de la Avellaneda y en el entorno del embalse de Picadas; en ningún caso se habían cartografiada previamente. En el valle del arroyo Avellaneda la superficie en parte está cubierta por el conjunto de depósitos fluviales que este arroyo ha generado en su recorrido por la depresión de San Martín de Valdeiglesias-El Tiemblo-Cebreros; en el entorno de embalse de las Picadas la superficie aparece en el borde del macizo, dando paso a la unidad de *vertientes glaciais*. Otros pequeños retazos se localizan cercanos a los encajamientos actuales de la red fluvial, destacando como significativo los del arroyo Soncillo en las proximidades de su confluencia con el río Cofio; en estos casos se corresponden con pequeños replanos en torno al cauce.

La fisonomía de esta nueva unidad aquí detectada, es la de una superficie de tipo glaciais erosivo, muy ligeramente inclinada y orientada hacia los cauces fluviales actuales más próximos; su génesis está asociada a la dinámica de encajamiento y la

evolución de las vertientes según un modelo de “erosión lateral “ definido por W. Penck (1924) y en el que el material erosionado es un regolito granítico (figura III.15).



Figura III.15 Modelo evolutivo de las pendientes según W. Penck (extraído de Rice – 1983)

Otra aportación significativa resultante de estos análisis, es la separación de la rampa de Chapinería-Navas del Rey-Colmenar de Arroyo en dos superficies correspondientes a ambos pediment: morfológicamente se ha podido determinar entre ambas unos relieves de transición a los que hemos denominado *pediment superior degradado*; éste conforma en su conjunto una superficie de tipo glacis de mayor pendiente que los dos *pediment* y establece un tránsito progresivo entre ambos .

Este tipo de formas también son identificadas entre el *pediment inferior* y las *vertientes de sustitución*, así como en la mayoría de los bordes del *pediment* en los valles fluviales. En este caso el elemento lo hemos denominado *pediment inferior degradado* y, al igual que en el caso anterior, globalmente corresponde a un glacis de unión entre ambas unidades.

La utilidad de los análisis morfométricos para precisar la geomorfología de un territorio, queda también patente en la *superficie de paramera*. Al igual que en el caso de los *pediments*, se ha separado lo que es la superficie en sí de lo que se estima como zona de degradación.

Junto a la *superficie de paramera* hay toda una serie de relieves residuales que tradicionalmente se asociaron con ella; se definen como restos de la misma, que la erosión o la tectónica ha dejado separados. Morfométricamente se detectan ciertas homogeneidades entre todos ellos y sustanciales diferencias con la superficie antes citada. Esto hace que reafirmemos aquí su carácter de unidad independiente o “superficie intermedia”, confirmando las hipótesis manifiestas en otros trabajos que, incluso, llegan a denominarla “superficie de sabana” (Pedraza 1978, Sanz Santos 1987, Centeno 1988) .

Desde el punto de vista morfográfico, esta “superficie intermedia” es en realidad un conjunto de retazos de planicie muy degradados, culminaciones de cerros de cumbre plana y, divisorias de algunas alineaciones orográficas secundarias. En estas divisorias es frecuente encontrar relieves residuales de tipo *cónico* y *dómicos*; los primeros son claramente asociables a la unidad, los segundos son más conflictivos, ya que por sus dimensiones y situaciones pueden explicarse mediante procesos de exhumación reciente. Muchos de estos relieves *dómico* son formas menores integradas en relieves mayores.

III.4.2.2.- *Respecto a los relieves residuales*

A falta de criterios determinantes (esencialmente restos de formaciones superficiales datables e inequívocamente asociados a las morfologías concretas que se desean estudiar), los relieves residuales han sido una de las referencias aproximativas para concretar las tipologías genéticas de los restos de superficies de erosión presentes en el Sistema Central.

Un **relieve residual** es cualquier morfología que destaca sobre un entorno más o menos plano y que se ha generado mediante un proceso de denudación o “erosión”; dadas esas circunstancias, puede ser **testigo** de la configuración inicial de los relieves y del tipo de procesos que elaboraron la planicie.

Este tipo de morfologías son abundantes en todo el Macizo Hespérico, y la primera vez que se utilizaron con una connotación genética diferencial fue en el borde oriental del Sistema Central. En este sentido, Birot (1937) establece una clara separación entre las planicies superiores del Sistema Central, que a su entender “no comportan relieves residuales”, y las de piedemonte que están repletas de *inselberg* denunciando una génesis en ambiente semiárido y mediante un proceso de pedimentación.

Este planeamiento se mantuvo durante varios años (Solé Sabarís, 1952; Birot y Solé Sabarís, 1954; Pedraza, 1973) hasta que se formularon las hipótesis de pedimentación de sabana, *etchplanacion* y similares (Vaudour, 1977; Gutierrez Elorza y Rodríguez Vidal, 1978; Pedraza, 1978). Siguiendo esta nueva interpretación y retomando las ideas de Birot (*op. cit.*), Pedraza (1978) considera varias generaciones de relieves residuales coetáneos con la reactivación del Sistema Central. En principio destaca dos básicas: los relieves tipo “*monadnock*” coetáneos con la generación de la penillanura poligénica generatriz, que actualmente define las planicies superiores (Cumbres y Parameras o M₃); y los relieves tipo “*inselberg*” coetáneos con la genera-

ción de una planicie de sabana o “*etchplain*” que tras ser reelaborada ocupa los actuales piedemontes.

En lo referente a los *monadnock* no se han planteado demasiadas polémicas, si bien hoy se acepta que su génesis es más compleja a la que propusiera su introductor Davis (1899); analizando estos relieves en los Apalaches (el nombre procede de una colina, el monte Monadnock, en New Hampshire), Davis (*op cit.*) propuso para ellos una génesis asociada a las “**penillanuras**” elaboradas en un sistema morfogénico “**normal**”, es decir, húmedo-templado y con predominio de las acciones fluviales de redes jerarquizadas.

Los *inselberg* presentan mayor problemática; su introductor fue el geólogo alemán Bornhardt (1900) y utilizó esta denominación (cuya traducción del alemán es “monte isla”) para denominar los relieves residuales que destacaban sobre las grandes llanuras elaboradas en rocas cristalinas de las regiones semidesérticas del S del continente africano. En un principio no les dio otra connotación que la fisiográfica, “colina aislada o monte isla “. Con los años se complicó este tema: primero se observó que en algunas zonas dichos relieves eran predominantemente “dómicos”, y pasó a hacerse equivalente “*inselberg*” y “relieve dómico”; luego se constató que los *inselbergs*, dómicos o no, aparecían preferentemente en regiones más húmedas aunque, en todo caso, cálidas, lo que dio paso a una hipótesis genética “bioclimática” o de sabana. A este respecto, y por lo que hemos de considerar aquí, deben precisarse algunas cuestiones:

A.– Una forma *dómica* es un caso particular de relieve que se asocia fundamentalmente a una litología o a una estructura, sin ser necesariamente un *inselberg*; la fisonomía dómica no tiene porqué determinar la morfología del conjunto (es solo parte de ella), ni establece un sistema morfogénico peculiar (aunque los relieves litológicos sean abundantes en la sabana).

B.– Aceptando las precisiones que propusieron denominar a las formas *dómicas litológicas* (básicamente los domos graníticos) “*bornhardt*” en honor al introductor del término “*inselberg*”, estos últimos se asociaron a cualquier tipo de fisonomía pero siempre “residual y contrastada” con la llanura que los soporta destacando sobre ella a modo de *isla*; en este sentido, denuncian una génesis concreta y asociada a los ambientes de sabana.

C.– Tal como lo precisara Davis (1899), los relieves residuales pueden ser de resistencia y de posición: los primeros se deben a contrastes entre la “erodabilidad” de la roca, los segundos a la dificultad que tienen los agentes del

modelado para actuar sobre ellos. En el caso de los “*monadnock*” son frecuentes ambas situaciones, en los “*inselberg*” predomina la primera.

D.– Un caso particular de los relieves residuales es el denominado “cerro testigo”, que permite establecer el relieve original del que procede; en principio, cualquier relieve residual puede ser un cerro testigo, pero no necesariamente.

E.– La morfología propia y peculiar de un relieve residual puede ser cualquiera: cómica, troncocónica, en meseta, irregular, acastillada, etc. Estos son rasgos fisonómicos de detalle que pueden deberse a factores genéticos diversos e incluso a convergencias morfológicas sin un indicador genético preciso.

F.– La morfología general y asociada, la del relieve residual respecto a su entorno, sí es indicadora de unos procesos que pueden ser útiles para explicar la evolución del relieve.

G.– Otro rasgo importante a considerar, que en cierto modo ya se ha citado al presentar las formas cómicas como posibles fisonomías de detalle, es la dimensión de los relieves residuales; hemos de tener presente al hacer cualquier interpretación si nos referimos a “grandes relieves” (casi con categoría de unidades geomorfológicas) o a “relieves de detalle” (elementos geomorfológicos que gozan de mayor autonomía). Es evidente que los datos interpretativos que podemos extraer en ambos casos son muy diferentes.

A este respecto, conviene precisar:

1º) Que *Inselberg* y *Monadnock* aparecen como “formas mayores” o grandes relieves residuales.

2º) Que los relieves cómicos pueden aparecer como formas aisladas pero, en general, son fisonomías de detalle contenidas en formas mayores.

Establecidas estas premisas y en lo referente al significado evolutivo de los *inselberg* de esta zona que nos ocupa, los autores que han trabajado en esta área del Sistema Central (Pedraza, 1978; Sanz Santos, 1987; Centeno, 1988) coinciden en apreciar tres rasgos esenciales:

A.– La notable profusión de *inselberg* que culminan en una exigua planicie equiparable entre todos ellos.

B.– La presencia de varias rupturas o contrastes morfográficos que evidencian varias etapas evolutivas.

C.– La existencia de relieve que se han asignado a la planicie de paramera y, sin embargo, se separan de ella en múltiples rasgos definiendo lo que podría ser otra unidad.

Partiendo de todo ello comenzo a manejarse la hipótesis según la cual estos relieves pueden ser considerados como los “indicadores o signos” de la antigua “superficie de sabana o *etchplain*” degradada después durante el proceso de “pedimentación semi-árida”; bien entendido que no representan en sí mismo la planicie, sino el conjunto de los inselberg que la caracterizan.

Muchas de estas ideas se han basado en las características fisonómicas de los relieves residuales, por ello es importante el concurso de la morfografía y nuestro objeto de análisis.

a) Relieves residuales mayores tipo Monadnock (figura III.16 y 17)

Al estar escasamente representada en la zona los restos de la *planicie de penillanura*, los *monadnock* no son abundantes. Se localizan en las terminaciones de las parameras, al N y NO de la población de Cebreros y al S del Tiemblo. Los relieves mejor conservados son los de Merina y el conjunto de Llanos del Robledal; los cerros de Guisando, Huerto de Estroza, Palincao, Cerro Pedriza y Enebro, presentan unas fisionomías muy retocadas al situarse en una cuerda culminante y quedar como contrafuerte muy modificados por la acción erosiva actual y reciente.

Sus cotas están comprendidas entre los 1220 y 1320 m y, salvo las situadas al sur de El Tiemblo, el resto tienen perímetros en base que varían entre 5 y 3.5 km y una elevación sobre la superficie que oscila entre los 20 y 40 metros. Anotemos que esos son valores promedio, ya que relieves como San Benito, Santa Catalina, Merina, El Garbanzal, Llanada, etc., presentan elevaciones superiores a los 100 metros.

En lo referente a su fisonomía, se diferencian dos grupos de formas según su culminación.

- Cumbre redondeada: con laderas cóncavo convexas y desarrollados sobre litologías variadas (granitoides y rocas metamórficas). En general se trata de relieves de posición.

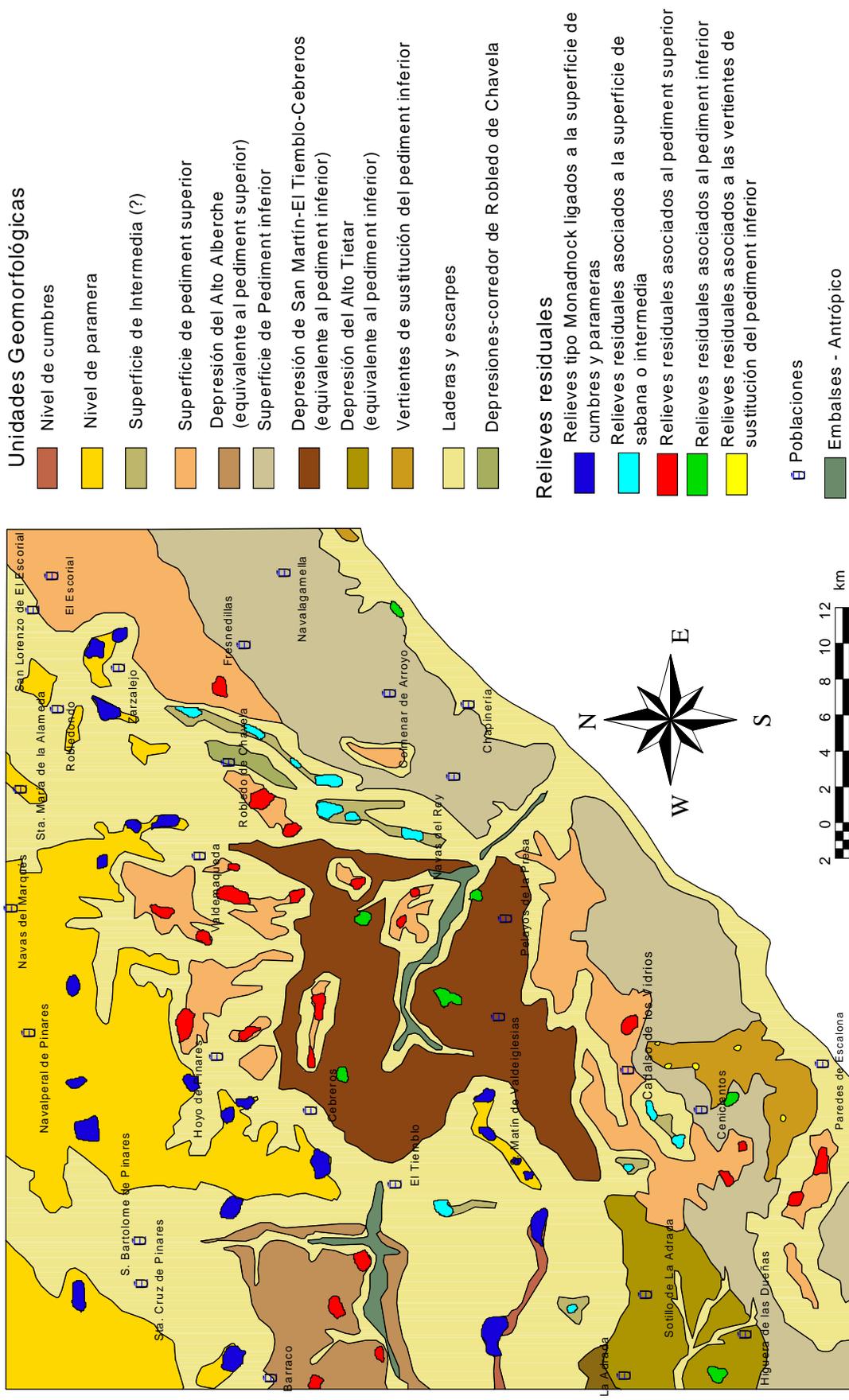


Figura III.16 Unidades geomorfológicas y relieves residuales principales asociados a ellas para la zona de la *Depresión de San Martín de Valdeiglesias* y su entorno

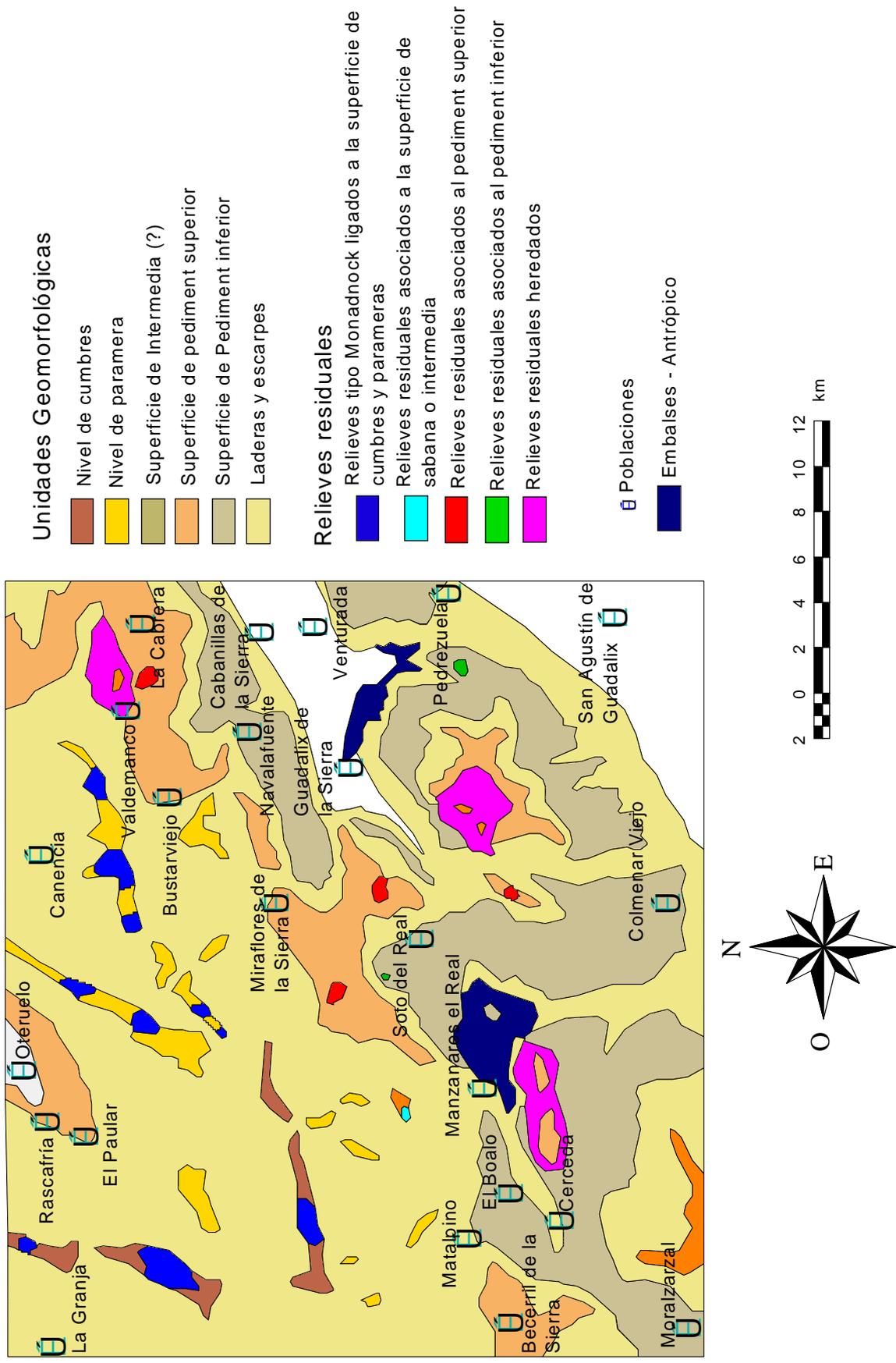


Figura III.17 Unidades geomorfológicas y relieves residuales principales asociados a ellas para la zona de *La Pedriza de Manzanares* y su entorno

- Cumbre irregular-lineal: aquí el relieve coincide con una litológica de marcada resistividad respecto al entorno, en general se deben a diques de cuarzo, granitoides aplíticos, etc. En estos casos las laderas son predominantemente cóncavas y la culminación en cresta.

En general, puede decirse que los *monadnock* son formas alomadas, de grandes dimensiones y presentan una unión con la penillanura continua y homogénea; es decir, no existen cambios bruscos o significativos con el entorno. Esta homogeneidad entre relieves y superficies se ve alterada por los procesos de sobreimposición degradativos, principalmente los encajamientos de la red fluvial, que modifican y remodelan esta continuidad dando lugar a cambios bruscos en la unión con las superficies inferiores (relieves heredados) o a retoques de modelado en las vertientes acentuando encajamientos e incisiones.

b) *Relieves residuales mayores tipo Inselberg (figura 16 y 17)*

En los *Inselberg* la diversidad fisonómica es muy grande, así como la tipología de formas que los soportan.

Una de las características diferenciales de estos relieves respecto a los antes mencionados es, sin duda, la unión con las planicies que los soportan; todos ellos presentan una ruptura neta o *nick*.

Sus fisonomías podemos agruparlas en los siguientes tipos:

- *Inselberg de cumbre plana*: en general son formas complejas caracterizadas por una cumbre más o menos plana que marca la posición de una planicie previa; pueden considerarse por ello *cerros testigos*. Sus laderas en el tramo inicial son convexas pasando después a rectilíneas para terminar uniéndose a la superficie inferior en concavidad más o menos pronunciada. Las dimensiones pueden variar en la base de 4,5 a 1 Km de perímetro, con una altura respecto a la superficie inmediatamente inferior que oscila entre 40 y 123 metros de desnivel. Los restos de superficies conservados en sus cimas son de pequeñas dimensiones, entre los 1000 m² y los 650 m².
- *Inselberg de culminación cónica*: también son formas complejas, producto de la asociación de otras formas más simples (domos, lanchares, for-

mas cónicas, etc); se encuentran representados ampliamente en toda la zona. La geometría mas común es la de un *cono recto* cuya base puede variar de cuasi circular a elíptica, con un nick claro y laderas predominantemente complejas; hecho marcado por ser formas derivadas de la asociación de formas menores. Las cotas sobre la superficie que soporta los relieves son variadas y están en torno a 70 metros de media, con perímetros de base de 2,1 km también de media.

Los relieves de este tipo más destacables son: Cabrera Alta y Cabrera baja, Almenara, Parada Cuerda; todos ellos corresponden a *inselberg* de culminación cónica.

Sean de cumbre plana o culminación cónica, cuando estos relieves aparecen sobre planicies inferiores del piedemonte, presentan varias rupturas de pendiente o nick que se han interpretado como signos de una génesis policíclica de “varias generaciones” (Pedraza, 1978; Sanz Santos 1987).

c) Relieves residuales mayores tipo Bornhardt (figura 16 y 17)

En el área que nos ocupa, las fisonomías *bornhardt* solamente se han descrito sobre rocas granitoideas, si bien, el Sistema Central también existen ejemplos de estas formas sobre rocas metamórficas.

En general son morfologías de dimensiones medias a menores que pueden aparecer aislados o como parte de relieves mayores, son singenéticos con cada una de las unidades sobre las que se localizan; los de las superficies más recientes se encuentran generalmente en proceso de exhumación. Las formas de menor dimensión se suelen asociar a los *inselberg* cónicos y a las laderas de transición entre las diferentes superficies.

Las dimensiones de este tipo de relieves son variadas y oscilan en torno a los 39 metros de media en la altura sobre la superficie y de 1 km de perímetro como media. Las fisonomías son variadas, la figura III.18 muestra las posibilidades más comunes en relación con la dimensión de sus ejes principales.

En las áreas de estudio predominan las formas campaniformes amplias simétricas, dorsos de ballena y artesa; están presentes también otras tipologías pero en menor medida. Los ejemplos más notorios son: El Yelmo de la Pedriza de Manzanares, el cerro de San Esteban, El Yelmo del Embalse de San Juan, etc.

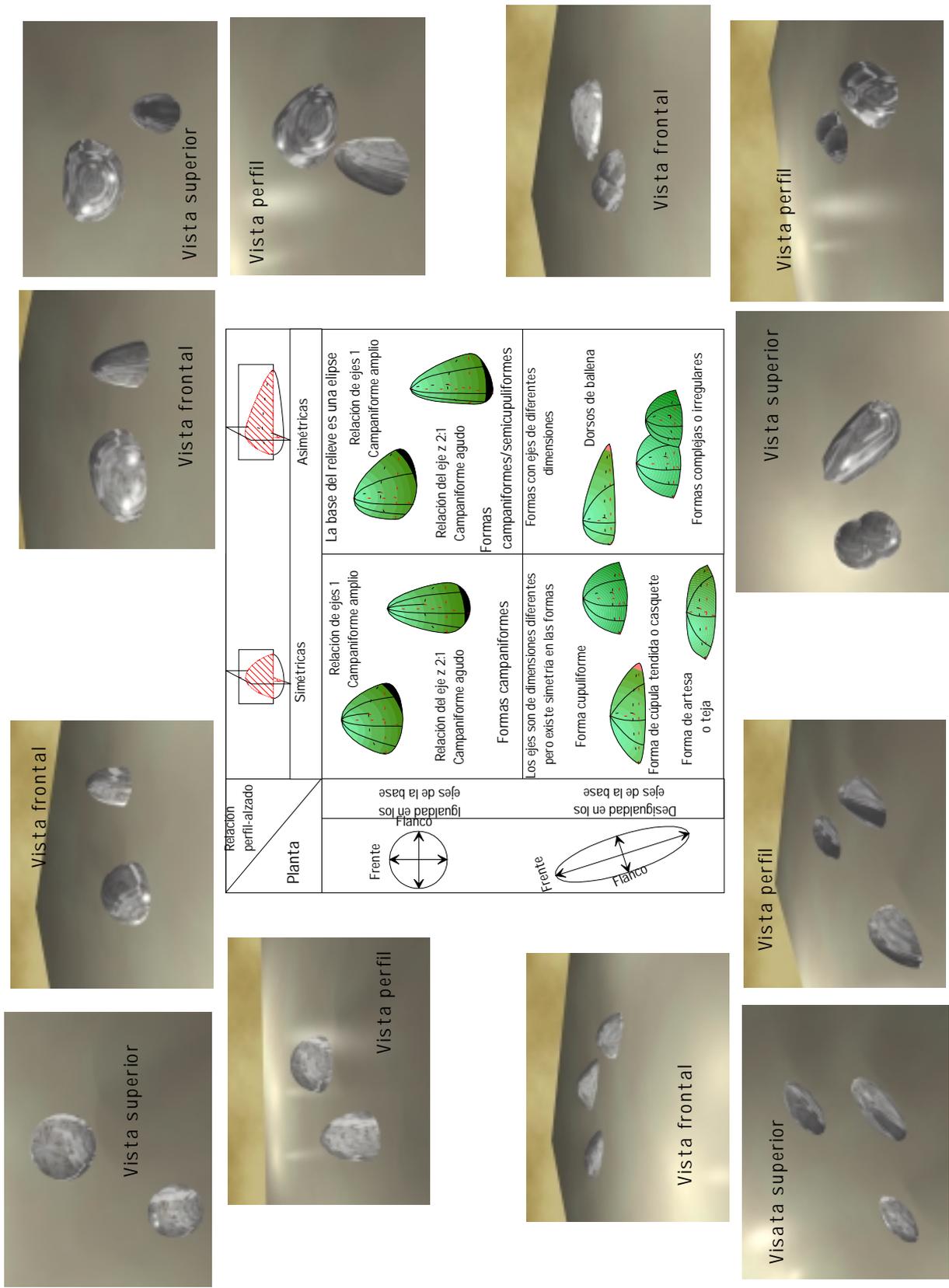


Figura III.18 Clasificación de las formas dómicas según las relaciones de los ejes de su representación en planta y la simetría entre perfil y alzado.

d) Otros relieves residuales mayores

En general son morfologías de culminaciones lineales, laderas cóncavas que acentúan su verticalidad hacia las cimas y con nick muy marcado. Su fisonomía es claramente alargada, presentando una amplia variedad de perímetros, que dependen de la continuidad de las características resistísticas entre el relieve y el entorno del mismo; las alturas son variadas y oscilan entre los 30 m y los 150 m.

Genéticamente deben calificarse como relieves de resistencia ya que están caracterizados por un marcado contraste litológico con la superficie donde se localizan; aparecen sobre cualquiera de las unidades definidas anteriormente y, en general, tienen poca entidad salvo excepciones como es el cerro Seroles situado al E de la población de Cebreros.

III.4.2.3.- *Caracterización de la superficie intermedia o “de Sabana”*

A partir de los análisis morfométricos de las superficies y sus relieves residuales, podemos concretar aquí esa unidad que permite el enlace entre la evolución del relieve en los tiempos previos a la reactivación del Sistema Central (la penillanura poligénica de cumbres y parameras) y los póstumos (los *pediments* y las planicies inferiores); se trata de lo que se ha venido denominando “planicie de sabana o *etchplain*” (Pedraza, 1978; Sanz, 1987; Centeno, 1988, Centeno *et al.* 1990).

Nosotros aquí mantendremos esa denominación de “Planicie de Sabana” por respetar las citas previas, si bien hemos de señalar que en realidad son “restos dispersos” que no llegan a constituir tal planicie, ya que ésta fue desnivelada por la tectónica post-miocena, degradada y sustituida por la morfogénesis de la pedimentación de las rampas.

Como puede apreciarse en la cartografía, esta “superficie” queda mejor representada en la *Depresión de San Martín de Valdeiglesias* que en *La Pedriza de Manzanares* (anexo I).

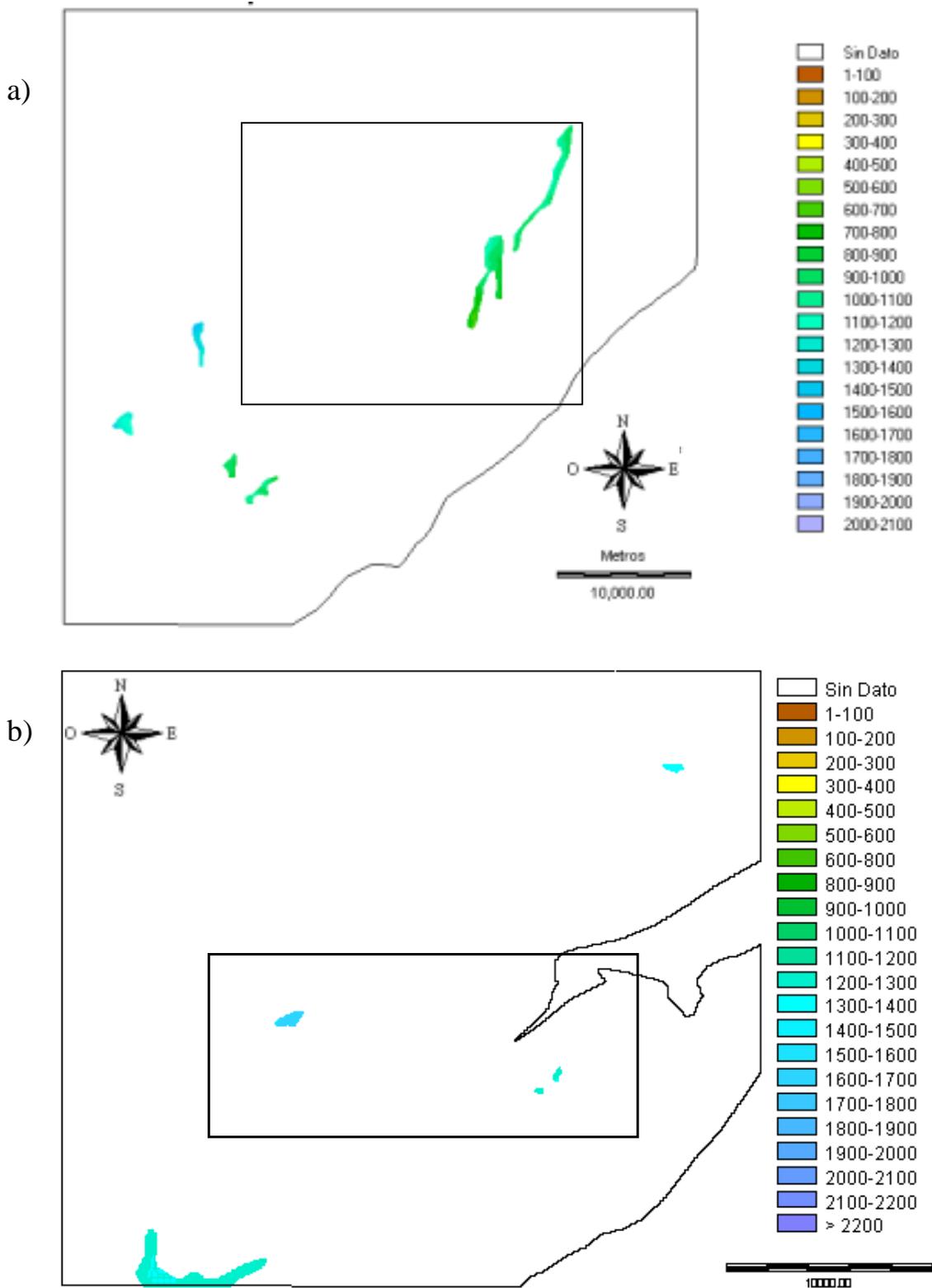
Poco puede decirse de su fisonomía; el hecho de que se haya hipotetizado sobre su existencia es, ante todo, un dato morfográfico apoyado en la historia evolutiva del relieve: dado que hubo una etapa de *etchplanación* o *pedimentación en ambien-*

te de sabana y una sucesión de *inselberg* que comportan una culminación plana que tradicionalmente se ha asociado con las planicies de paramera y sin embargo no coinciden exactamente con ellas, lo más lógico es pensar en esta superficie intermedia.

El elemento clave, por tanto, para su identificación es el morfotopográfico, debiéndose establecer la separación entre las *parameras* (*ss.*) y las alineaciones de estos relieves que siguieron una evolución diferente y ya controlada por los piedemontes; en realidad estaríamos refiriéndonos a tres planicies de piedemonte: *pediment de sabana* (residual) y su conjunto de *inselbegs*, y los *pediments* (*ss.*) (M_1 y M_2), que reelaboran esos *inselbergs* y generan otros relieves residuales menores.

Las características de la superficie en ambas zonas de estudio aparecen en la ficha descriptiva adjunta.

Unidad intermedia - unidad de superficie de sabana



Esquema III.9 Localización y distribución de alturas de la unidad intermedia o unidad de superficie de sabana en el entorno de a) la Depresión de San Martín de Valdeiglesias, b) La Pedriza de Manzanares.

Descripción: Esta unidad queda reducida a la culminación de algunos relieves residuales y una serie de hombreras. La cota de este nivel se sitúa entre los 1300 y 950 metros, formando una serie de replanos de cota intermedia entre la unidad anterior (*parameras*) y la siguiente (*superficie de pediment superior*). Se encuentra ligeramente inclinada hacia el ESE.

Su representación más destacada es la alineación de la cuerda del Almenara – Almojón, y la culminación del cerro Horma.

Elementos propios: Son restos de planicie y localmente pueden asociarse algunos relieves residuales tipo *inselberg*, si bien están remodelados por las morfogénesis posteriores, asimilándose parcial o totalmente a las unidades generadas posteriormente.

Un caso destacable es el cerro Horma cuya culminación plana marca la referencia de la superficie que caracteriza esta unidad. Otros relieves residuales como la Peña de Cadalso o las Cabrerías Altas, presentan cotas muy superiores a la media de los relieves de la *superficie de pediment superior*, acercándose a cotas parecidas a las de esta unidad.

Elementos sobreimpuestos: Esta unidad aparece muy degradada y en muchos casos se asimila a otras unidades, quedando restringida a la divisoria de alineaciones menores.

Edad y génesis: Corresponde a una antigua superficie de erosión, formada a expensas de la *Penillanura Poligénica*, bajo condiciones climáticas de sabana y producto de una intensa morfogénesis asociada a la elevación de Sistema Central y controlada por la “*etchplanación*”. Este proceso, que afecta fundamentalmente a los bordes del macizo, tiene un dilatado periodo de actuación, ya que comienza en el Oligoceno y terminó en el Plioceno Inferior. Con posterioridad, esta unidad quedará casi totalmente asimilada por la morfogénesis de los *pediments*.

Correspondencia con otras nomenclaturas o asignaciones genéticas y temporales: La primera mención de una posible superficie intermedia es señalada por San Miguel de la Cámara y García Figuerola (1960). Posteriormente Pedraza (1978), da la primera cita sobre la presencia de un antiguo nivel de arrasamiento que se localizaría entre las *parameras* y el piedemonte,

En los años posteriores, otros autores como Cabra (1981), Centeno (1983, 1988) y Sanz Santos (1987) también hacen referencia a la unidad, y aproximan algún dato más en cuanto a su distribución y el significado dentro del conjunto morfológico del Sistema Central.

III.4.2.4.– *Respecto a las laderas*

Otra de las utilidades significativas que aporta el análisis morfométrico es la clasificación de las laderas; en este caso nos permite realizar una subdivisión en diferentes tramos, basada fundamentalmente en: la pendiente, el vínculo fisiográfico con los otros elementos y su comportamiento respecto a los agentes del modelado.

La clasificación de las laderas ha dado como resultado seis tipologías controladas, fundamentalmente, por las características morfométricas ya mencionadas al describir el tratamiento digital del territorio. La separación de cada tipología se hace según los elementos mayoritarios presentes en cada una de ellas en relación a “tipologías modales” obtenidas mediante la síntesis o promedio de todos los atributos de la ladera; por tanto se trata de una ponderación basada no solo en los datos, sino también en el conocimiento del territorio, cuestión que ha pesado más a la hora de la delimitación.

La tabla III.3 muestra los resultados de esa clasificación, describiéndose las características morfométricas, y también las fisiográficas e incluso gemorfológicas. Para esta unidad se han valorado mucho los rasgos generales; ya que, a la escala que hemos planteado el trabajo, la complejidad de esta unidad no permite un tratamiento muy detallado de los elementos menores constitutivos de la misma.

Además, existen otras aportaciones del modelo de tratamiento del MDE, como es la obtención de los **elementos ligados a procesos de incisión y concentración-dispersión de aguas corrientes**; el mapa de elementos morfométricos (anexo I), muestra los diferentes elementos obtenidos. Estos elementos se han agrupado en cuatro clases principales: tres de ellas representan zonas en las que solamente han primado las características fisiográficas; en la otra no solamente se ha considerado la forma, sino también valores de pendiente y rugosidad del terreno. Las formas obtenidas son:

- Zonas de dispersión de escorrentía: se corresponden con tramos del terreno donde hay un predominio de píxeles con morfometría biconvexa. Una gran mayoría de éstas se localizan en los bordes de las superficies, en las laderas medias y en los relieves residuales.
- Zonas de concentración de escorrentía: en estas porciones de terreno predominan los píxeles con morfometría bicóncava. Se localizan principalmente en los relieves de llanura cercanas a las navas, en la unión de laderas más o menos abruptas con las superficies y áreas de incisión leve de ríos y arroyos.

Tabla III.3 Descripción de las divisiones de las diferentes laderas y descripción de los rasgos principales. *De-
presión de San Martín de Valdeiglesias.*

Denominación	Características morfométricas	Descripción
<p>Laderas de transición (las zonas más representativas se sitúan al norte de la población Navas del Rey y en la unión del conjunto de Seroles con el <i>Pediment Inferior</i>)</p>	<p>Corresponde a zonas con abundante predominio de lo definido como unidad de planicie muy degradada y gran parte de la unidad inferior del Grupo Medio. La pendiente de la unidad oscila entre 5° en las zonas cercanas a las superficies y los 12° para los límites más distantes.</p>	<p>Conforman una serie de zonas de enlace con tipologías similares a glacis, que sirven de pie a formas orográficas en resalte y que por sus dimensiones deberíamos tratar como mega relieves residuales.</p>
<p>Laderas escalonadas</p>	<p>Corresponden a la porción más extensa de la unidad de laderas, constituida por la totalidad del Grupo Medio (Enlaces) con predominio de unidad inferior y las unidades de mayor pendiente del Grupo inferior (Planicies muy degradadas) y menor pendiente del Grupo superior (unidad homogénea). En muchos casos se incluyen pequeñas porciones (zonas del territorio con número de píxeles no significativos) de las unidades de menor pendiente del Grupo Inferior. El intervalo de pendiente oscila entre 7 y 12°</p>	<p>Constituyen las zonas de tránsito entre las laderas de máxima pendiente y las planicies. Conforman en muchos casos zonas escalonadas de las laderas, con replanos, hombreras, pequeñas zonas de alta pendiente, pequeños escarpes etc. En general son áreas con una variación morfológica alta.</p>
<p>Laderas homogéneas de pendientes medias</p>	<p>Agrupar principalmente los valores de la Unidad Superior del Grupo Medio (Enlaces), si bien se han incluido porciones tanto de la Unidad Inferior de este mismo grupo como de las unidades inferiores del Grupo Superior (Relieves). La variación de la Pendiente oscila entre los 10 y los 25°, si bien el predominio se restringe a los 10-15°</p>	<p>Conforma las laderas principales de las alineaciones montañosas y las agrupaciones orográficas principales (Grupo Seroles, Grupo Cabreras y escarpes de transición a parameras). Su fisionomía es la de una ladera de aspecto homogéneo, uniforme y pequeña rugosidad.</p>
<p>Laderas homogéneas de pendientes altas</p>	<p>Agrupar principalmente las unidades del Grupo Superior (Relieves) Homogénea e Inestable Incipiente. Corresponde con la continuación del tipo de laderas anterior pero con predominio de pendientes entre 15 y 25°.</p>	<p>Conforman las laderas situadas en torno a la culminaciones principales de las alineaciones montañosas y grupos de relieves principales. En las laderas de unión de la Superficie de Paramera e inferiores corresponde al cambio principal de curvatura de la ladera. Su fisionomía es la de una ladera de aspecto homogéneo, uniforme y pequeña rugosidad.</p>
<p>Laderas de alta pendiente</p>	<p>Corresponden a las zonas de más alta pendiente y una estructura morfométrica compleja. Engloba del Grupo superior las unidades de Inestabilidad Media, Alta y Muy Alta; abarca el tramo final de pendientes (superiores a 25°), su rugosidad es elevada y presentan poca uniformidad.</p>	<p>Se localiza en torno a las culminaciones de la alineaciones montañosas, grupos de relieves principales y los encajamientos más importantes de la red fluvial</p>
<p>Laderas de muy alta pendiente con cuencas de recepción y hombreras de dispersión</p>	<p>Se trata de una singularidad de tipo anterior de ladera, caracterizada por agrupar las zonas con mayor concentración de píxeles cóncavos (concentración) o convexos (dispersión) y mayor rugosidad.</p>	<p>Son las zonas que podríamos definir como áreas de concentración de flujo de aguas superficiales y las de mayor dispersión de las mismas. Se sitúan en zonas cercanas a relieves de alta pendiente.</p>

Tabla III.3 Continuación. *La Pedriza de Manzanares*.

Denominación	Características morfométricas	Descripción
Laderas de transición	Corresponde a zonas con abundante predominio de lo definido como unidad de planicie muy degradada y gran parte de la unidad inferior del Grupo de Enlaces. La pendiente de la unidad oscila entre 5° en las zonas cercanas a las superficies y los 12° para los límites más distantes.	Conforman una serie de zonas de enlace con tipologías similares a glacis, que sirven de pie a formas orográficas en resalte y que por sus dimensiones deberíamos tratar como mega relieves residuales.
Laderas enlace	Se asemeja a las Laderas Escalonadas de la <i>Depresión de San Martín de Valdeiglesias</i> , pero la variabilidad es menor incluyéndose pocas porciones del Grupo de Planicies y Vertientes. El intervalo de pendiente oscila entre 7 y 12°	Constituyen las zonas de tránsito entre las laderas de máxima pendiente y las planicies. Conforman en muchos casos zonas escalonadas de las laderas, con replanos, hombreras, pequeñas zonas de alta pendiente, pequeños escarpes etc. En general son áreas con una variación morfológica alta.
Laderas homogéneas de pendientes medias	Agrupa principalmente los valores de la Unidad Superior del Grupo Medio (Enlaces), si bien se han incluido porciones tanto de la Unidad Inferior de este mismo grupo como de las unidades inferiores del Grupo Superior (Relieves). La variación de la Pendiente oscila entre los 10 y los 25°, si bien el predominio se restringe a los 10-15°	Conforma las laderas principales de las alineaciones montañosas y las agrupaciones orográficas principales (Grupo Seroles, Grupo Cabrerías y escarpes de transición a parameras). Su fisionomía es la de una ladera de aspecto homogéneo, uniforme y pequeña rugosidad.
Laderas homogéneas de pendientes altas	Agrupa principalmente las unidades del grupo de relieves, homogénea e inestable incipiente. Corresponde con la continuación del tipo de laderas anterior pero con predominio de pendientes entre 15 y 25°.	Conforman las laderas situadas en torno a la culminaciones principales de las alineaciones montañosas y grupos de relieves principales. En las laderas de unión de la Superficie de Paramera e inferiores corresponde al cambio principal de curvatura de la ladera. Su fisionomía es la de una ladera de aspecto homogéneo, uniforme y pequeña rugosidad.
Laderas rugosas de pendiente alta	Agrupa principalmente a laderas con una marcada rugosidad. Las Pendientes son altas y se encuentran comprendidas entre 15 y 25°	Constituyen el conjunto orográfico de la Pedriza de Manzanares y una pequeña zona al pie del Cerro de San Pedro. Marca el contraste morfológico del conjunto de granítico que conforma el stock de la Pedriza.
Laderas de alta pendiente	Corresponden a las zonas de más alta pendiente y una estructura morfométrica compleja. Engloba del grupo de relieves las unidades de Inestabilidad Media, Alta y Muy Alta; abarca el tramo final de pendientes (superiores a 25°), su rugosidad es elevada y presentan poca uniformidad.	Se localiza en torno a las culminaciones de la alineaciones montañosas, grupos de relieves principales y los encajamientos más importantes de la red fluvial
Laderas de muy alta pendiente con cuencas de recepción y hombreras de dispersión	Se trata de una singularidad de tipo anterior de ladera, caracterizada por agrupar las zonas con mayor concentración de píxeles cóncavos (concentración) o convexos (dispersión) y mayor rugosidad.	Son las zonas que podríamos definir como áreas de concentración de flujo de aguas superficiales y las de mayor dispersión de las mismas. Se sitúan en zonas cercanas a relieves de alta pendiente.

- Zonas de concentración-dispersión: corresponde a los terrenos en los que existe un cruce entre las dos zonas anteriores.
- Zonas de máxima incisión lineal: los criterios de selección de estas zonas fueron expuestos ya para la zona de la *Depresión de San Martín de Valdeiglesias*, y corresponden a terrenos donde el análisis morfométrico denuncia mayor propensión a estos procesos. Como se ven en la cartografía, las áreas más representativas se localizan en el entorno de las laderas de mayor pendiente cercanas a formas principales y en los relieves más abruptos de las alineaciones orográficas principales, localizándose muchas de las áreas cartografiadas sobre cabeceras fluviales.

Tanto las formas residuales como las de incisión y dispersión-concentración de escorrentía, obtenidas dentro a través del tratamiento digital, han sido incluidas como elementos de la leyenda de la cartografía geomorfológica en un apartado especial, para remarcar el carácter analítico digital que conllevan.

III.4.2.5.– *Precisiones finales*

Uno de los problemas principales en el tratamiento de los relieves se presenta dentro de la unidad de laderas, ya que es difícil de asimilar a una etapa evolutiva concreta y ser ésta, no solo una unión entre elementos constitutivos del paisaje, sino también un lazo temporal entre ellos, aunque la dinámica y evolución que presenta no permite, salvo excepciones, otorgarla una edad concreta.

Al igual que la Unidad de Laderas, muchos de los elementos mayores presentes en ella, si no existe una relación altitudinal o de proximidad de otros elementos bien situados temporalmente, son difícil de otorgarles una edad concreta. Se ha seguido los criterios siguientes a la hora de situar temporalmente las formas:

- Aquellas formas que se localizan por debajo de la *Superficie de Pediment Inferior* serán asimiladas a la etapa de formación de las *Vertientes de Sustitución del Pediment Inferior*, aunque no exista relación de continuidad entre ambas. Este criterio se basa en que esta unidad inferior, es actualmente activa y se encuentra asociada a los cauces fluviales actuales, por tanto todos los relieves situados entre cauces fluviales y la *Superficie de Pediment Inferior*, son congénitos con las *Vertientes de Sustitución del Pediment Inferior* que es la unidad que actualmente se encuentra en proceso de formación.

- Las formas cuya base se sitúa sobre una divisoria de altura equivalente a la *Superficie de Sabana* y tienen alguna de las topologías descritas anteriormente, se las asocia congénitamente a dicha superficie.
- Los relieves próximos a restos de superficies, o bien aquellos en los que se puede tener algún criterio (altura media de la base del relieve) que relacione la forma con la superficie próxima, se los considera como ligados temporalmente a ella.

El tratamiento del MDE permitió, en su momento, realizar un análisis de los relieves en función de unos patrones típicos seleccionados; la comparación entre las formas cartografiadas inicialmente y las obtenidas a través del tratamiento de los datos pueden hacerse con la cartografía que aparece en el anexo I, en la que se muestran los relieves obtenidos en el tratamiento digital. Del total de formas cartografiadas inicialmente por los métodos tradicionales de trabajo para la *Depresión de San Martín de Valdeiglesias*, se obtuvieron 403 relieves, de los cuales 162 superan la condición de 62500 m², que se estableció como superficie unidad del tratamiento digital en lo concerniente a elementos areales; el tratamiento digital aportó un total de 88 relieves basados en la búsqueda de patrones de las formas correspondientes a los relieves del Yelmo, San Esteban, Guisando, Seroles y Almenara; la correspondencia entre las diferentes cartografías es la siguiente:

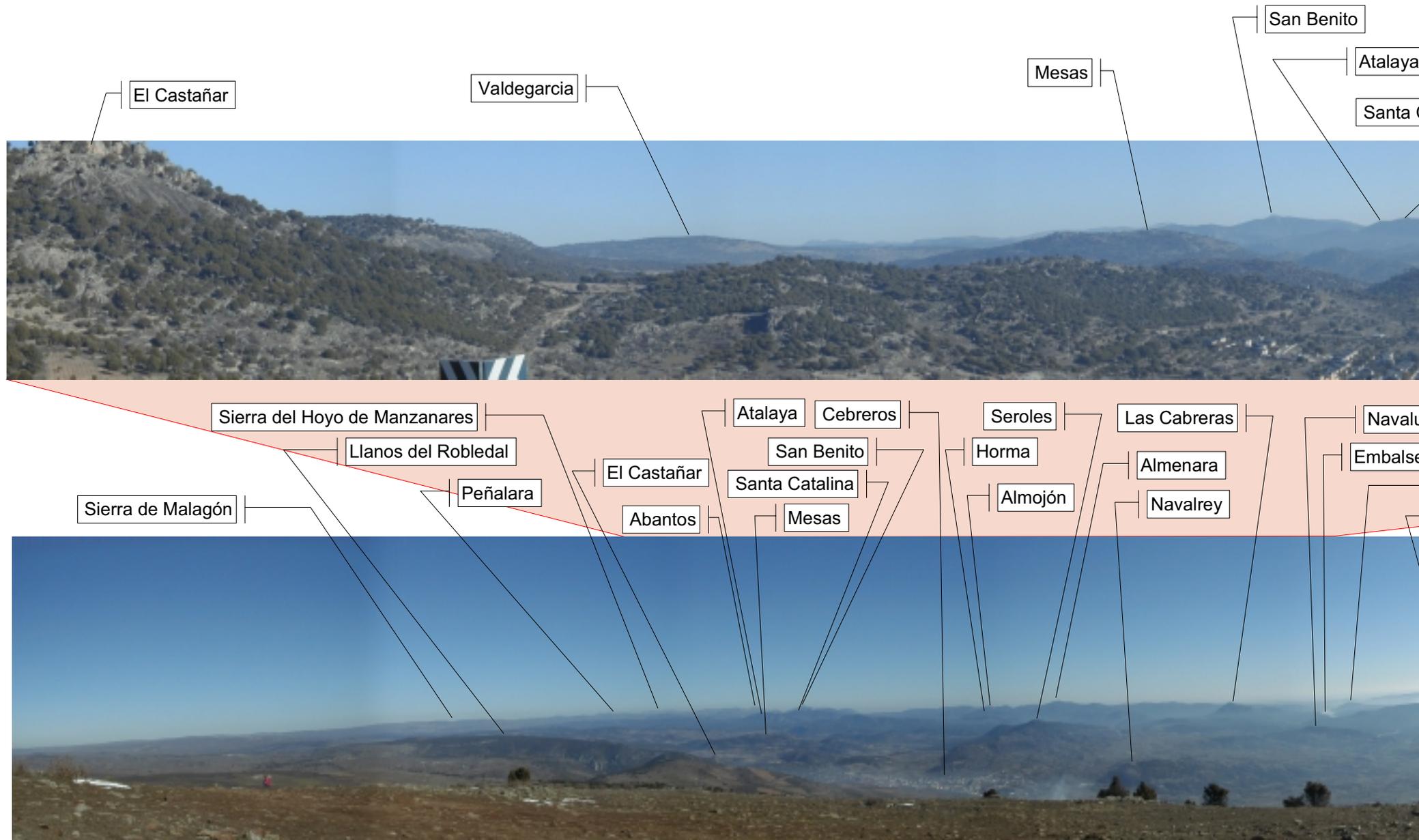
- 53 formas de la cartografía inicial están marcadas total o parcialmente por los datos obtenidos en el tratamiento digital.
- 25 de las formas obtenidas digitalmente no se encuentran relacionadas con formas cartografiadas inicialmente.
- 6 de las formas digitales engloban más de un relieve residual de los obtenidos en la cartografía inicial.
- 2 de las formas cartografiadas inicialmente están afectadas por más de una de las obtenidas digitalmente.

No es mucho visto desde una perspectiva global, el haber obtenido un reconocimiento del 32,7% del total de formas cartografiadas inicialmente; pero si particularizamos en función de las formas tomadas como base, el resultado si tiene importancia, ya que ese 32,7% se ha obtenido con un 9,4% de las formas iniciales y su distribución es indiferente respecto a las etapas genéticas de formación de las diferentes generaciones de relieves considerados.

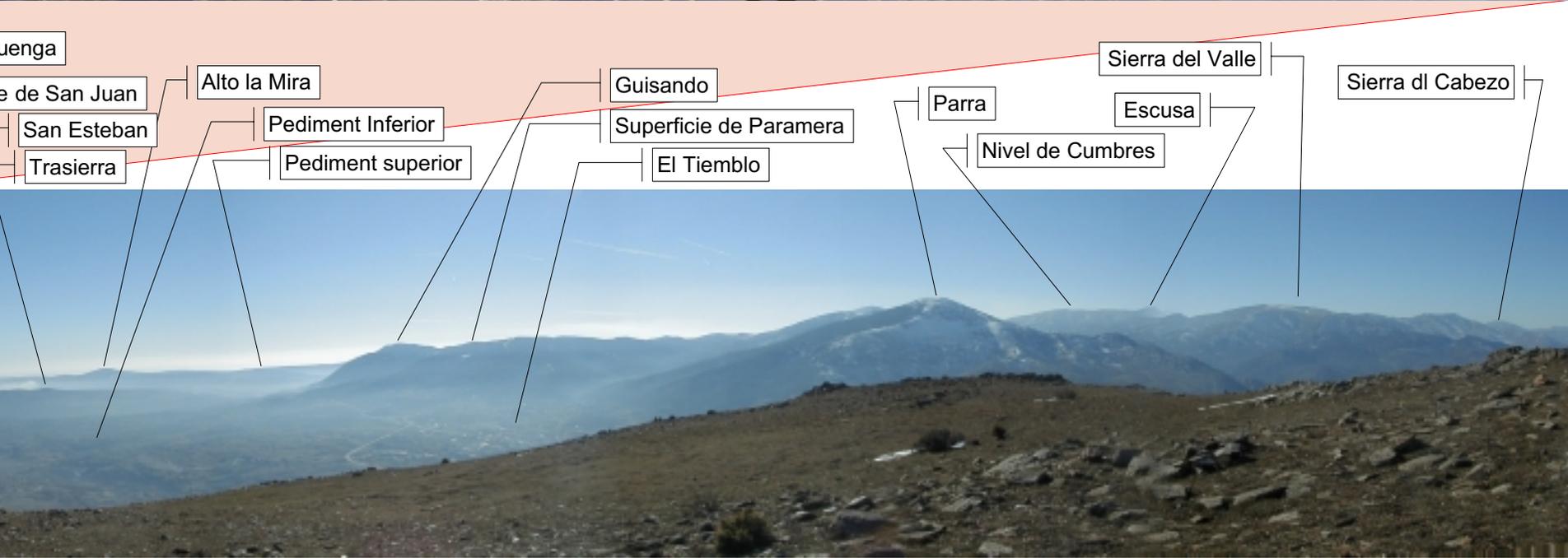
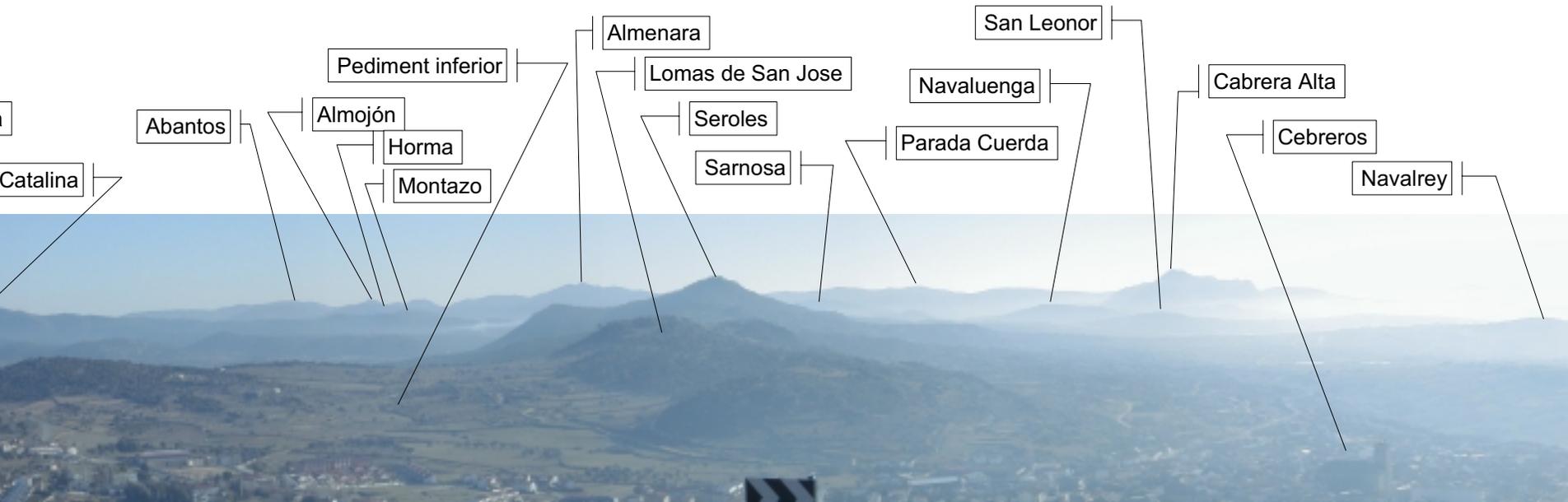
En la *Pedriza de Manzanares el Real*, la cartografiada inicial aportó un total de 192 relieves, de los cuales 107 superan la condición de 30.625 m², que se estableció como superficie unidad del tratamiento digital, en lo concerniente a elementos areales; el tratamiento digital aportó un total de 34 relieves basados en la búsqueda de patrones de formas características (El Yelmo, Cerro Hormigales, culminación del Cerro de San Pedro, La Carrascosa y las Torres de la Pedriza) y de 104 basándose en formas geométricas. La correspondencia entre las diferentes cartografías es la siguiente:

- 11 de los relieves de la cartografía inicial están marcados total o parcialmente por los datos obtenidos en el tratamiento digital de formas características y 28 según los patrones geométricos.
- 33 de las formas características obtenidas digitalmente no se encuentran relacionadas con formas cartografiadas inicialmente y 76 de las obtenidas por patrones geométricos.
- 2 de las formas características y 5 de patrones geométricos obtenidas digitalmente, engloban más de un relieve residual de los obtenidos en la cartografía inicial.
- En relación al análisis de formas singulares una de las formas cartografiadas inicialmente está afectada por más de una de las obtenidas digitalmente, mientras en el análisis de patrones geométricos el número de formas afectadas es de 6.

Si comparamos de forma global los resultados de estos tratamientos, vemos que basándonos en el 2,6% de los relieves característicos obtenemos solamente un 5,7% de las formas cartografiadas inicialmente y, un 14,5% de los relieves señalados inicialmente se ve representados por 12 patrones de formas geométricas, que si los consideramos como relieves abarcarían el 6,5% de los relieves totales. Esta disminución en la detección de formas creemos que es debida a dos factores: el principal es la dimensión de los relieves que analizamos en función de la dimensión de malla que se utiliza en el MDE y, como segunda causa, está la pérdida de ajuste del MDE a los datos de partida, es decir, la falta de corrección de los errores entre los datos de partida y los obtenidos por interpolación en el MDE.



Vista general desde el Pico Merina.



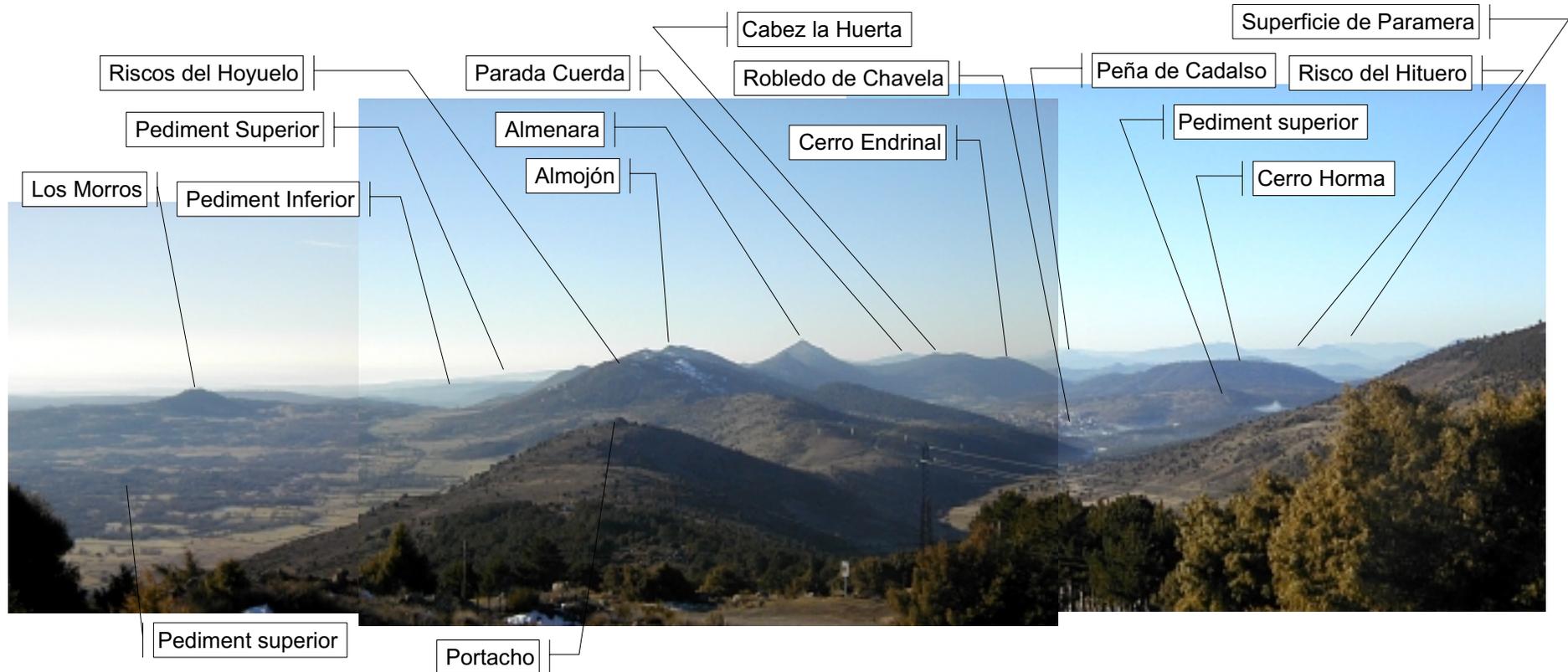


Foto superior izquierda: Vista panorámica desde la carretera de Zarzalejo-Puerto de la Cruz Verde , Km 10. De izquierda a derecha pasamos de la Superficie de Pediment Superior-Alineación de Almenara-Almojón-Depresión de Robledo de Chavela-Cerro Horma; al fondo se aprecia el comienzo de las sierras de Gredos y la Superficie de Paramera.

Foto superior derecha: vista panorámica de la depresión de Herradón-Casillas y las sierras más orientales de Gredos (Sierra del Valle y Sierra del Cabezo) correspondientes a los niveles de Paramera y Cumbres.

Foto inferior derecha: Panorámica general de la Superficie de Paramera.

Fotos panorámicas del reverso: Vista general de la depresión de San Martín de Valdeiglesias-El tiemblo-Cebreros.

Sierra del Valle
Nivel de Cumbres

Embalse del Burguillo

Sierra del Cabezo

Macizo Central de Gredos

Escusa

Parra





Relieve residual tipo *monadnock* retocado en su visión frontal por el encajamiento de la red fluvial actual.



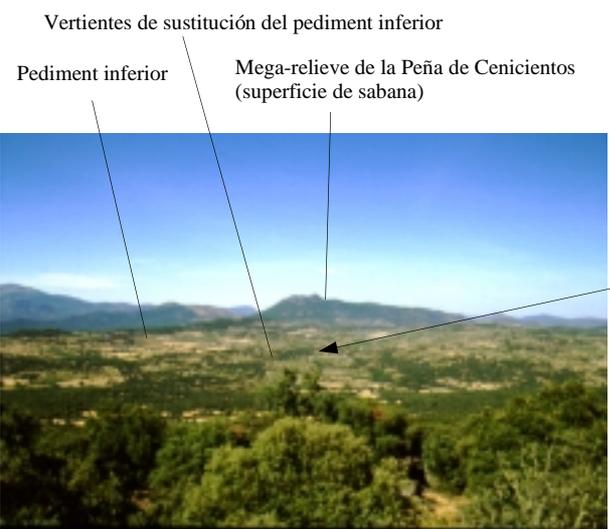
Relieve tipo *inselberg dómico* situado sobre la superficie de *superficie de pediment superior* (Los Morros – rampa de El Escorial).



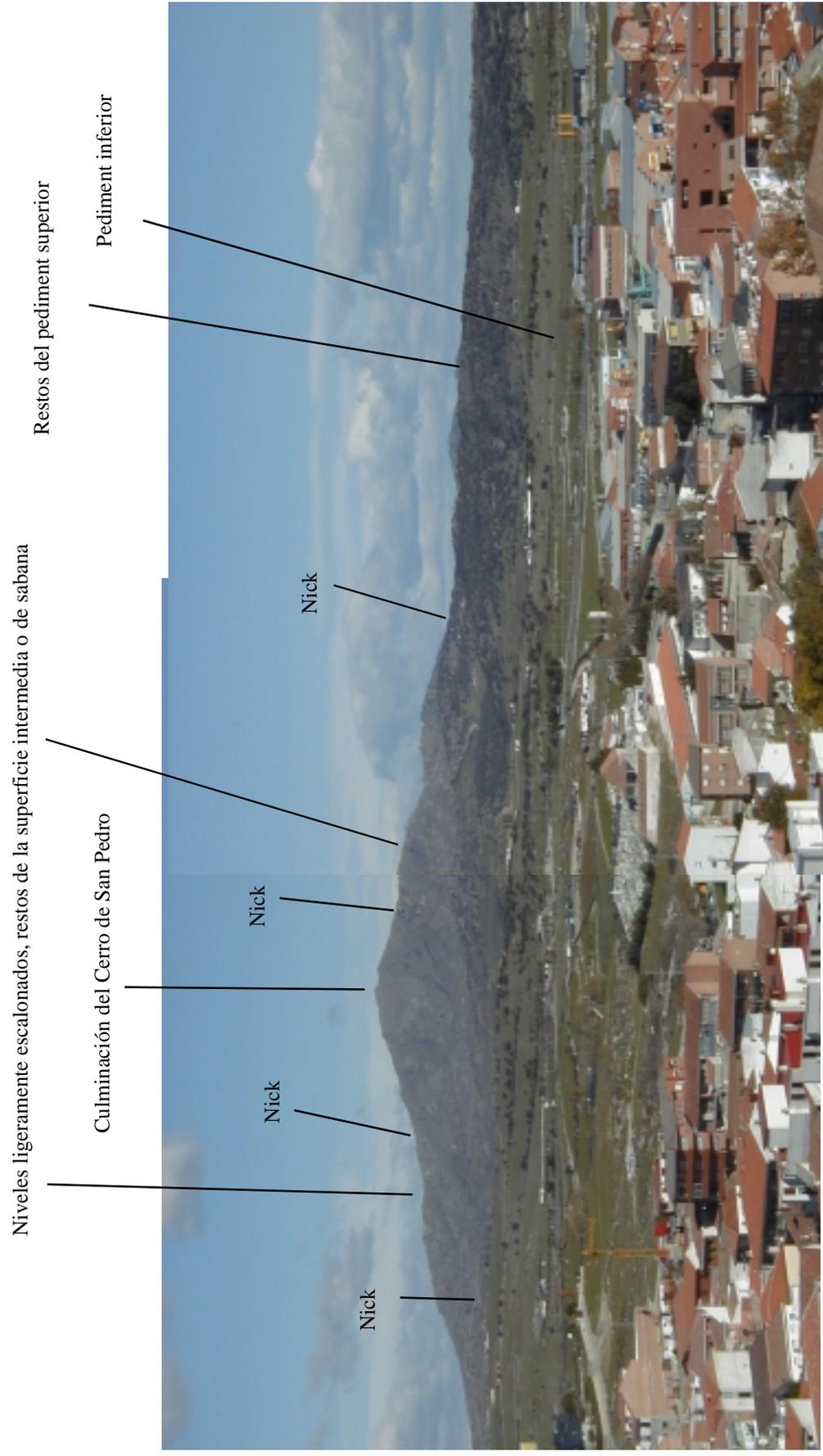
Pequeña forma dómica elaborada sobre rocas metamórficas en la cara oeste del Cerro de San Pedro.



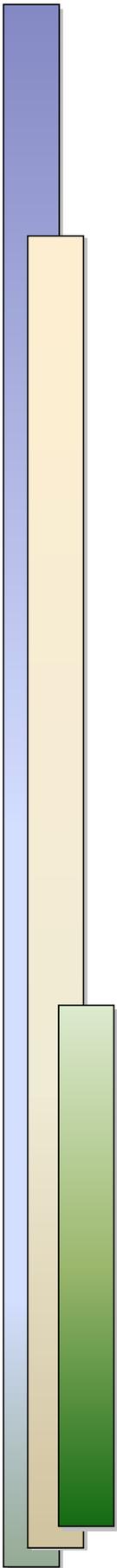
El Yelmo, Embalse de San Juan, forma de doómica.



Vista genral de la Rampa de Cenicientos, se puede apreciar la unidad de *vertientes de sustitución del pediment inferior*. A la derecha detalle de forma dómica en proceso de exhumación, Arroyo de Tablón.



Mega-relieve residual de El Cerro de San Pedro, vista desde la población de Colmenar Viejo.



IV.– Síntesis y conclusiones

Esta Tesis desarrolla un conjunto de técnicas que, convenientemente estructuradas, constituyen un método para el análisis del relieve basado en las relaciones morfográficas que presentan las formas del terreno.

El trabajo parte de la hipótesis según la cual y en primera instancia, las formas del terreno son elementos geométricos que pueden ser analizados mediante el estudio detallado del modelo digital de elevación (MDE).

El procedimiento de análisis comienza por el desglose de parámetros a partir del modelo digital de elevación y, posteriormente, se recombinan jerárquicamente de acuerdo con su importancia en la definición de las formas del terreno; de esta manera se obtienen los criterios para diferenciar los elementos morfológicos constitutivos del paisaje. Tanto los parámetros tradicionales como otros nuevos introducidos aquí, engloban medidas cuantitativas y cualitativas que no sólo permiten medir y cuantificar los elementos del relieve, sino también comparar las características no cuantificables que dan significado propio a la forma del terreno; esto último ha sido especialmente desarrollado en nuestro trabajo.

Un método con las características que se proponen, debe asumir una serie de limitaciones en cuanto a la precisión y objetivos del mismo; el detalle, exactitud y escala del modelo digital de elevación que utilizemos conforma los cimientos del análisis.

En la mayoría de los procedimientos de este tipo utilizados hasta el momento, los elementos geomorfológicos se extraen por comparación a partir del modelo digital de elevación; esto constituye un error, ya que introduce una serie de criterios genéticos y evolutivos no detectables en la base digital de partida. En el análisis de la superficie terrestre y para delimitar el conjunto de formas y relieves que de ellas pueden derivarse, es fundamental entender que el elemento que sirve de guía es la **pendiente del terreno**; en base a ella se pueden estructurar unas técnicas de análisis que permiten extraer la información del terreno digitalmente.

Hechas estas consideraciones generales, el método aquí desarrollado puede resumirse en los siguientes puntos:

- 1º) La estructura analítica se basa en un sistema de aproximaciones sucesivas: parte de los componentes primarios del relieve, *los elementos singulares*,

sigue con las sucesiones entre ellos, *los perfiles*; y termina con las articulaciones entre diferentes perfiles, *las superficies*.

2º) Para mantener el mismo sistema de referencia que haga posible las correlaciones cuantitativas y cualitativas, deben establecerse unos puntos de origen de coordenadas invariables cualquiera que sea el nivel de trabajo; estos orígenes son: punto inicial de movimiento (origen izquierdo de perfiles y vértice superior-izquierda de superficies) y origen de signo de ángulos (ángulo 0 = horizontal, positivo sentido ascendente, negativo sentido descendente). Una vez establecidos los puntos de referencia se extraen todos los parámetros posibles del modelo digital de elevación. Dichos parámetros que pueden agruparse en dos grandes conjuntos: cuantitativos y cualitativos; los primeros se refieren a los valores que toman las variables en cada caso, los segundos corresponden a medidas obtenidas por comparación entre los valores cuantificables y hacen referencia a aspectos más relacionados con la forma en sí que con sus dimensiones. Los parámetros analizados son:

- *Gradiente topográfico* (cuantitativa): corresponde a la mayor diferencia altitudinal entre el punto problema y sus vecinos más próximos.
- *La Pendiente* (cuantitativa): corresponde al ángulo que forma el vector gradiente en ese punto y un eje horizontal.
- *La curvatura* (cuantitativa): corresponde a la tasa de variación de la pendiente en el entorno de un punto.
- *Rugosidad* (cuantitativa): corresponde a la dimensión fractal que presenta cada punto respecto a su entorno.
- *Orientación* (cuantitativa): representa el ángulo que forma la proyección horizontal de la máxima inclinación con el vector norte, en el entorno de un punto problema.
- *Desarrollo del segmento* (cuantitativa): corresponde a las dimensiones reales de los segmentos que unen puntos consecutivos de malla dentro del modelo digital de elevación.
- *Energía de relieve* (cuantitativa): corresponde a la relación entre el módulo del vector de máxima pendiente y la diferencia de altura entre los extremos; es una cuantificación de la energía potencial.

- *Tendencia del relieve* (cuantitativa): estima la variación máxima de pendiente entre un punto y sus vecinos más próximos.
- *Sentido de la inclinación* (cualitativa): describe la variación que sufre la pendiente entre los segmentos contiguos del modelo digital de elevación.
- *Carácter del segmento* (cualitativa): informa de la tipología de los cambios entre segmentos referida a la variación de la pendiente.
- *Mapa morfométrico* (cualitativo): es el valor que expresa la variación geométrica que se produce entre dos segmentos consecutivos de malla. El análisis final es el cruce de los análisis parciales según los ejes x e y .
- *Mapa de tipologías* (cualitativo): es similar al caso anterior, pero aquí lo que se analiza es la variación de un segmento con sus vecinos posterior y anterior.
- *Articulaciones* (cuantitativo): sirve para determinar las variaciones entre valores límites de la pendiente para ciertos procesos.

Para la obtención y análisis de este conjunto de parámetros hemos desarrollado un programa informático específico llamado “PENDIENTES”. Dicho software, aporta los mecanismos de tratamiento, además de un módulo de aplicación de “patrones” referido a aspectos cualitativos, lo que permite un estudio más detallado de los *elementos destacables*.

3º) Obtenidos los parámetros cuantitativos, debemos proceder a su agrupación en intervalos que nos permitan trabajar; este problema es de difícil solución ya que depende: de los objetivos del trabajo, de la resolución de los datos de partida y de los valores que determinan los umbrales de definición de la forma del relieve. La agrupación de intervalos se ha efectuado en base a rupturas morfográficas, detectadas mediante un tratamiento estadístico para cada parámetro.

4º) Para llegar a definir los grupos morfográficos que corresponden a formas del terreno, se hace una sectorización geométrica del relieve; ésta se consigue mediante la aplicación matemática de los intervalos en el modelo digital. Esto nos permite ordenar el conjunto de las formas del terreno, resultando los siguientes niveles:

- **Grupos:** el parámetro de diferenciación es la pendiente y establece las porciones del terreno fundamentales según un sentido geométrico amplio: *planicies y vertientes, enlaces y relieves*.
- **Unidades:** consiste en la subdivisión de cada uno de los grupos, atendiendo fundamentalmente a parámetros como el gradiente topográfico, la rugosidad, la pendiente y el mapa morfométrico. La utilización de unos u otros y la forma de combinación entre ellos, dependerá del *grupo* que analicemos.
- **Elementos destacables:** son fisonomías singulares por sus características relevantes en el territorio. Los parámetros usados para su separación son: el mapa morfométrico, rugosidad, pendiente, carácter del segmento, tipologías y articulaciones.

5º) La combinación de todos estos niveles conforma el mapa morfométrico de una determinada región, e implica la primera aproximación fisiográfica a un estudio geomorfológico.

La validación de este procedimiento de análisis se hace mediante su aplicación a unas zonas concretas. Ello ha permitido cualificar y cuantificar su morfografía y, al mismo tiempo, resolver algunos problemas planteados en esas zonas; **estos resultados demuestran que el procedimiento desarrollado por nosotros es viable y cumple la hipótesis de partida.**

El proceso de validación es en realidad un estudio geomorfológico regional comparado: aplica las técnicas de tratamiento morfográfico digital a las unidades del relieve ya descritas en cada lugar. A este nivel hemos de destacar también una serie de aportaciones a la cartografía y el análisis geomorfológico regional.

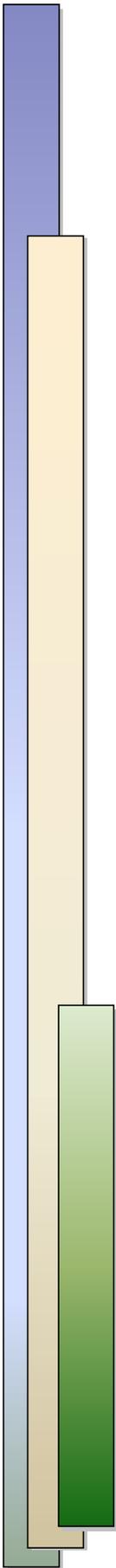
En general, se ha podido diferenciar una serie de elementos y las relaciones espaciales entre los mismos, así como el dimensionamiento más adecuado de las formas, tanto mayores como menores (siempre atendiendo a la escala de trabajo).

En particular, se han determinado los siguientes datos:

- Ajuste más preciso de las unidades geomorfológicas (niveles de rampas, parameras, laderas, etc.) tanto en lo concerniente a su extensión, como a los límites de las mismas y su configuración; delimitando con mayor precisión en la unidad de superficies, lo que es morfología original *ss* frente

a lo que es superficie degradada, y clasificando esta última según los grados de modificación.

- Delimitación y cualificación de nuevas unidades: es el caso de las *vertientes de sustitución del pediment inferior*, las cuales se encuentran estrechamente ligadas a los procesos actuales de incisión y desarrollo de la red fluvial. Dichas unidades habían sido definidas en la cuenca y los bordes del macizo, pero no es su interior.
- División de la unidad de laderas en sectores homogéneos según su geometría y de acuerdo con parámetros tanto cuantitativos como cualitativos.
- Identificación y descripción de una unidad geomorfológica hasta ahora citada como posible; se trata de la *superficie intermedia* o de *sabana*, y su cualificación se ha hecho a partir de parámetros extraídos del análisis del modelo digital de elevación. Esta unidad corresponde a una serie de pequeños replanos conservados en divisorias, hombreras y cimas de cerros, a los que podríamos considerar como *relieves residuales de primer orden* y cuya génesis es el producto de varias etapas de formación; ejemplos fundamentales de este tipo de formas son el cerro San Pedro, el cerro de Cadalso de los Vidrios, la Peña de Cenicientos o el conjunto de la Cabreras.
- Desde un punto de vista más teórico, se hace una clasificación de los relieves residuales de acuerdo a su dimensiones, fisonomías y relaciones espaciales; estableciendo criterios de separación entre unos y otros, además de plantear una ordenación de los mismos en función de su posible evolución espacio-temporal.



V.– Referencias Bibliográficas

- Aguirre, E.; Díaz Molina M.; y Pérez González A. (1976). Datos paleomastológicos y fases tectónicas en el Neógeno de la Meseta Sur Española. *Trabajos sobre Neógeno-Cuaternario*, **6**: 7-29.
- Aparicio, A.; Barrera J. L.; Carballo, J. M^a.; Peinado M.; y. Tinao J. M. (1975). Los materiales graníticos hercínicos del Sistema Central español. *Mem. Ins. Geol. Min. España*, Vol. **88**, 145 pag.
- Balce, A. E. (1987). Determination of optimum sampling interval in grid digitalelevation models (DEM) data acquisition. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **3**: 323-330.
- Band, L. E. (1986). Topographic partition of watersheds with digital elevation models. *Water Resources Research*, **1**: 15-24.
- Bellido, F.; Capote, R.; Casquet, C.; Fuster, J. M.; Navidad, M.; Peinado, M.; y Villaseca C. (1981). Caracteres generales del Cinturón Hercínico en el Sector Oriental del Sistema Central Español. *Cuadernos Geología Ibérica*, **7**: 15-51
- Bellido, F.; Brandle J. L.; García Cacho L.; y Martínez Ripoll M. (1983). Estudio de pegmatitas lepidolíticas en el plutón de La Cabrera. *Bol. Geol. y Minero*, **94**: 530-537.
- Biot, P. (1937). Sur la morphologie de la Sierra Guadarrama Occidental. *Annales de Géographie*, **46**: 25-42.
- Biot, P. y Solé Sabarís, L. (1954). *Investigaciones sobre morfología de la Cordillera Central Española*. Instituto Juan Sebastián Elcano (CSIC), 87 pag. Madrid.

- Brandebourger, E. (1984). *Les granitoides hercyniniens tardifs de la Sierra de Guadarrama (Système Central, Espagne) Petrographie et geochemie*. Tesis Doctoral, 209 pag.
- Cabra Gil, P. (1981). *Estudio Geomorfológico y de las Formaciones Superficiales entre las Sierras de La Cabrera y la Superficie de Mesones*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, 160 pag. Madrid.
- Capote, R. (1983). El Precámbrico de la zona centro-ibérica y su borde oriental. Formaciones porfiroides. En: J. A. Comba (coord.), *Geología de España*, tomo 1, pag. 84-90, IGME, Madrid.
- Capote, R. (1983). La estructura de la extensión SE. de la Zona Centroibérica en el Sistema Central. En: J. A. Comba (coord.), *Geología de España*, tomo 1, pag. 467-476, IGME, Madrid
- Capote, R. (1971). *Estudio geoestructural de los afloramientos metamórficos del Norte de la provincia de Ávila*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, 289 pag. Madrid.
- Capote, R. (1985). Historia deformativa en el Sistema Central. Tectónica Prehercínica y Hercínica. *Rev. Acad. Cienc. Exact. Fís. Nat.*, **4**: 511-522.
- Capote, R. (1990). *Mapa Geológico de San Martín de Valdeiglesias (tectónica)*, serie MAGNA hoja nº 557, ITGE, Madrid.
- Capote, R.; González Casado, J. M.; y Vicente, G. de (1987). Análisis poblacional de la fracturación tardihercínica en el sector central del Sistema Central Ibérico. *Cuad. Lab. Xeológico de Laxe*, **11**: 305-314.
- Capote, R.; Perejón, A.; y Vilas, L. (1981). Presencia de estructuras estromatolíticas en las calizas de Santa María de La Alameda (Provincia de Madrid) Sistema Central Español. *Cuaderno Geología Ibérica*, **7**: 625-632.
- Capote, R.; Casquet, C.; y Fernández Casals M. J. (1981). La tectónica Hercínica de cabalgamientos en el Sistema Central Español. *Cuadernos Geología Ibérica*, **7**: 455-469.

- Capote, R. y Fernández Casals M. J. (1975). Las series anteordovícicas del Sistema Central. *Bol. Geol. y Minero* **6**: 551-596.
- Capote, R. y Vegas R. (1968). El Paleozoico de los alrededores de Avila. *Est. Geol.*, **24**: 181-189.
- Carandell, J. (1914). Las calizas cristalinas del Guadarrama. *Trabajo Museo Nac. Ciencias Nat.*, vol. **8**, 70 pag.
- Carrasco, R. M. (1997). *Estudio Geomorfológico del Valle del Jerte (Sistema Central Español): secuencia de procesos y dinámica morfogenética actual*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, 343 pag., Madrid.
- Casillas, R. y Peinado M. (1988). Secuencias graníticas en el área de San Martín de Valdeiglesias (Sistema Central Español). En: F. Bea et al (eds.) *Geología de los granitoides y rocas asociadas del Macizo Hespérico*, 281-292, Rueda, Madrid.
- Centeno Carrillo, J. D. (1983). *Síntesis y clasificación geomorfológicas de la Sierra de Guadarrama, Sistema Central Español*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, 125 pag., Madrid.
- Centeno Carrillo, J. D. (1988). *Morfología granítica de un sector del Guadarrama occidental (Sistema Central Español)*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, 321 pag., Madrid.
- Centeno, J. D.; Fernández, P.; y Pedraza, J. (1990). *Mapa Geológico de San Martín de Valdeiglesias* (geomorfología), serie MAGNA hoja nº 557, ITGE, Madrid.
- Chorley, R. J. (ed.) (1972). *Spatial analysis in geomorphology*. Methuen, 393 pag., London.
- Chorowicz, J.; Parrot, F.; Taud, H.; Harkdaoui, M.; Rudant, J. P.; & Rouis, T. (1995). Automated pattern-recognition of geomorphic features from DEMs and satellite images. *Z. Geomorph. N.F., Supple. Band.*, **10**: 69-84.
- Christian, C. S. (1958). The concept of land units and land systems. *Proc. Ninth Pacific Sci. Congr (1957)*, pag. 74-81.

- Christian, C. S. y Stewart G. A. (1968). Methodology of integrated surveys. *Natural Resources Research Serie* **6**: 233-280.
- Dantín Cereceda, J. (1912). Resumen Fisiográfico de la Península Ibérica. *Trabajos del Museo Nacional de Ciencias Naturales* (serie antigua), vol. **9**, 275 pag., Madrid.
- Dantín Cereceda, J. (1922). *Ensayo acerca de las regiones naturales de España*. Cosano Impresor, 386 pag., Madrid.
- Dantín Cereceda, J. (1942). *Regiones naturales de España, I*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 397 pag., Madrid.
- Davis, W. H. (1899). Geographical Cycle. *Geogr. Jour.*, **14** (A): 481-504.
- Deraison, M. (1969). *Cours de géographie physique et topologie*. Eyrolles, 156 pag., Paris.
- Díaz del Olmo, F. (1987). Relaciones geomorfológicas en Tierra de Barros. *Ann. Geog. UCM*, **3**: 97-102.
- Douglas, D. H. (1986). Experiments to locate ridges and channels to create a new type of digital elevation model. *Cartographica*, **4**: 29-61.
- Doyle, F. J. (1978). Digital terrain models and overview. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **12**: 1481-1485.
- Evans, I. S. (1972). General geomorphometrie, derivatives of altitude and descriptive statistics. In: R. J. Chorley (ed.) *Spatial Analysis in Geomorphology*, pag. 17-90, Methuen, London.
- Evans, I. S. (1980). An integrated system of terrain analysis and slop mapping. *Z. Geomorph. N.F.*, Supple. Band. **36**: 274-295.
- Felicísimo, A. M. (1994). *Modelos digitales del terreno. Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales*. Pentalfa, 220 pag., Oviedo.
- Fenneman, N. M. (1916). Physiographic Divisions of the United States. *Ann. Assoc. Am. Geogr.*, **6**: 261-353.

- Fernández Casals, M. J. (1974). Significado geotectónico de la formación Gneises de la Morcuera. *Stvdia. Geológica. Salmanticensia*, **7**: 87-106.
- Fernández Casals, M. J. y Capote R. (1971). Los gneises glandulares del Guadarrama oriental. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, **69**: 69-80.
- Fernández García, P. (1988). *Geomorfología del sector comprendido entre el Sistema Central y el Macizo de Santa María de Nieva (Segovia)*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, 336 pag., Madrid
- Franklin, S. E. (1987a). Geomorphometric procesing of digital elevation models. *Computers & Geosciences*, **6**: 603-609.
- Franklin, S. E. (1987b). Terrain analysis from digital patterns in geomorphometry and Landsat MSS spectral response. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **1**: 59-65.
- Fuster, J. M. (1951). Rocas de España Central III: granitos y lampróficos del puerto de Navacerrada (Segovia). *Estudios Geológicos*, **14**: 431-441.
- Fúster, J. M. y De Pedro, F. (1954). Estudio geológico del borde meridional de la Sierra de Guadarrama entre Torreldones y Valdemorillo. *Notas y Com. del IGME*, **35**: 43-70.
- Fúster, J. M. y De Pedro, F. (1955). Geología del Valle Superior del río Eresma (Sierra de Guadarrama). *Notas y Com. del IGME*, **39**: 51-82.
- Fuster, J. M. y Mora Peña, A. (1970). El carácter del metamorfismo en el Macizo de La Cañada (Sistema Central Español). *Estudios Geológicos*, **26**: 317-321.
- Fuster, J. M. y Villaseca, C. (1988). El complejo plutónico hercínico-tardihercínico del Sistema Central Español. En: F. Bea et al (eds.) *Geología de los granitoides y rocas asociadas del Macizo Hespérico*, 27-35, Rueda, Madrid.
- García Abad, F. J. (1978). Implicaciones geomorfológicas de la estratigrafía de los enlaces meridionales Altomira-Ibérica. *Estudios Geológicos*, **34**: 215-229.
- García Cacho, L. y Aparicio Yagüe, A. (1987). *Geología del Sistema Central Español*. Consejo de Investigaciones Científicas, 32 pag., Madrid.

- García de Figuerola, L. C. (1956). Sobre los diques ácidos del oeste de la Sierra de Guadarrama (España). *Congreso Geológico Internacional de Mexico. Section, XI, A, pag.* 53-64, Mexico DF.
- Garzón Heydt, M. G. (1980). *Estudio geomorfológico de una transversal en la Sierra de Gredos oriental (Sistema Central Español). Ensayo de una cartografía geomorfológica.* Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, 425 pag., Madrid
- Gloriod, M. (1969). *Éléments de geomorphologie. Topologie.* Institut Géographique National, 112 pag., Paris.
- Gunth, P. L. (1995). Slope and aspect calculations on gridded digital elevation models: Exemples from a geomorphometric toolbox for personal computers. *Z. Geomorph. N.F., Supple. Band.* **101**: 31-52.
- Gutiérrez Elorza, M. y Rodríguez Vidal, J. (1978). Consideraciones sobre la morfogénesis del Sistema Central. *Bol. Geol. Min.,* **2**: 109-113.
- Hernández Pacheco, E. (1923). Edad y origen de la Cordillera Central de la Península Ibérica. *Asso. Española para el Progreso de las Ciencias, Congreso de Salamanca, vol. 2, pag.* 119-134.
- Hernández Pacheco, E. (1934). Síntesis fisiográfica y geológica de España. *Trabajos del Museo Nacional de Ciencias Naturales (serie geológica), vol.* **38**, 584 pag.
- Hernández Pacheco, E. (1955-1956). *Fisiografía del Solar Hispano.* Mem. R. Acad. Cienc. Exactas Fís. Nat., vol. 2, 665 pag. (t. I) y 793 pag. (t. II), Madrid.
- Hernández Pacheco, F. (1947). Ensayo de la morfogénesis de la Extremadura central. *Notas y Com. del IGME,* **17**: 167-185.
- Hernández Samaniego, A.; Cabrerías Suárez, F.; Fernández Carrasco, J.; Olivé, A.; Aguilar Tomás, M. J.; y Capote, R. (1982). *Mapa Geológico de Cardeñosa.* Serie MAGNA, hoja nº 506, ITGE, Madrid.
- Hobson, R. D. (1972). Surface roughness in topography: quantitative approach. In: R. J. Chorley (ed.) *Spacial analisis in geomorphology,* pag. 221-245, Methuen, London.

- Horton, R. E. (1932). Drainage basin characteristics. *Trans. Am. Geophys. Union*, **13**: 350-361.
- Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geolo. Soc. Am. Bulletin.*, **56**: 275-370.
- IGN (1992). Atlas Nacional de España, Secciónn 2, Grupo 9: Climatología. Dirección General del Instituto Geográfico Nacional, 24 pag., Madrid.
- Julivert, M.; Fontbote, J. M.; Ribeiro, A.; y Nabais Conde, L. E. (1972). *Mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares E: 1:1.000.000*. Instituto Geológico y Minero de España, 113 pag., Madrid.
- Köppen, W. (1923). *Die Klimate der Erde; Grundriss der Klimacunde*. Walter de Gruyter Co 325 pag., Berlin,
- Lotze, F (1945). Zur Gliederung der Varisziden der Iberischen Meseta. *Geotek. Forsch.*, **7**: 78-92.
- Lugo Hubp, J. I. (1991). *Elementos de Geografía Aplicada (Métodos Cartográficos)* Instituto de Geografía, U. Autónoma de México, 109 pag., México DF.
- MacKin, J. H. (1970). Origin of pediments in the western Unites States. In: M. Pécsi *Problems of Relief Planation*, pag. 85-105, AKADÉMIAI KIADO, Budapest.
- Marck, D. M. (1975). Computer analysis of topography: a comparison of terrain storage methods. *Geograf. Ann.* **57**: 179-188.
- Macpherson, J. (1901). Ensayo de la historia evolutiva de la Península Ibérica. *Anal. R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, **10**: 123-165.
- Martín Duque, J. F. (1977). *La geomorfoñogía en los estudios del medio físico y planificación territorial. Propuesta metodológica y aplicación a un sector del Sistema Central*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, 364 pag., Madrid.
- Martín Ridaura, A. (1986). *Clasificación y análisis Geomorfológicos del stock granítico de La Pedriza de Manzanares el Real (Madrid)*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Geológica, Universidad Complutense, 169 pag., Madrid.

- Martín Serrano, A. (1988). *El relieve de la región occidental zamorana. La evolución geomorfológica de un borde del Macizo Hespérico*. Instituto de Estudios Zamoranos "Florian de Ocampo", 311 pag., Zamora.
- McGee, W. J. (1897). Sheetflood erosion. *Geol. Soc. Am., Bull.*, **8**: 87-112.
- Nogami, T. M. (1995). Geomorphometric measures for digital elevation models. *Z. Geomorph. N.F., Supple. Band.* **101**: 53-67.
- Parga Pondal, J. R. (1969). Sistemas de fracturas tardihercínicas del Macizo Hespérico. *Trab. del Lab. Geol. de Laxe, n° 37*, 15 pag..
- Passarge, S. (1919-1921). *Die grundlagen der Landschaftskunde*. 2 volúmenes, L. Friederichsen, Hamburg.
- Passarge, S. (1931). *Geomorfología*. Labor, 189 pag., Barcelona.
- Pedraza, J. (1973) Estudio Geomorfológico del extremo oriental de la cadena San Vicente—Peña de Cenicientos. *Boll. Geol. y Minero* **84**: 1-14.
- Pedraza Gilsanz, J. (1978). *Estudio Geomorfológico de la zona de enlace entre las Sierras de Gredos y Guadarrama (Sistema Central Español)*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, 459 pag., Madrid.
- Pedraza, J y Garzón, M. 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 Gilsanz, J.; Centeno Carrillo, J. D.; Ortega, L. J.; González Alonso, S.; Aco-so, E.; y Escribano, B. (1986). *Mapa fisiográfico de Madrid*. Consejería de Agricultura y Ganadería. Comunidad Autonoma de Madrid , 42 pag., Madrid.
- Pedraza, J.; Sanz, M. A.; y Martín, A. (1989). *Formas graníticas de La Pedriza*. Agencia de Medio Ambiente de la Comunidad de Madrid, 205 pa., Madrid.
- Pedraza, J; Carrasco, R. M.; Díez Herréro, A.; Marín Duque, J. F.; Martín Ridaura, A.; y Sanz Santos, M. A. (1996). *Geomorfología: principios, métodos y aplicaciones*. Rueda, 514 pag., Madrid.

- Peinado, M. y Alvaro M. (1981). Magmatismo pre e intrahercínico en el sector metamórfico de El Escorial (Sistema Central Español). *Cuad. Geol. Iber.*, **7**: 210-206.
- Peinado Moreno, M. (1973). *Evolución Metamórfica en el Macizo de El Escorial-Villa del Prado (Sistema Central Español)*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, 300 pag., Madrid.
- Peltier, L. C. (1950). The Geographic Cycle in Periglacial Regions as it is related to Climatic Geomorphology. *Ann. Assoc. Am. Geogr.*, **40**: 214-236.
- Penck, W. (1924). Die Morphologische Analyse. *Geogr. Abh.*, **2**, 283 pág.
- Pérez González, A. (1982). *Neógeno y Cuaternario de la llanura Manchega y sus relaciones con la cuenca del Tajo*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, 787 pág., Madrid.
- Pike, R. J. (1988). The geometric signature: quantifying landslide-terrain types from digital elevation models. *Mathematical Geology*, **5**: 491-511.
- Pike, R. J. (1995). Geomorphometry—process, practice and prospect. *Z. Geomorph. N.F.*, Supple. Band. **101**: 221-238.
- Powell, J. W. (1896). The Physiography of the United States. *National Geographic Society Monographs*, **1**: 1-32 y 33-64.
- Rice, R. J. (1983). *Fundamentos de Geomorfología*. Paraninfo, 392 pág., Madrid.
- Salisbury, R. T. (1907). *Physiography*. Henry Holt, 770 pág., N.York.
- San Miguel de la Cámara, M.; García de Figuerola, L. C.; y de Pedro, F. (1960). Mapa Geológico de Las Navas del Marqués. *Mapa Geológico de España*, serie antigua, hoja nº 532. IGME, Madrid.
- San Miguel de la Cámara, M. y García de Figuerola, L. C. (1954). La adularia del Alberche. *R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, **3**: 75-81.
- Sandoval, L. (1991). *Geomorfología*. Ministerio de Defensa, 335 pág., Madrid.
- Sanz Herráiz, C. (1976). La morfología de la Pedriza de Manzanares. *Est. Geogr.*, **37**: 435-464.

Sanz Herráiz, C. (1986). *El relieve del Guadarrama oriental*. Tesis Doctoral, Facultad de Geografía e Historia, Universidad Complutense, 1100 pág. Madrid.

Sanz Herráiz, C. (1988). *El relieve del Guadarrama oriental*. Consejería de Política Territorial, Comunidad de Madrid, 547 pag.

Sanz Santos, M. A. (1987). *Los relieves residuales de la zona de enlace entre las Sierras de Gredos y Guadarrama (Sistema Central Español): Sucesión y Génesis*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, 125 pag., Madrid.

Schmieder, O. (1915). Die Sierra de Gredos. *Mitte. der Geogr. Gesellschaft*, Band. 1: 60 pag.

Schröder (1930-1947). Zona limitrofe del Guadarrama y las cadenas hespéricas. *Publicaciones extranjeras sobre Geología de España*, 4: 234-295 (original publicado en Alemania en 1930).

Schwenzner, J. E. (1937-1943). La morfología de la región montañosa central de la Meseta española. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, 41: 121-147 (original publicado en Alemania en 1937).

Scmidt-Thomé, P. (1945). Paläozoisches grundgebirge und junges Deckgebirge im Westlichen Zentralspanien (Provinz Salamanca und Cáceres). *Geotekt. Forschung*. 6: 33-77.

Solé Sabarís, L. (coor.) (1952). España, Geografía Física. En: M. Terán (ed.) *Geografía de España y Portugal*, t. I, 497 pag., Montaner y Simón, Barcelona.

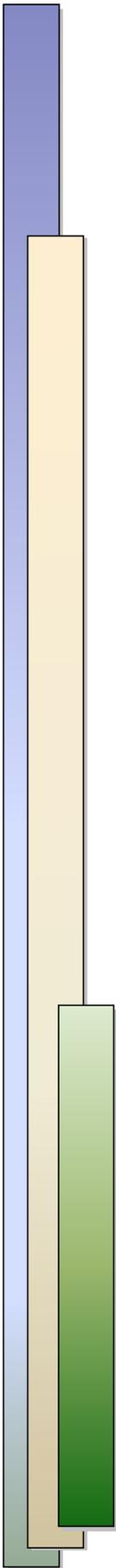
Stickell, R. (1930). Die geographische Grundzüge das Nordwestpaniens cinlsk. von Altkastilien. *Abbandl. Geograph. Magdeluburg*, 147-154.

Strahler, A. N. (1950). Equilibrium theory of erosional slopes approached by frequency distribution analysis. *Am. J. Sci.*, 248: 637-696 y 800-814.

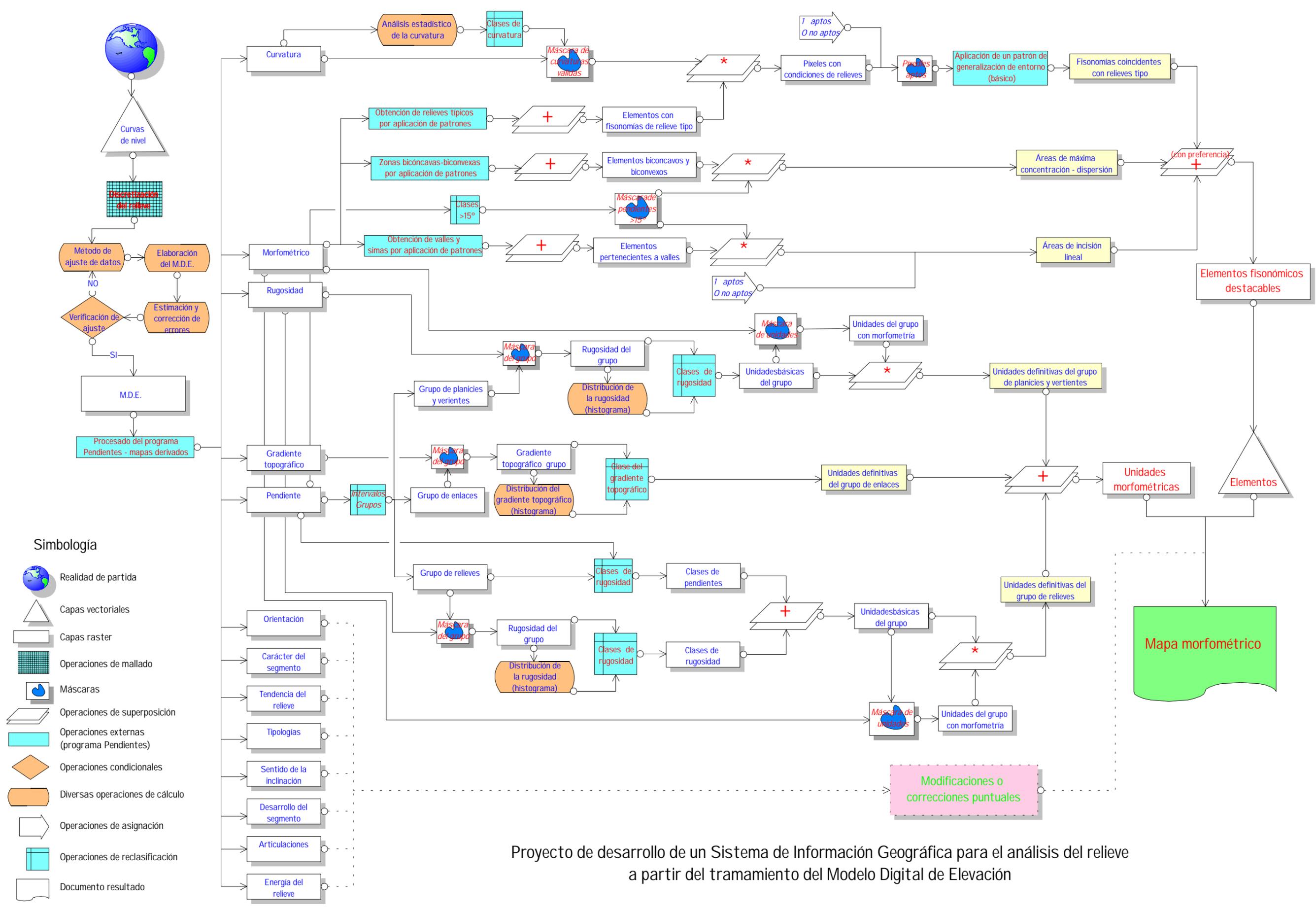
Thornbury, W. D. (1960). *Principios de Geomorfología*. Kapelusz, 643 pag., Buenos Aires (original publicado en ingles en 1956).

Thornthwaite, C. W. (1931). The climates of North America, according to a new classification. *Geog. Rev.*, 21: 633-655.

- Thornthwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geog. Rev.*, **38**: 55-94.
- Ubanell, A. G. (1981). Características principales de la fracturación tardihercínica en un segmento del Sistema Central Español. *Cuad. Geol. Ibérica*, **7**: 591-606.
- Ubanell, A. G. (1982). *Estudios de la fracturación en un segmento del Sistema Central Español*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, 217 pag., Madrid.
- Vaudour, J. (1977). *Contribution a l'etude géomorphologique d'une région méditerranéenne semi-aride. La region de Madrid. Alterations, sols et paleosols*. Thèse, Université d'Aix-Marseille, 520 pág, Marseille.
- Wilson, L. (1968). Morphogenetic classification. In: R. W. Fairbridge, *The Encyclopedia of Geomorphology*, pag., 717-729, Reinhold, N. York.
- Young, A (1963). Deductive models of slopes evolutions. *Slopes Comm. Rep.*,**3**: 45-65.
- Young, A. (1972). *Slopes*. Oliver & Boyd, 288 pag., Edinburgh.



Anexo I
Proyecto cartográfico y cartográfica

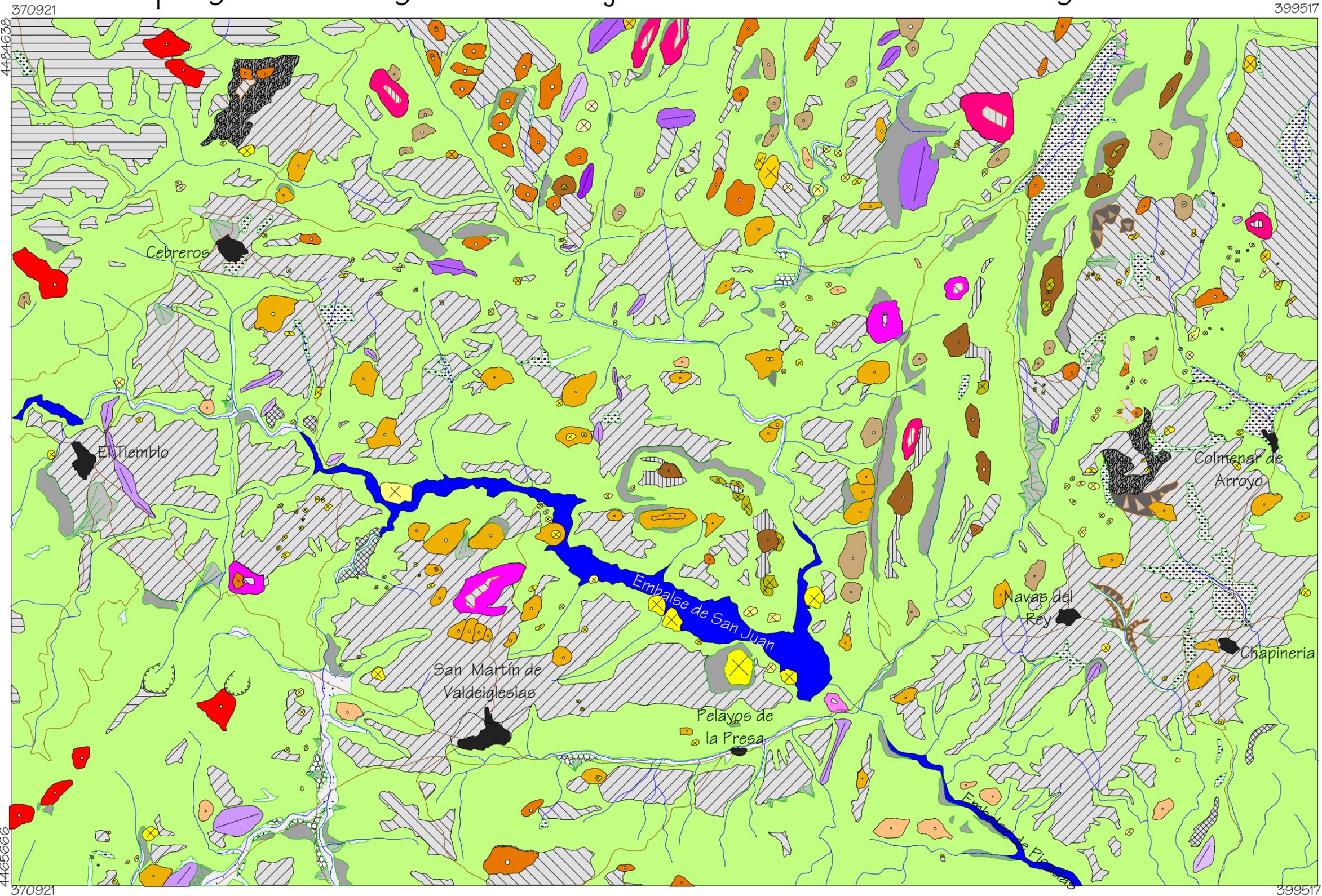


Simbología

- Realidad de partida
- Capas vectoriales
- Capas raster
- Operaciones de mallado
- Máscaras
- Operaciones de superposición
- Operaciones externas (programa Pendientes)
- Operaciones condicionales
- Diversas operaciones de cálculo
- Operaciones de asignación
- Operaciones de reclasificación
- Documento resultado

Proyecto de desarrollo de un Sistema de Información Geográfica para el análisis del relieve a partir del tramamiento del Modelo Digital de Elevación

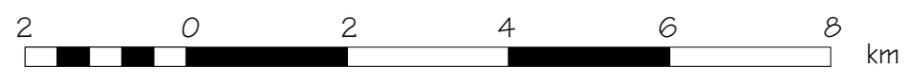
Mapa geomorfológico de la Hoja de San Martín de Valdeiglesias



Leyenda

Unidades	
Superficie de Paramera	
Superficie de Sabana	
Laderas	
Pediment Superior	
Pediment Inferior	
Vertientes de sustitución del Pediment Inferior	
Elementos	
Asociados a las superficies de erosión	
Restos de superficie	
Restos de superficie degradada	
Fondos de depresión convergentes con el pediment	
Monadnock	
Cerro Testigo	
Inselberg	
Bordhardt	
Relieves culminados en crestas	
Fluviales y formas asociadas	
Navas	
Aluvial-fondo de valle	
Conos de deyección	
Terraza actual	
Escarpe de terraza	
Cabeceras torrenciales	
Relieves litológicos	
Berrocales	
Gravitacional y mixto	
Coluviones	
Poligénico	
Glacis	

- Poblaciones
- Vías de comunicación
- Red hídrica
- Embalses

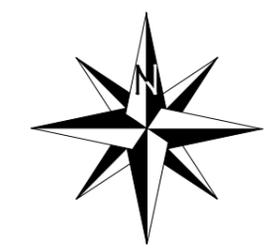
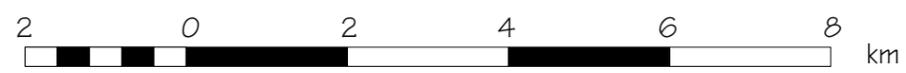
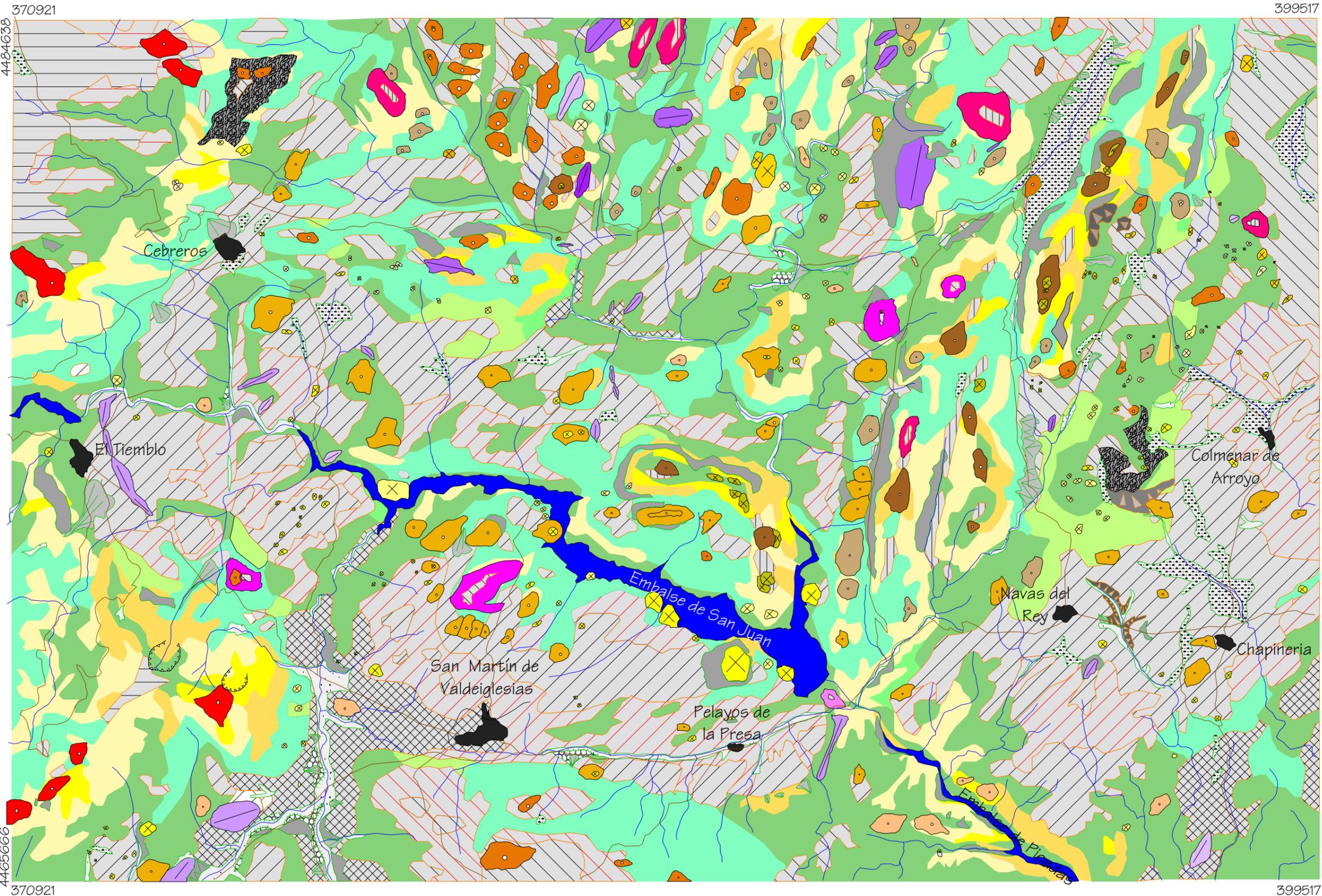


Mapa geomorfológico-morfométrico de la Hoja de San Martín de Valdeiglesias

Leyenda

Unidades	
Superficie de Paramera	
Superficie de Sabana	
Laderas	
Pediment Superior	
Pediment Inferior	
Vertientes de sustitución del Pediment Inferior	
Elementos	
Asociados a las superficies de erosión	
Restos de superficie	
Restos de superficie degradada	
Fondos de depresión convergentes con el pediment	
Monadnock	
Cerro Testigo	
Inselberg	
Bordhardt	
Relieves culminados en crestas	
Tipología de laderas	
Laderas de transición	
Laderas escalonadas	
Laderas homogéneas de pendientes medias	
Laderas homogéneas de pendiente alta	
Laderas de alta pendiente	
Laderas de muy alta pendiente con rugosidad media-alta	
Fluviales y formas asociadas	
Navas	
Aluvial-fondo de valle	
Conos de deyección	
Terraza actual	
Escarpe de terraza	
Cabeceras torrenciales	
Relieves litológicos	
Berrocales	
Gravitacional y mixto	
Coluviones	
Poligénico	
Glacis	

- Poblaciones
- Vías de comunicación
- Red hídrica
- Embalses



Mapa de elementos morfométricos de la Hoja de San Martín de Valdeiglesias

Leyenda

Elementos morfométricos

-  Zonas de dispersión de escorrentia
-  Zonas de concentración de escorrentia
-  Zonas mixtas concentración-dispersión de escorrentia
-  Zonas de máxima incisión lineal
-  Morfometrías de relieves típicos

Depósitos fluviales y formas asociadas

-  Navas
-  Aluvial-fondo de valle
-  Conos de deyección
-  Terraza actual
-  Escarpe de terraza
-  Cabeceras torrenciales

Relieves litológicos

-  Berrocales

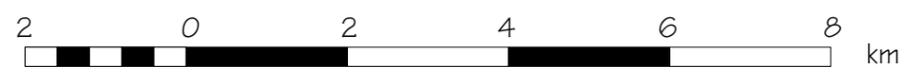
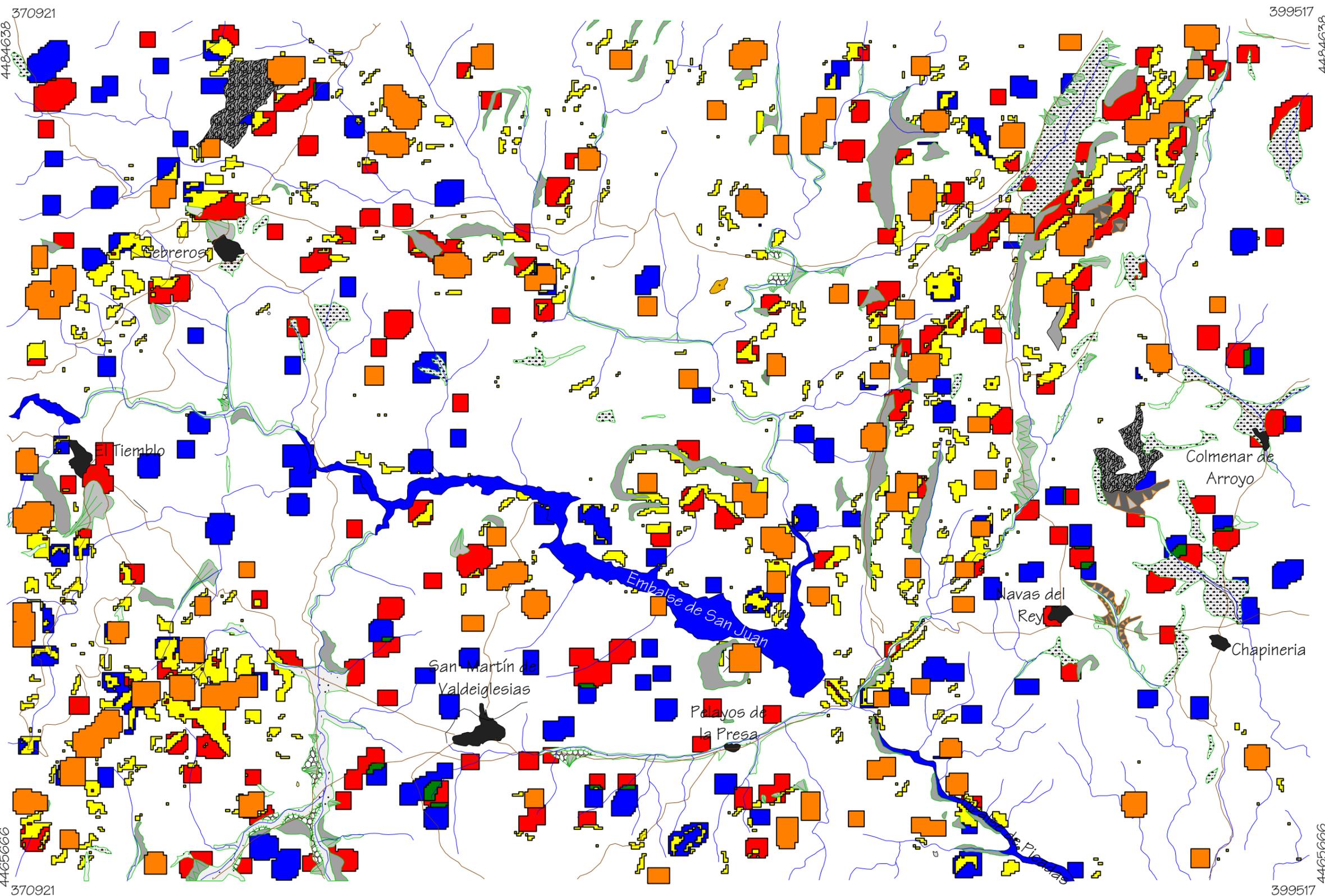
Gravitacional y mixto

-  Coluviones

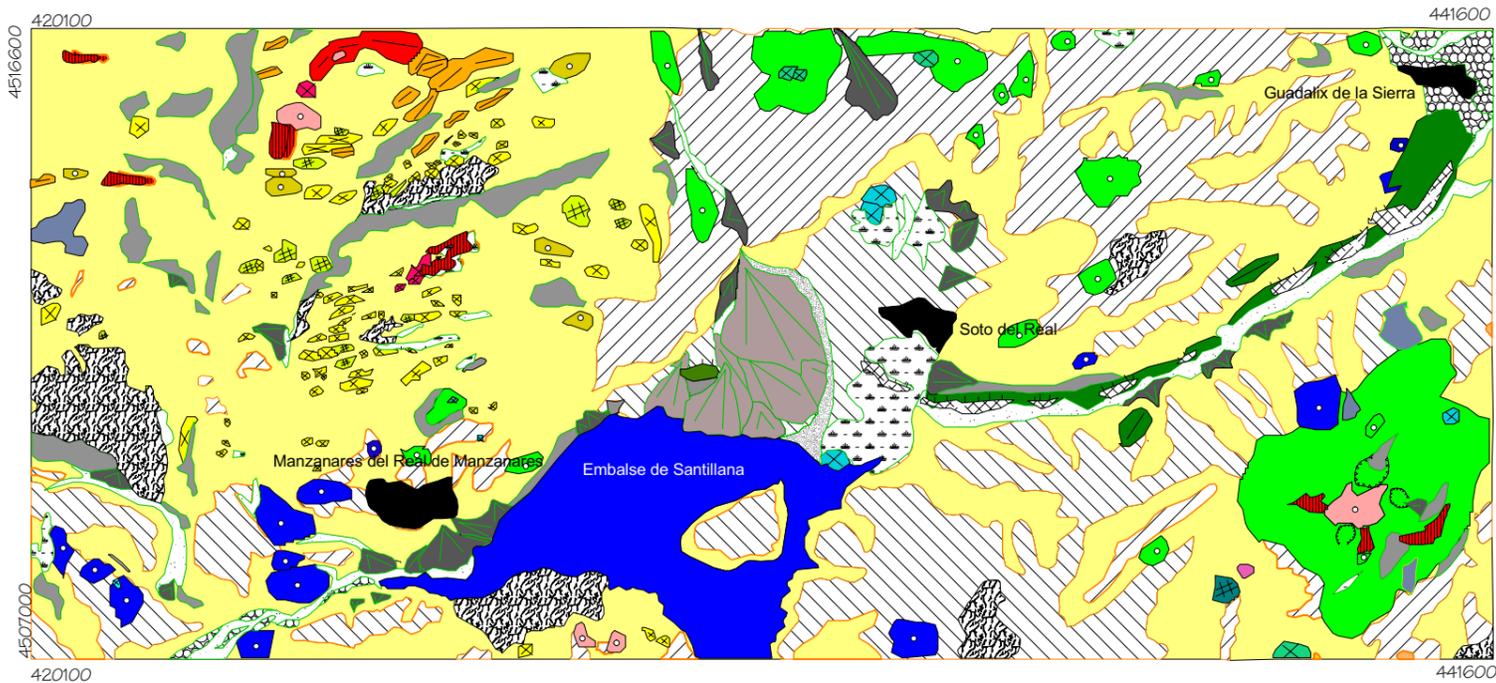
Poligénico

-  Glacis

-  Poblaciones
-  Vías de comunicación
-  Red hídrica
-  Embalses



Mapa geomorfológico de La Pedriza de Manzanares y su entorno



Leyenda

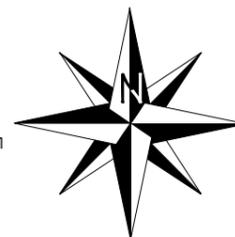
Unidades	
Superficie de Sabana	[Red hatched pattern]
Laderas	[Green hatched pattern]
Pediment Superior	[White hatched pattern]
Pediment Inferior	[Grey hatched pattern]
Elementos	
Asociados a las superficies de erosión	
Restos de superficie	[Red hatched pattern]
Inselberg	[Yellow circle]
Bordhardt y Canchales	[Yellow circle with cross]
Formas acastilladas	[Yellow circle with cross]
Relieves culminados en crestas	[Red triangle]
Tipología de laderas	
Laderas	[Green hatched pattern]
Fluviales y formas asociadas	
Navas	[Green hatched pattern]
Aluvial-fondo de valle	[Green hatched pattern]
Abanicos torrenciales	[Green hatched pattern]
Conos de deyección	[Green hatched pattern]
Terraza actual	[Green hatched pattern]
Escarpe de terraza	[Green hatched pattern]
Cabeceras torrenciales	[Green hatched pattern]
Relieves litológicos	
Berrocales	[Black hatched pattern]
Gravitacional y mixto	
Coluviones	[Green hatched pattern]
Formas estructurales	
Cuestas	[Green hatched pattern]

Leyenda

Unidades	
Superficie de Sabana	[Red hatched pattern]
Laderas	[Green hatched pattern]
Pediment Superior	[White hatched pattern]
Pediment Inferior	[Grey hatched pattern]
Elementos	
Asociados a las superficies de erosión	
Restos de superficie	[Red hatched pattern]
Restos de superficie ligeramente degradada	[Red hatched pattern]
Restos de superficie muy degradada (vertientes)	[Red hatched pattern]
Inselberg	[Yellow circle]
Bordhardt y Canchales	[Yellow circle with cross]
Formas acastilladas	[Yellow circle with cross]
Relieves culminados en crestas	[Red triangle]
Relieves litológicos	
Berrocales	[Black hatched pattern]
Gravitacional y mixto	
Coluviones	[Green hatched pattern]
Tipología de laderas	
Laderas de transición	[Green hatched pattern]
Laderas de enlace	[Green hatched pattern]
Laderas homogéneas de pendientes medias	[Green hatched pattern]
Laderas homogéneas de pendiente alta	[Green hatched pattern]
Laderas rugosas de pendiente alta	[Green hatched pattern]
Laderas de muy alta pendiente	[Green hatched pattern]
Laderas de muy alta pendiente y alta rugosidad	[Green hatched pattern]
Fluviales y formas asociadas	
Navas	[Green hatched pattern]
Aluvial-fondo de valle	[Green hatched pattern]
Abanicos torrenciales	[Green hatched pattern]
Conos de deyección	[Green hatched pattern]
Terraza actual	[Green hatched pattern]
Escarpe de terraza	[Green hatched pattern]
Cabeceras torrenciales	[Green hatched pattern]
Formas estructurales	
Cuestas	[Green hatched pattern]



Mapa geomorfológico-morfométrico de La Pedriza de Manzanares y su entorno

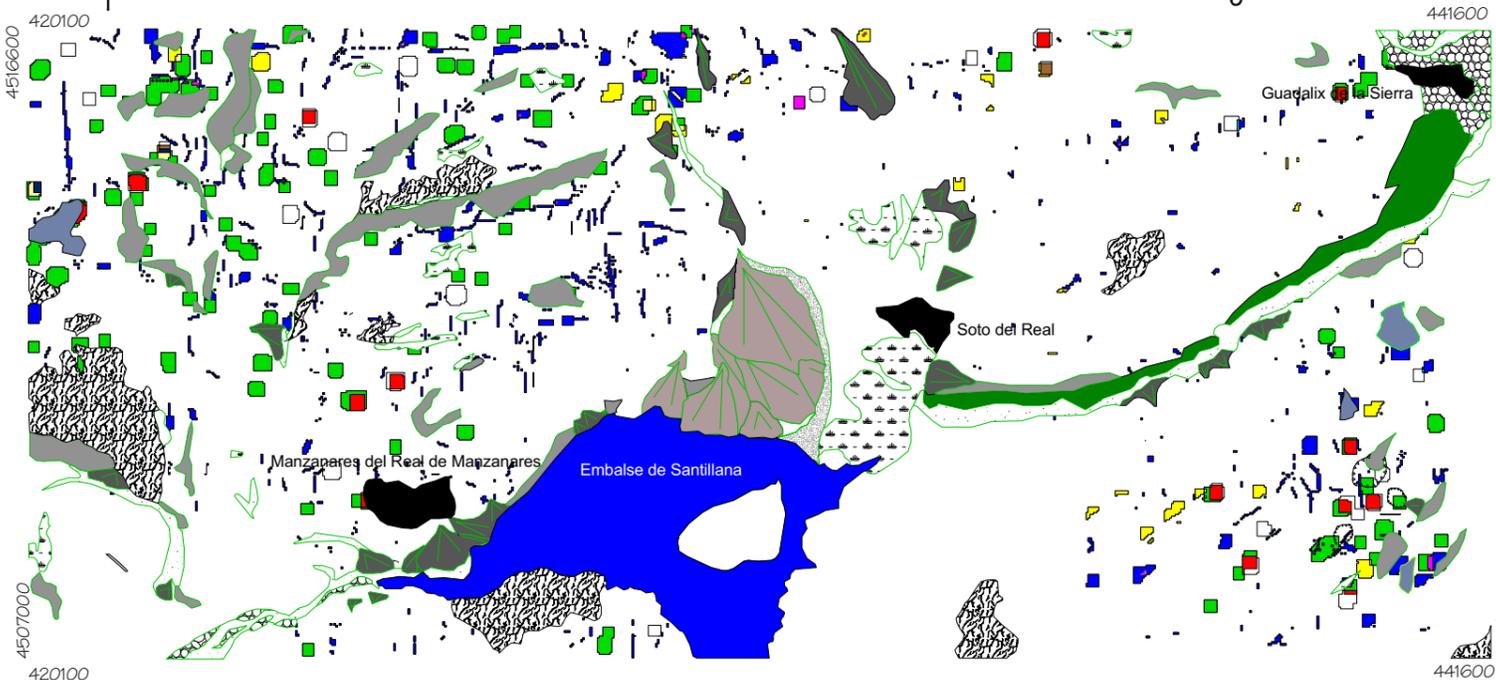


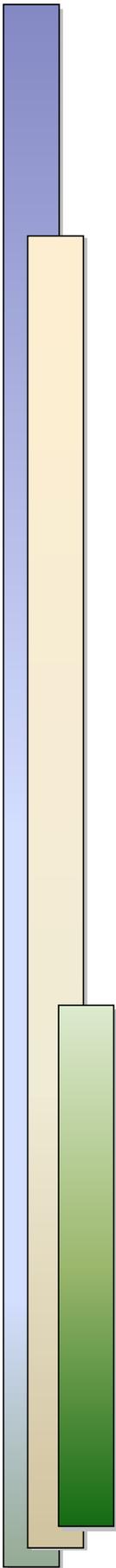
[Black shape]	Poblaciones
[Blue shape]	Embalses
[Green shape]	Afloramientos de calizas cretácicas

Leyenda

Elementos morfométricos	
[White shape]	Relieves singulares
[Green shape]	Formas geométricas
[Red shape]	Coincidencia de relieves y formas
[Blue shape]	Inciación- concentración
[Cyan shape]	Inciación- concentración sobre relieves
[Magenta shape]	Inciación- concentración sobre formas
[Yellow shape]	Dispersión
[Brown shape]	Dispersión sobre relieves
[Light yellow shape]	Dispersión sobre formas
[Dark blue shape]	Dispersión en coincidencia de relieves y formas
Fluviales y formas asociadas	
[Green hatched pattern]	Navas
[Green hatched pattern]	Aluvial-fondo de valle
[Green hatched pattern]	Abanicos torrenciales
[Green hatched pattern]	Conos de deyección
[Green hatched pattern]	Terraza actual
[Green hatched pattern]	Escarpe de terraza
[Green hatched pattern]	Cabeceras torrenciales
Formas estructurales	
[Green hatched pattern]	Cuestas
Relieves litológicos	
[Black hatched pattern]	Berrocales
Gravitacional y mixto	
[Green hatched pattern]	Coluviones

Mapa de elementos morfométricos de La Pedriza de Manzanares y su entorno





Anexo II
Programas PENDIENTES

Para realizar los cálculos necesarios en el procedimiento de análisis morfográfico de los MDE, se ha elaborado un software específico denominado “Pendientes”. Dicho programa se apoyándose en una de las herramientas de gestión de SIG (IDRISI); el lenguaje de programación utilizado ha sido Visual Basic V. 5.

Este software surge como una necesidad en esta Tesis, ante la escasez de utilidades para el tratamiento del MDE que suelen tener los programas existentes en el mercado. En nuestro caso, el programa se basa en la comparación de los elementos integrantes de los MDE, mientras las herramientas existentes lo hacen a través de cálculos de valores porcentuales, medias, máximos, mínimos, etc., así como de numerosos filtros.

A continuación se describen las características operativas del programa a modo de pequeño manual de uso, haciendo hincapié en las múltiples opciones de los menús.

La figura AB1 muestra la pantalla principal del programa “Pendientes”, la mayoría de las opciones se encuentran desactivadas, debido a que es necesaria la lectura previa de un fichero de datos. Las posibilidades operativas en esta fase son las siguientes:



1. **Fichero:** permite realizar las operaciones básicas de lectura y escritura de los datos en diferentes formatos.

- 4 Leer fichero: permite obtener los datos del modelo de elevación de ficheros con diferentes formatos (Idrisi versión 2, Idrisi- 32, Surfer versión 6 y 7, etc.).
 - 4 Guardar fichero: esta opción nos da la posibilidad de guardar el mapa derivado, calculado con algunas de las posibilidades del programa. Se encuentra desactivada hasta haber realizado algunas de las operaciones de calculo.
 - 4 Guardar todos: una vez leído un fichero de datos, permite generar y guardar todos los posibles mapas derivados; para lo que se solicitará una raíz de nombre de archivo y el tipo de formato de salida. Es necesario especificar en el menú de opciones los parámetros en el apartado de *Opciones>Configurar articulaciones*, si se omite el programa causará un error de tipo 6 y se cancelará en mitad del proceso de la obtención de los mapas derivados.
 - 4 Exportar MDE: da la posibilidad de exportar el MDE entre diferentes formatos de archivos.
2. **Ver mapa-Patrón:** es un módulo independiente que permite la comparación de elementos cualitativos del relieve.

Las posibilidades del módulo de patroneado se explican en el apartado II de esta Tesis Doctoral, así como los procesos operativos que sigue la búsqueda de semejanzas de formas, por lo que remitimos a dicho apartado para entender el funcionamiento de este módulo. Tras las operaciones de búsqueda se mostrará el resultado de la misma, permitiendo guardarlo en uno de los formatos del gestor Idrisi; la imagen que aparece en la “pizarra” no guarda las relaciones espaciales y es meramente para la visualización de los datos (Figura AB2).

Una vez que se ha leído un MDE las posibilidades del menú principal aumentan, permitiendo el acceso a la casi la totalidad de las opciones. De forma automática, se mostrará la opción de *información* cada vez que se lea un archivo, ofreciendo los datos relacionados con las dimensiones de la matriz: número de columnas y filas, espaciado entre cada una de ellas, coordenadas máximas y mínimas, así como el total de datos que conforman el MDE. La figura AB3 muestra la salida de una lectura junto con el menú principal totalmente activado.

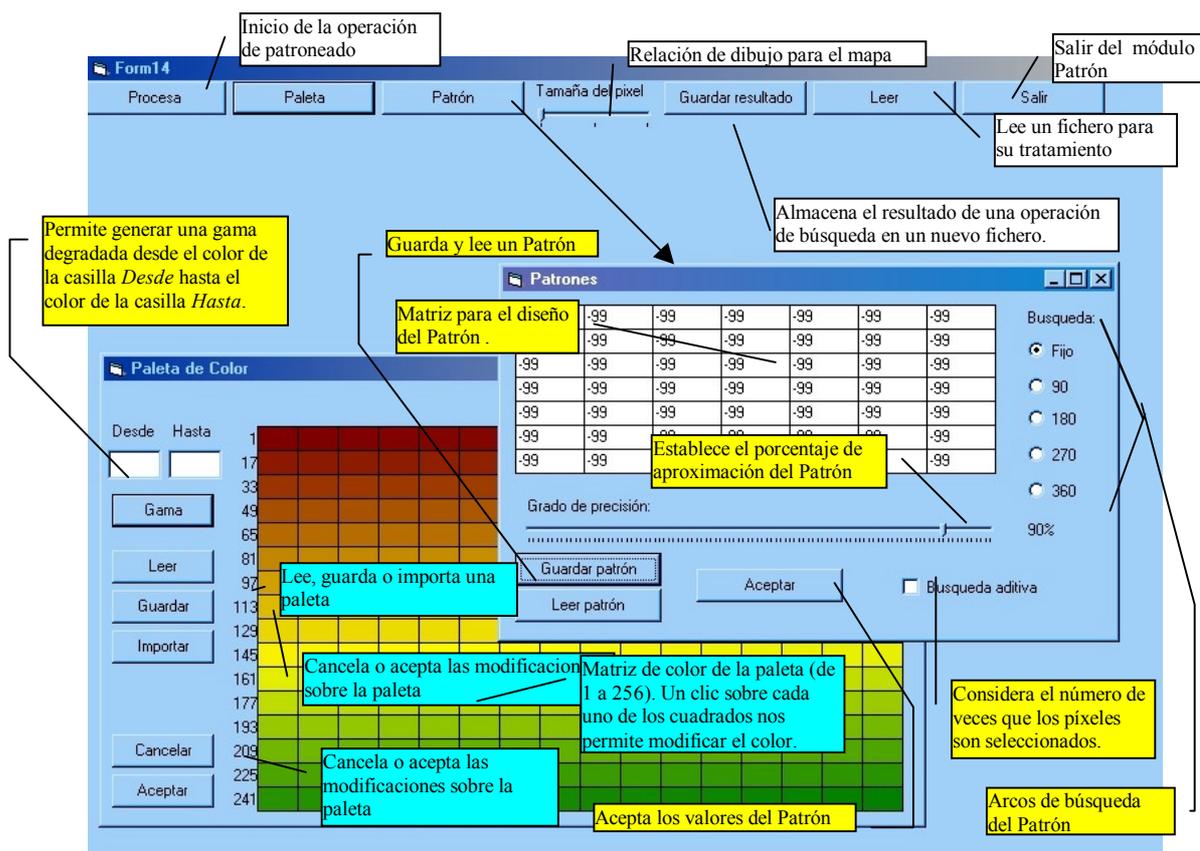


Figura AB2: Pizarra de trabajo del módulo Patrón con la descripción de cada una de las posibilidades que ofrece. La ventana de Paletas es igual para todo el programa. Los recuadros blancos hacen referencia a las descripciones de los botones del menú principal, los de fondo amarillo a la ventana de definición del patrón y los azules a la de corrección de la paleta.

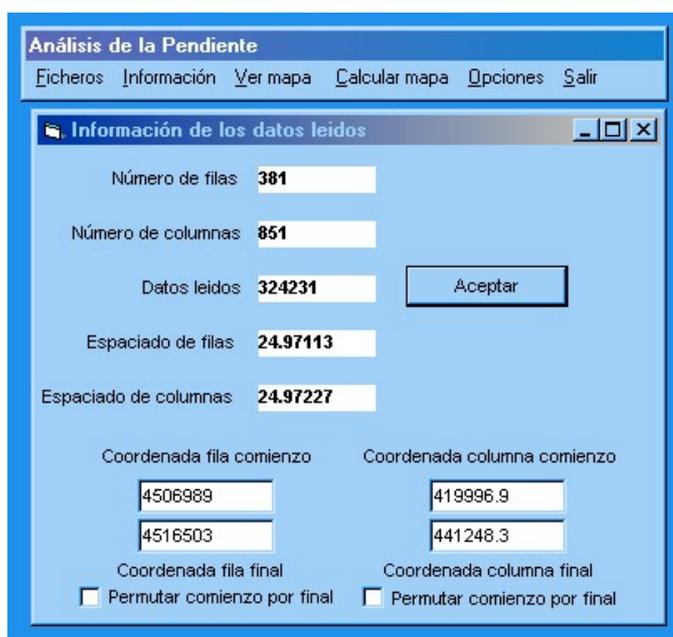


Figura AB3: Cuadro de información de los datos del MDE

Esta ventana puede ser llamada en cualquier momento y siempre dará la información del MDE; el resto de los mapas derivados mantendrán los datos expuestos, siendo válidos para todo mapa derivado del MDE inicial.

La totalidad de opciones del menú principal serán accesibles tras haber realizado una operación de generación de un mapa derivado, siendo el conjunto de posibilidades el siguiente:

3. **Ver mapa:** permite mostrar los resultados de las operaciones de lectura y cálculos realizados sobre un MDE. La figura AB4 muestra las diferentes posibilidades de visionado.

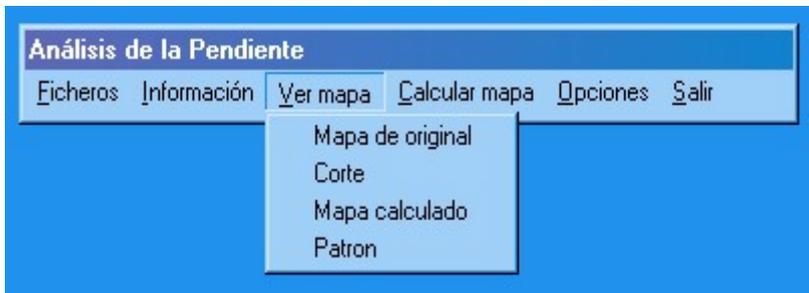


Figura AB4: menú de la opción de *Ver mapa*. La totalidad de las posibilidades se activan tras haber realizado cualquiera de las operaciones de obtención de mapas derivados

- 4 Mapa original: muestra gráficamente los datos pertenecientes al MDE, la pizarra que utiliza para la representación es similar a la del apartado de *Mapa calculado*. Los valores de elevación se ajustan a una gama de 256 colores.
- 4 Corte: permite visualizar los valores de elevación en cortes sucesivos según direcciones perpendiculares N-S o E-O; junto a la visualización de los cortes se ofrece la información del mapa derivado calculado en ese momento. La figura AB5 muestra una imagen de la pizarra de trabajo.

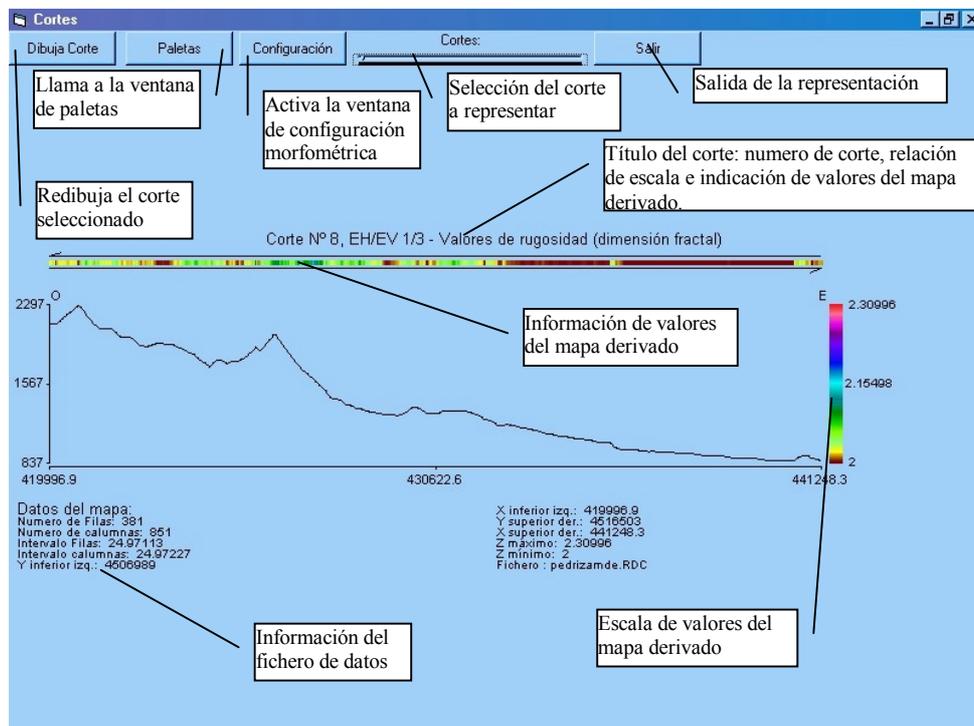
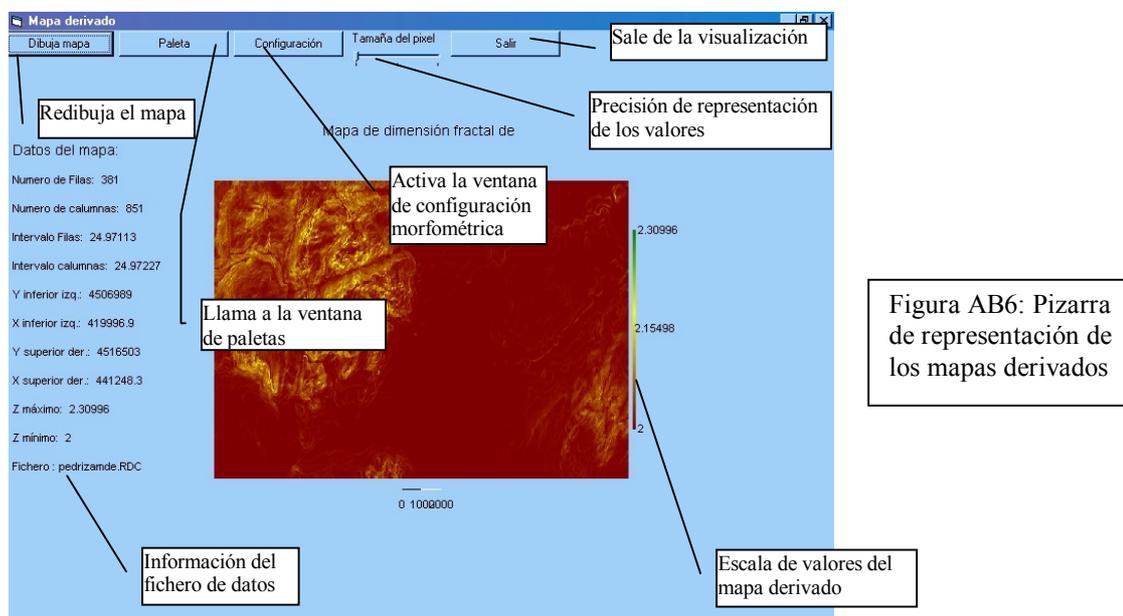


Figura AB5: representación de la ventana de visualización de los cortes seriados.

- 4 Mapa calculado: presenta en pantalla el resultado del mapa derivado obtenido, solamente será activo si se ha solicitado el cálculo de alguna de las posibilidades de la opción *Calcular mapa* del menú principal. La figura AB6 muestra una posible salida de esta opción.



4. Calcular mapa: este submenú engloba todas las posibilidades de generación de mapas derivados del MDE , las cuales se muestran en la figura AB7. El cálculo de las diferentes posibilidades se explica en el apartado II de esta Tesis y quedan agrupadas de la siguiente manera en el programa PENDIENTES:

- 4 Mapa de gradiente altitudinal: establece las variaciones de la altura para cada punto del MDE.
- 4 Orientación: estima para cada punto del MDE la orientación de la máxima pendiente.
- 4 Fractales: realiza el cálculo de la dimensión fractal del MDE, que es un buen indicativo de la rugosidad del territorio, siempre considerando la escala de trabajo.
- 4 Pendiente: permite el cálculo de la pendiente en cada punto del modelo (para más referencias revisar el punto de calculo de pendientes en el capítulo II).

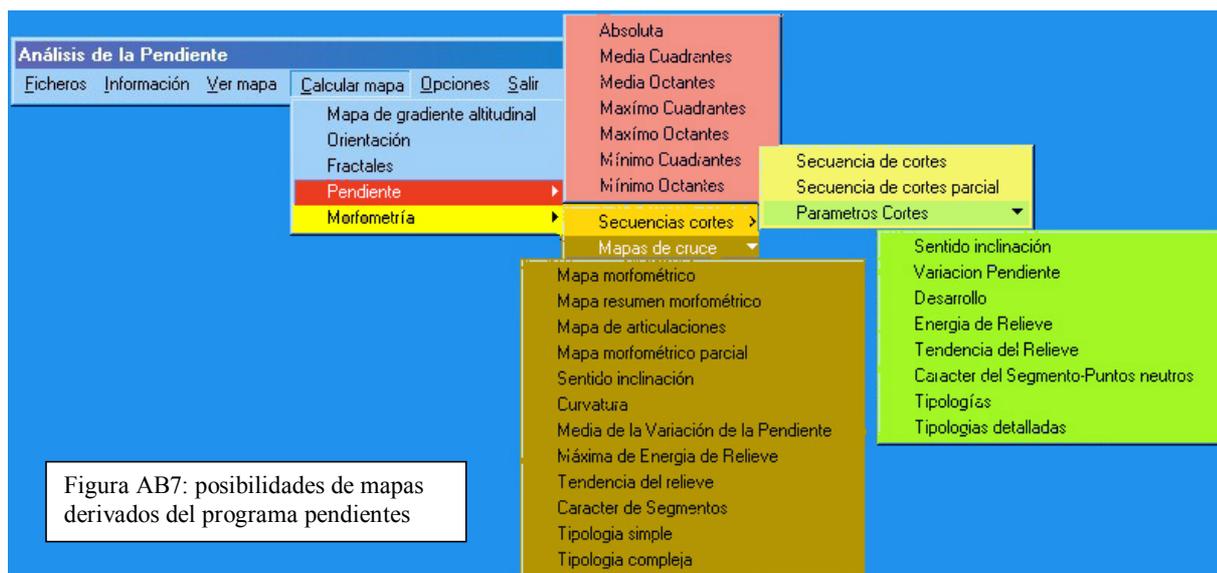


Figura AB7: posibilidades de mapas derivados del programa pendientes

4 Morfometría: este subpartado se divide en dos nuevos subapartados , uno correspondiente al análisis de sucesiones de cortes y otro al análisis areal. En el primero se realiza la sucesión de cortes independientes unos de otros y cuyo análisis solamente da información en la dirección seleccionada. El segundo corresponde al análisis sobre un cruce de series de cortes perpendiculares entre sí, dando información areal de cada uno de los puntos que conforman el MDE.

5 Secuencia de cortes:

- Secuencia de cortes: valores morfométricos del MDE.
- Secuencia de cortes parcial: permite visualizar parte de las posibilidades obtenidas en el análisis morfométrico.
- Parámetros corte: corresponden a los diferentes cálculos presentados sobre el *Corte Morfométrico* del Gráfico II.3.
 - Sentido de la Inclinación.
 - Variación de la Pendiente.
 - Desarrollo.
 - Energía de Relieve.

- Tendencia del Relieve.
 - Carácter del Segmento – Puntos neutros.
 - Tipologías.
 - Tipologías detalladas.
- Mapas de cruce: conforma la representación areal del cruce y relación de las series de cortes, sus posibles opciones son:
- Mapa Morfométrico.
 - Mapa Morfométrico resumen.
 - Mapa Morfométrico parcial.
 - Mapa de Articulaciones.
 - Sentido de la Inclinación.
 - Mapa de la Variación de la Pendiente.
 - Máximo de Energía de Relieve.
 - Tendencia del Relieve.
 - Carácter del Segmento.
 - Tipología simple.
 - Tipología compleja.
5. **Opciones:** este apartado permite establecer por un la parámetros generales del programa y, además, especificar una serie de límites para el cálculo de mapas derivados; estos últimos solamente afectan a ciertos cálculos. Las opciones posibles se ven en la figura AB8.

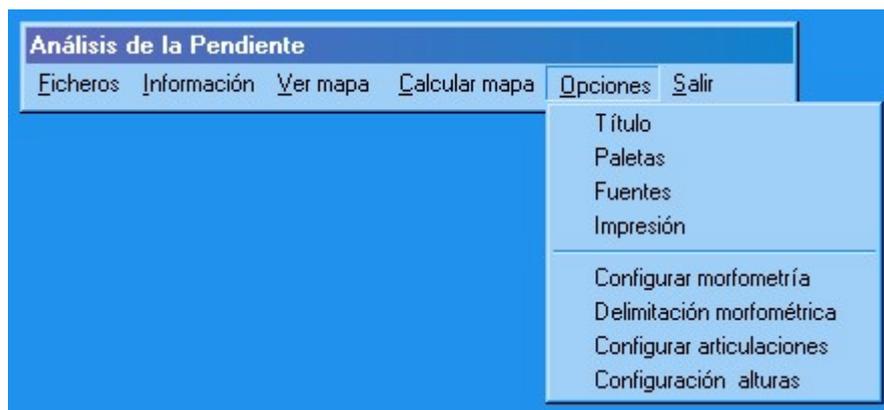


Figura AB8: Posibles selecciones del menú opciones.

- 4 Título: permite establecer un título general para todas las operaciones.
 - 4 Paletas: permite crear, importar, alterar o guardar una paleta de color que se utilizará en la representación de los diferentes mapas.
 - 4 Fuentes: permite establecer tanto el tipo de fuente como el tamaño de la misma.
 - 4 Impresión: opción deshabilitada.
 - 4 Configurar morfometría: da la posibilidad de establecer las características tanto de análisis como de visualización de los mapas morfométricos. La figura AB9 muestra las diferentes posibilidades del cuadro de diálogo.
 - 4 Delimitación morfométrica: esta opción permite establecer los valores morfométricos que se consideran tanto en la visualización como en el fichero de salida sobre este parámetro, por defecto todos están activos.
 - 4 Configurar articulaciones: permite establecer los valores de cambio de las diferentes posibilidades de este parámetro. La figura AB10 muestra el cuadro de diálogo.
 - 4 Configuración alturas: permite establecer la forma de cálculo y el número de elementos que intervienen en la estimación del *Mapa de gradiente altitudinal*.
6. **Salir:** finaliza del programa.

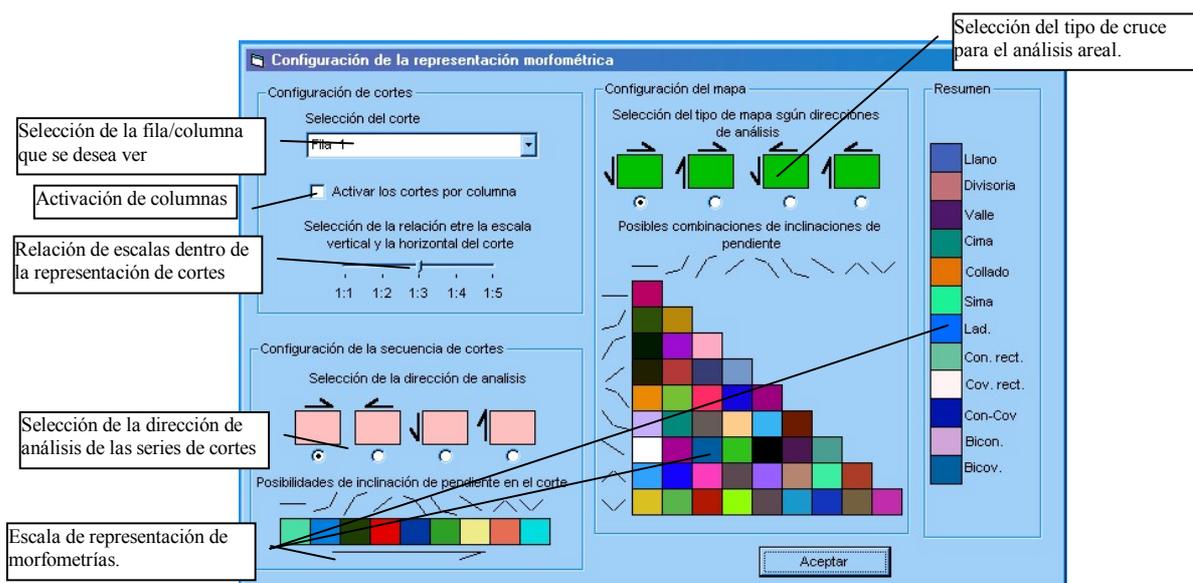


Figura AB9: cuadro de dialogo de los cálculos morfométricos

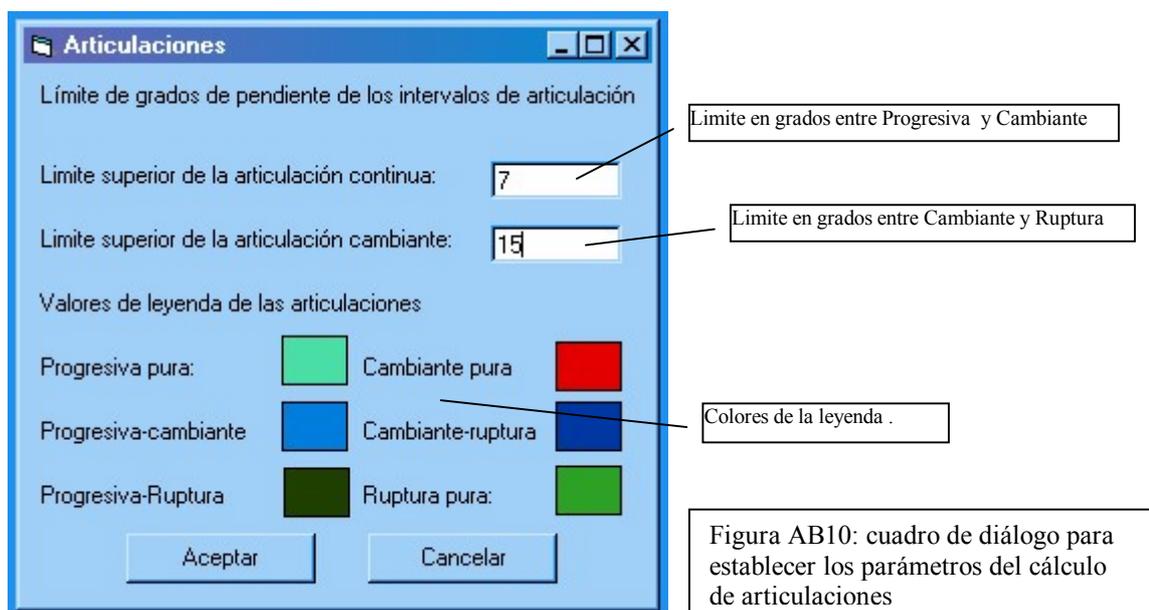
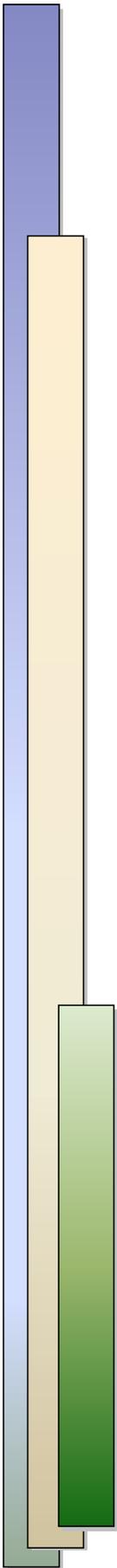


Figura AB10: cuadro de diálogo para establecer los parámetros del cálculo de articulaciones



Anexo III
Fichas hídricas y gráficos climáticos

Anexo III.- Fichas hídricas y gráficos climáticos

Capacidad de Campo 10

Situación	VILLA DEL PRADO 'PICADAS'	Índice de Aridez de Thornthwaite	62,4158
Latitud	40 ° 19 ' 45 " N	Índice de Humedad de Thornthwaite	23,4776
Longitud	4 ° 14 ' 57 " O	Índice Hídrico	-13,9718367
Altura	523 m	Clasificación Thornthwaite	CsB'a'
Período de años	1953 - 1998	Clasificación Köppen	Csac'

Mese	Precipitación	Temperatura	EVT potencial	Reserva	Vari. Reserva	EVT real	Falta agua	Exceso agua	Desagüe	Coef. Humedad	Coef. Aridez
Sep.	3.0500	22.0000	10.2728	0.0000	0.0000	3.0500	7.2228	0.0000	0.0000	0.0000	8.3992
Oct.	5.4900	15.4000	5.2363	0.2537	0.2537	5.2363	0.0000	0.0000	0.0000	0.2951	0.0000
Nov.	7.2600	10.2000	2.2800	5.2338	4.9800	2.2800	0.0000	0.0000	0.0000	5.7911	0.0000
Dic.	6.6700	7.0000	1.1888	10.0000	5.4812	1.1888	0.0000	0.7150	0.3575	6.3739	0.0000
Ene.	5.9500	6.2000	1.0073	10.0000	4.9427	1.0073	0.0000	4.9427	2.8288	5.7477	0.0000
Feb.	5.4700	8.1000	1.5533	10.0000	3.9167	1.5533	0.0000	3.9167	4.4297	4.5546	0.0000
Mar.	4.0700	11.5000	3.4549	10.0000	0.6151	3.4549	0.0000	0.6151	2.2659	0.7153	0.0000
Abr.	4.7900	13.4000	4.8027	9.9873	-0.0127	4.8027	0.0000	0.0000	0.3076	0.0000	0.0147
May.	4.8100	17.6000	8.4475	6.3499	-3.6375	8.4475	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	4.2299
Jun.	2.8800	23.4000	13.6829	0.0000	-6.3499	9.2299	4.4530	0.0000	0.0000	0.0000	12.5622
Jul.	0.9600	27.4000	18.0792	0.0000	0.0000	0.9600	17.1192	0.0000	0.0000	0.0000	19.9072
Ags.	1.1100	26.6000	15.9893	0.0000	0.0000	1.1100	14.8793	0.0000	0.0000	0.0000	17.3026
Sumatorio	52.51	188.8	85.99478203			42.3205	43.6743	10.1895	10.1895	23.4776	62.4158
Media	4.375833333	15.73333333	7.166231836			3.52670444					

Capacidad de Campo 10

Situación	PRESA DE SAN JUAN	Índice de Aridez de Thornthwaite	58,8203
Latitud	40 ° 22 ' 20 " N	Índice de Humedad de Thornthwaite	24,3084
Longitud	4 ° 18 ' 42 " O	Índice Hídrico	-10,9838009
Altura	540 m	Clasificación Thornthwaite	CsB'a'
Período de años	1931 - 1998	Clasificación Köppen	Csac'

Mese	Precipitación	Temperatura	EVT potencial	Reserva	Vari. Reserva	EVT real	Falta agua	Exceso agua	Desagüe	Coef. Humedad	Coef. Aridez
Sep.	3,1000	21,3000	9,8659	0,0000	0,0000	3,1000	6,7659	0,0000	0,0000	0,0000	8,2129
Oct.	5,7500	15,5000	5,4664	0,2836	0,2836	5,4664	0,0000	0,0000	0,0000	0,3443	0,0000
Nov.	7,3100	10,5000	2,5287	5,0650	4,7813	2,5287	0,0000	0,0000	0,0000	5,8039	0,0000
Dic.	6,6200	7,8000	1,5311	10,0000	5,0889	1,5311	0,0000	0,1538	0,0769	6,1772	0,0000
Ene.	5,6100	6,7000	1,2439	10,0000	4,3661	1,2439	0,0000	4,3661	2,2600	5,2999	0,0000
Feb.	5,2100	8,2000	1,7001	10,0000	3,5099	1,7001	0,0000	3,5099	3,9380	4,2605	0,0000
Mar.	5,3600	11,3000	3,5307	10,0000	1,8293	3,5307	0,0000	1,8293	2,6696	2,2205	0,0000
Abr.	5,0500	13,2000	4,8835	10,0000	0,1665	4,8835	0,0000	0,1665	0,9979	0,2021	0,0000
May.	5,0500	17,0000	8,1897	6,8603	-3,1397	8,1897	0,0000	0,0000	0,0832	0,0000	3,8112
Jun.	2,7300	22,0000	12,4900	0,0000	-6,8603	9,5903	2,8997	0,0000	0,0000	0,0000	11,8473
Jul.	0,9100	25,7000	16,2879	0,0000	0,0000	0,9100	15,3779	0,0000	0,0000	0,0000	18,6667
Ags.	1,2500	25,2000	14,6636	0,0000	0,0000	1,2500	13,4136	0,0000	0,0000	0,0000	16,2823
Sumatorio	53,95	184,4	82,38142262			43,9244	38,4570	10,0256	10,0256	24,3084	58,8203
Media	4,495833333	15,36666667	6,865118552			3,66036622					

Capacidad de Campo 10

Situación	NOMBELA	Índice de Aridez de Thornthwaite	66,4272
Latitud	40° 09' N	Índice de Humedad de Thornthwaite	30,6031
Longitud	4° 30' O	Índice Hídrico	-9,25319001
Altura	603 m	Clasificación Thornthwaite	CsB'a'
Período de años	1970-1989	Clasificación Köppen	Csac'

Mese	Precipitación	Temperatura	EVT potencial	Reserva	Vari. Reserva	EVT real	Falta agua	Exceso agua	Desagüe	Coef. Humedad	Coef. Aridez
Sep.	1,6000	21,8000	10,2329	0,0000	0,0000	1,6000	8,6329	0,0000	0,0000	0,0000	10,2598
Oct.	3,6000	17,0000	6,3302	0,0000	0,0000	3,6000	2,7302	0,0000	0,0000	0,0000	3,2447
Nov.	5,9000	9,7000	2,1918	3,7082	3,7082	2,1918	0,0000	0,0000	0,0000	4,4070	0,0000
Dic.	5,3000	4,7000	0,6663	8,3419	4,6337	0,6663	0,0000	0,0000	0,0000	5,5069	0,0000
Ene.	11,0000	5,4000	0,8643	10,0000	10,1357	0,8643	0,0000	8,4776	4,2388	12,0457	0,0000
Feb.	5,2000	7,2000	1,3732	10,0000	3,8268	1,3732	0,0000	3,8268	6,1522	4,5479	0,0000
Mar.	5,8000	8,8000	2,3538	10,0000	3,4462	2,3538	0,0000	3,4462	3,6365	4,0957	0,0000
Abr.	4,0000	13,2000	4,8713	9,1287	-0,8713	4,8713	0,0000	0,0000	1,7231	0,0000	1,0354
May.	6,7000	16,5000	7,8558	7,9730	-1,1558	7,8558	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,3736
Jun.	2,7000	21,3000	11,9432	0,0000	-7,9730	10,6730	1,2702	0,0000	0,0000	0,0000	10,9850
Jul.	1,0000	28,5000	19,2345	0,0000	0,0000	1,0000	18,2345	0,0000	0,0000	0,0000	21,6706
Ags.	1,2000	26,7000	16,2265	0,0000	0,0000	1,2000	15,0265	0,0000	0,0000	0,0000	17,8581
Sumatorio	54	180,8	84,14370608			38,2494	45,8943	15,7506	15,7506	30,6031	66,4272
Media	4,5	15,06666667	7,011975506			3,18744862					

Miguel Ángel Sanz Santos

Capacidad de Campo 10

Situación	PRESA DE BURGUILLO	Índice de Aridez de Thornthwaite	54,6193
Latitud	40 ° 25 ' 35 " N	Índice de Humedad de Thornthwaite	39,5038
Longitud	4 ° 31 ' 57 " O	Índice Hidrico	6,73220885
Altura	750 m	Clasificación Thornthwaite	CsB'a'
Período de años	1942 - 1998	Clasificación Köppen	Csac'

Mese	Precipitación	Temperatura	EVT potencial	Reserva	Vari. Reserva	EVT real	Falta agua	Exceso agua	Desagüe	Coef. Humedad	Coef. Aridez
Sep.	3,2800	19,9000	9,0748	0,0000	0,0000	3,2800	5,7948	0,0000	0,0000	0,0000	7,3691
Oct.	6,8600	15,1000	5,5066	1,3534	1,3534	5,5066	0,0000	0,0000	0,0000	1,7211	0,0000
Nov.	9,8500	10,0000	2,5449	8,6585	7,3051	2,5449	0,0000	0,0000	0,0000	9,2897	0,0000
Dic.	8,2000	7,3000	1,5394	10,0000	6,6606	1,5394	0,0000	5,3191	2,6596	8,4702	0,0000
Ene.	7,1300	6,3000	1,2761	10,0000	5,8539	1,2761	0,0000	5,8539	5,5865	7,4442	0,0000
Feb.	6,6900	7,9000	1,7786	10,0000	4,9114	1,7786	0,0000	4,9114	5,3826	6,2457	0,0000
Mar.	6,2000	10,6000	3,4506	10,0000	2,7494	3,4506	0,0000	2,7494	3,8304	3,4964	0,0000
Abr.	6,9500	12,4000	4,7196	10,0000	2,2304	4,7196	0,0000	2,2304	2,4899	2,8364	0,0000
May.	6,2600	15,6000	7,4737	8,7863	-1,2137	7,4737	0,0000	0,0000	1,1152	0,0000	1,5434
Jun.	2,8900	20,9000	11,7511	0,0000	-8,7863	11,7511	0,0748	0,0000	0,0000	0,0000	11,2684
Jul.	1,2600	24,8000	15,4848	0,0000	0,0000	1,2600	14,2248	0,0000	0,0000	0,0000	18,0893
Ags.	1,1800	24,4000	14,0362	0,0000	0,0000	1,1800	12,8562	0,0000	0,0000	0,0000	16,3490
Sumatorio	66,75	175,2	78,63626537			45,6857	32,9506	21,0643	21,0643	39,5038	54,6193
Media	5,5625	14,6	6,553022114			3,80714233					

Capacidad de Campo 10

Situación	EL TIEMBLIO 'CENTRAL PUENTE NUEVO'	Índice de Aridez de Thornthwaite	59,5904
Latitud	40 ° 24 ' 40 " N	Índice de Humedad de Thornthwaite	32,4239
Longitud	4 ° 26 ' 27 " O	Índice Hidrico	-3,33029301
Altura	580 m	Clasificación Thornthwaite	CsB'a'
Período de años	1933 - 1998	Clasificación Köppen	Csac'

Mese	Precipitación	Temperatura	EVT potencial	Reserva	Vari. Reserva	EVT real	Falta agua	Exceso agua	Desagüe	Coef. Humedad	Coef. Aridez
Sep.	2,7100	19,3000	8,8248	0,0000	0,0000	2,7100	6,1148	0,0000	0,0000	0,0000	7,9672
Oct.	5,2300	13,5000	4,8279	0,4021	0,4021	4,8279	0,0000	0,0000	0,0000	0,5239	0,0000
Nov.	9,6300	8,8000	2,2313	7,8009	7,3987	2,2313	0,0000	0,0000	0,0000	9,6400	0,0000
Dic.	7,3800	6,3000	1,3351	10,0000	6,0449	1,3351	0,0000	3,8457	1,9229	7,8760	0,0000
Ene.	6,6800	5,4000	1,1049	10,0000	5,5751	1,1049	0,0000	5,5751	4,7104	7,2639	0,0000
Feb.	4,9000	7,1000	1,6297	10,0000	3,2703	1,6297	0,0000	3,2703	4,4227	4,2610	0,0000
Mar.	4,4900	9,5000	3,0971	10,0000	1,3929	3,0971	0,0000	1,3929	2,3316	1,8148	0,0000
Abr.	5,1600	11,4000	4,3585	10,0000	0,8015	4,3585	0,0000	0,8015	1,0972	1,0443	0,0000
May.	4,8300	15,2000	7,4182	7,4118	-2,5882	7,4182	0,0000	0,0000	0,4007	0,0000	3,3722
Jun.	2,6500	20,0000	11,1745	0,0000	-7,4118	11,1745	1,1127	0,0000	0,0000	0,0000	11,0668
Jul.	1,1300	23,9000	14,7353	0,0000	0,0000	1,1300	13,6053	0,0000	0,0000	0,0000	17,7267
Ags.	1,1100	26,6000	16,0130	0,0000	0,0000	1,1100	14,9030	0,0000	0,0000	0,0000	19,4175
Sumatorio	55,9	167	76,7503262			41,0145	35,7358	14,8855	14,8855	32,4239	59,5904
Media	4,658333333	13,91666667	6,395860517			3,41787813					

Capacidad de Campo 10

Situación	COLLADO-VILLALBA	Índice de Aridez de Thornthwaite	53,7843
Latitud	40° 38' N	Índice de Humedad de Thornthwaite	38,3079
Longitud	3° 59' O	Índice Hidrico	6,037325453
Altura	917 m.	Clasificación Thornthwaite	CsB'a'
Período de años	1970-1989	Clasificación Köppen	Csac'

Mese	Precipitación	Temperatura	EVT potencial	Reserva	Vari. Reserva	EVT real	Falta agua	Exceso agua	Desagüe	Coef. Humedad	Coef. Aridez
Sep.	6,0000	20,2000	9,5589	0,0000	0,0000	6,0000	3,5589	0,0000	0,0000	0,0000	4,7223
Oct.	7,3000	13,3000	4,8796	2,4204	2,4204	4,8796	0,0000	0,0000	0,0000	3,2116	0,0000
Nov.	7,0000	7,1000	1,7122	7,7082	5,2878	1,7122	0,0000	0,0000	0,0000	7,0164	0,0000
Dic.	9,3000	5,2000	1,0743	10,0000	8,2257	1,0743	0,0000	5,9340	2,9670	10,9147	0,0000
Ene.	5,8000	5,1000	1,0843	10,0000	4,7157	1,0843	0,0000	4,7157	5,3248	6,2573	0,0000
Feb.	5,6000	6,1000	1,3975	10,0000	4,2025	1,3975	0,0000	4,2025	4,4591	5,5762	0,0000
Mar.	5,8000	8,8000	2,9155	10,0000	2,8845	2,9155	0,0000	2,8845	3,5435	3,8275	0,0000
Abr.	5,5000	11,1000	4,3664	10,0000	1,1336	4,3664	0,0000	1,1336	2,0090	1,5041	0,0000
May.	4,1000	16,2000	8,4032	5,6968	-4,3032	8,4032	0,0000	0,0000	0,5668	0,0000	5,7099
Jun.	5,0000	19,9000	11,3379	0,0000	-5,6968	10,6968	0,6411	0,0000	0,0000	0,0000	8,4098
Jul.	0,6000	24,2000	15,0797	0,0000	0,0000	0,6000	14,4797	0,0000	0,0000	0,0000	19,2132
Ags.	1,7000	23,5000	13,5540	0,0000	0,0000	1,7000	11,8540	0,0000	0,0000	0,0000	15,7291
Sumatorio	63,7	160,7	75,36356365			44,8298	30,5338	18,8702	18,8702	38,3079	53,7843
Media	5,308333333	13,39166667	6,280296971			3,73581629					

Anexo III.- Fichas hídricas y gráficos climáticos

Capacidad de Campo	10		
Situación	NAVALAGAMELLA	Índice de Aridez de Thornthwaite	64,7100
Latitud	40° 23' N	Índice de Humedad de Thornthwaite	25,8067
Longitud	4° 09' O	Índice Hídrico	-13,0193451
Altura	590 m	Clasificación Thornthwaite	CsB'a'
Período de años	1970-1989	Clasificación Köppen	Csac'

Mese	Precipitación	Temperatura	EVT potencial	Reserva	Vari. Reserva	EVT real	Falta agua	Exceso agua	Desagüe	Coef. Humedad	Coef. Aridez
Sep.	3,6000	19,2000	8,6611	0,0000	0,0000	3,6000	5,0611	0,0000	0,0000	0,0000	6,4554
Oct.	5,4000	15,3000	5,6914	0,0000	0,0000	5,4000	0,2914	0,0000	0,0000	0,0000	0,3717
Nov.	6,8000	8,8000	2,1503	4,6497	4,6497	2,1503	0,0000	0,0000	0,0000	5,9307	0,0000
Dic.	4,1000	5,0000	0,9004	7,8493	3,1996	0,9004	0,0000	0,0000	0,0000	4,0811	0,0000
Ene.	6,3000	5,9000	1,1963	10,0000	5,1037	1,1963	0,0000	2,9530	1,4765	6,5098	0,0000
Feb.	6,4000	7,7000	1,7608	10,0000	4,6392	1,7608	0,0000	4,6392	3,7961	5,9174	0,0000
Mar.	5,4000	9,0000	2,7597	10,0000	2,6403	2,7597	0,0000	2,6403	3,6397	3,3677	0,0000
Abr.	3,4000	13,5000	5,4565	7,9435	-2,0565	5,4565	0,0000	0,0000	1,3201	0,0000	2,6230
May.	3,1000	16,1000	7,9341	3,1094	-4,8341	7,9341	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	6,1659
Jun.	1,8000	21,2000	12,0742	0,0000	-3,1094	4,9094	7,1648	0,0000	0,0000	0,0000	13,1048
Jul.	0,7000	25,2000	15,8893	0,0000	0,0000	0,7000	15,1893	0,0000	0,0000	0,0000	19,3740
Ags.	0,9000	24,1000	13,9263	0,0000	0,0000	0,9000	13,0263	0,0000	0,0000	0,0000	16,6151
Sumatorio	47,9	171	78,40036926			37,6675	40,7329	10,2325	10,2325	25,8067	64,7100
Media	3,991666667	14,25	6,533364105			3,13895689					

Capacidad de Campo	10		
Situación	MADRID RETIRO	Índice de Aridez de Thornthwaite	60,2220
Latitud	40° 24' N	Índice de Humedad de Thornthwaite	18,8100
Longitud	3° 40' O	Índice Hídrico	-17,3231896
Altura	667 m	Clasificación Thornthwaite	CsB'a'
Período de años	1961-1990	Clasificación Köppen	Csac'

Mese	Precipitación	Temperatura	EVT potencial	Reserva	Vari. Reserva	EVT real	Falta agua	Exceso agua	Desagüe	Coef. Humedad	Coef. Aridez
Sep.	3,0000	20,5000	9,5556	0,0000	0,0000	3,0000	6,5556	0,0000	0,0000	0,0000	8,4228
Oct.	4,5000	14,8000	5,4180	0,0000	0,0000	4,5000	0,9180	0,0000	0,0000	0,0000	1,1795
Nov.	6,4000	9,4000	2,3755	4,0245	4,0245	2,3755	0,0000	0,0000	0,0000	5,1707	0,0000
Dic.	5,1000	6,4000	1,3045	7,8200	3,7955	1,3045	0,0000	0,0000	0,0000	4,8766	0,0000
Ene.	4,6000	6,1000	1,2591	10,0000	3,3409	1,2591	0,0000	1,1609	0,5805	4,2925	0,0000
Feb.	4,4000	7,5000	1,6946	10,0000	2,7054	1,6946	0,0000	2,7054	1,9332	3,4760	0,0000
Mar.	3,3000	10,0000	3,2339	10,0000	0,0661	3,2339	0,0000	0,0661	1,3858	0,0850	0,0000
Abr.	5,4000	12,2000	4,6923	10,0000	0,7077	4,6923	0,0000	0,7077	0,3869	0,9092	0,0000
May.	4,1000	16,0000	7,8640	6,2360	-3,7640	7,8640	0,0000	0,0000	0,3538	0,0000	4,8360
Jun.	2,6000	20,7000	11,6531	0,0000	-6,2360	8,8360	2,8171	0,0000	0,0000	0,0000	11,6317
Jul.	1,3000	24,4000	15,1415	0,0000	0,0000	1,3000	13,8415	0,0000	0,0000	0,0000	17,7839
Ags.	0,9000	23,9000	13,6395	0,0000	0,0000	0,9000	12,7395	0,0000	0,0000	0,0000	16,3680
Sumatorio	45,6	171,9	77,83160491			40,9599	36,8717	4,6401	4,6401	18,8100	60,2220
Media	3,8	14,325	6,485967076			3,41332366					

Capacidad de Campo	10		
Situación	MADRID CUATRO VIENTOS B.A.	Índice de Aridez de Thornthwaite	60,9552
Latitud	40° 22' N	Índice de Humedad de Thornthwaite	20,9353
Longitud	3° 47' O	Índice Hídrico	-15,6378304
Altura	687 m	Clasificación Thornthwaite	CsB'a'
Período de años	1961-1990	Clasificación Köppen	Csac'

Mese	Precipitación	Temperatura	EVT potencial	Reserva	Vari. Reserva	EVT real	Falta agua	Exceso agua	Desagüe	Coef. Humedad	Coef. Aridez
Sep.	2,7000	20,4000	9,5499	0,0000	0,0000	2,7000	6,8499	0,0000	0,0000	0,0000	8,8930
Oct.	4,3000	14,6000	5,3885	0,0000	0,0000	4,3000	1,0885	0,0000	0,0000	0,0000	1,4131
Nov.	6,2000	9,0000	2,2861	3,9139	3,9139	2,2861	0,0000	0,0000	0,0000	5,0813	0,0000
Dic.	5,4000	6,0000	1,2285	8,0853	4,1715	1,2285	0,0000	0,0000	0,0000	5,4157	0,0000
Ene.	4,7000	5,6000	1,1511	10,0000	3,5489	1,1511	0,0000	1,6343	0,8171	4,6075	0,0000
Feb.	4,6000	6,9000	1,5463	10,0000	3,0537	1,5463	0,0000	3,0537	2,3440	3,9645	0,0000
Mar.	3,4000	9,3000	2,9772	10,0000	0,4228	2,9772	0,0000	0,4228	1,7382	0,5489	0,0000
Abr.	5,4000	11,5000	4,3852	10,0000	1,0148	4,3852	0,0000	1,0148	0,7188	1,3175	0,0000
May.	4,2000	15,7000	7,7452	6,4548	-3,5452	7,7452	0,0000	0,0000	0,5074	0,0000	4,6027
Jun.	2,6000	20,6000	11,6442	0,0000	-6,4548	9,0548	2,5894	0,0000	0,0000	0,0000	11,7418
Jul.	1,5000	24,6000	15,3606	0,0000	0,0000	1,5000	13,8606	0,0000	0,0000	0,0000	17,9947
Ags.	1,2000	24,0000	13,7627	0,0000	0,0000	1,2000	12,5627	0,0000	0,0000	0,0000	16,3098
Sumatorio	46,2	168,2	77,02555827			40,0745	36,9511	6,1255	6,1255	20,9353	60,9552
Media	3,85	14,016666667	6,418796523			3,33953984					

Miguel Ángel Sanz Santos

Capacidad de Campo 10

Situación	TORREJON DE ARDOZ B.A.	Indice de Aridez de Thornthwaite	62,2469
Latitud	40° 29' N	Indice de Humedad de Thornthwaite	15,2402
Longitud	3° 27' O	Indice Hidrico	-22,1079392
Altura	611 m	Clasificación Thornthwaite	DsB'a'
Perido de años	1961-1990	Clasificación Köppen	Csac'

Mese	Precipitación	Temperatura	EVT potencial	Reserva	Vari. Reserva	EVT real	Falta agua	Exceso agua	Desagüe	Coef. Humedad	Coef. Aridez
Sep.	2,7000	20,2000	9,4471	0,0000	0,0000	2,7000	6,7471	0,0000	0,0000	0,0000	8,8285
Oct.	4,0000	14,6000	5,4310	0,0000	0,0000	4,0000	1,4310	0,0000	0,0000	0,0000	1,8724
Nov.	5,6000	9,0000	2,3186	3,2814	3,2814	2,3186	0,0000	0,0000	0,0000	4,2937	0,0000
Dic.	4,1000	5,9000	1,2222	6,1592	2,8778	1,2222	0,0000	0,0000	0,0000	3,7655	0,0000
Ene.	4,0000	5,5000	1,1441	9,0151	2,8559	1,1441	0,0000	0,0000	0,0000	3,7369	0,0000
Feb.	4,2000	7,0000	1,6070	10,0000	2,5930	1,6070	0,0000	1,6081	0,8040	3,3928	0,0000
Mar.	3,0000	9,2000	2,9710	10,0000	0,0290	2,9710	0,0000	0,0290	0,8185	0,0379	0,0000
Abr.	4,5000	11,6000	4,4898	10,0000	0,0102	4,4898	0,0000	0,0102	0,0196	0,0134	0,0000
May.	3,6000	15,6000	7,7267	5,8733	-4,1267	7,7267	0,0000	0,0000	0,0051	0,0000	5,3997
Jun.	2,4000	20,3000	11,4368	0,0000	-5,8733	8,2733	3,1636	0,0000	0,0000	0,0000	11,8245
Jul.	1,3000	24,2000	15,0147	0,0000	0,0000	1,3000	13,7147	0,0000	0,0000	0,0000	17,9454
Ags.	1,1000	23,8000	13,6156	0,0000	0,0000	1,1000	12,5156	0,0000	0,0000	0,0000	16,3764
Sumatorio	40,5	166,9	76,42475264			38,8527	37,5720	1,6473	1,6473	15,2402	62,2469
Media	3,375	13,90833333	6,368729386			3,2377263					

Capacidad de Campo 10

Situación	BRUNETE 'LA PELLEJERA'	Indice de Aridez de Thornthwaite	62,8220
Latitud	40 ° 23 ' 20 " N	Indice de Humedad de Thornthwaite	21,5317
Longitud	3 ° 57 ' 17 " O	Indice Hidrico	-16,1615318
Altura	580 m	Clasificación Thornthwaite	CsB'a'
Perido de años	1924 - 1989	Clasificación Köppen	Csac'

Mese	Precipitación	Temperatura	EVT potencial	Reserva	Vari. Reserva	EVT real	Falta agua	Exceso agua	Desagüe	Coef. Humedad	Coef. Aridez
Sep.	2,2200	17,9000	8,3486	0,0000	0,0000	2,2200	6,1286	0,0000	0,0000	0,0000	8,5521
Oct.	4,1500	12,8000	4,9355	0,0000	0,0000	4,1500	0,7855	0,0000	0,0000	0,0000	1,0961
Nov.	5,5600	7,4000	2,0355	3,5245	3,5245	2,0355	0,0000	0,0000	0,0000	4,9182	0,0000
Dic.	5,5600	4,4000	0,9953	8,0893	4,5647	0,9953	0,0000	0,0000	0,0000	6,3698	0,0000
Ene.	4,2900	4,2000	0,9707	10,0000	3,3193	0,9707	0,0000	1,4086	0,7043	4,6319	0,0000
Feb.	4,2400	5,2000	1,2892	10,0000	2,9508	1,2892	0,0000	2,9508	2,1797	4,1176	0,0000
Mar.	3,5500	7,6000	2,6490	10,0000	0,9010	2,6490	0,0000	0,9010	1,9259	1,2573	0,0000
Abr.	4,2300	9,9000	4,0563	10,0000	0,1737	4,0563	0,0000	0,1737	0,5374	0,2424	0,0000
May.	3,5100	14,1000	7,3079	6,2021	-3,7979	7,3079	0,0000	0,0000	0,0868	0,0000	5,2997
Jun.	2,4500	19,2000	11,1022	0,0000	-6,2021	8,6521	2,4501	0,0000	0,0000	0,0000	12,0736
Jul.	1,3000	23,6000	14,7201	0,0000	0,0000	1,3000	13,4201	0,0000	0,0000	0,0000	18,7269
Ags.	0,8900	22,9000	13,2520	0,0000	0,0000	0,8900	12,3620	0,0000	0,0000	0,0000	17,2503
Sumatorio	41,95	149,2	71,66227715			36,5160	35,1463	5,4340	5,4340	21,5372	62,9987
Media	3,495833333	12,43333333	5,971856429			3,04299677					

Capacidad de Campo 10

Situación	SEGOVIA	Indice de Aridez de Thornthwaite	52,4980
Latitud	40° 57' N	Indice de Humedad de Thornthwaite	19,6000
Longitud	4° 07' O	Indice Hidrico	-11,8988476
Altura	1005 m	Clasificación Thornthwaite	CsB'a'
Perido de años	1961-1990	Clasificación Köppen	Csbc'

Mese	Precipitación	Temperatura	EVT potencial	Reserva	Vari. Reserva	EVT real	Falta agua	Exceso agua	Desagüe	Coef. Humedad	Coef. Aridez
Sep.	3,5000	18,1000	8,6869	0,0000	0,0000	3,5000	5,1869	0,0000	0,0000	0,0000	7,5500
Oct.	4,3000	12,7000	5,1224	0,0000	0,0000	4,3000	0,8224	0,0000	0,0000	0,0000	1,1970
Nov.	5,1000	7,3000	2,1984	2,9016	2,9016	2,1984	0,0000	0,0000	0,0000	4,2236	0,0000
Dic.	4,3000	4,2000	1,0662	6,1354	3,2338	1,0662	0,0000	0,0000	0,0000	4,7070	0,0000
Ene.	4,4000	4,1000	1,0725	9,4630	3,3275	1,0725	0,0000	0,0000	0,0000	4,8434	0,0000
Feb.	3,7000	5,2000	1,4314	10,0000	2,2686	1,4314	0,0000	1,7316	0,8658	3,3021	0,0000
Mar.	3,6000	7,2000	2,6809	10,0000	0,9191	2,6809	0,0000	0,9191	1,3253	1,3378	0,0000
Abr.	4,7000	9,1000	3,8852	10,0000	0,8148	3,8852	0,0000	0,8148	0,8669	1,1860	0,0000
May.	5,0000	13,1000	6,8811	8,1189	-1,8811	6,8811	0,0000	0,0000	0,4074	0,0000	2,7380
Jun.	4,0000	17,8000	10,2226	1,8963	-6,2226	10,2226	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	9,0575
Jul.	1,9000	21,7000	13,3440	0,0000	-1,8963	3,7963	9,5477	0,0000	0,0000	0,0000	16,6576
Ags.	1,6000	21,3000	12,1100	0,0000	0,0000	1,6000	10,5100	0,0000	0,0000	0,0000	15,2980
Sumatorio	46,1	141,8	68,70144764			42,6345	26,0669	3,4655	3,4655	19,6000	52,4980
Media	3,841666667	11,81666667	5,725120637			3,55287749					

Anexo III.- Fichas hídricas y gráficos climáticos

Capacidad de Campo		10	
Situación	AVILA	Indice de Aridez de Thornthwaite	55,4424
Latitud	40° 39' 20"	Indice de Humedad de Thornthwaite	12,1507
Longitud	4° 41' 52"	Indice Hídrico	-21,1146901
Altura	1130 m	Clasificación Thornthwaite	DwB'a'
Perido de años	1961-1990	Clasificación Köppen	Cfbc'

Mese	Precipitación	Temperatura	EVT potencial	Reserva	Vari. Reserva	EVT real	Falta agua	Exceso agua	Desagüe	Coef. Humedad	Coef. Aridez
Sep.	3,2000	16,5000	8,1867	0,0000	0,0000	3,2000	4,9867	0,0000	0,0000	0,0000	7,7688
Oct.	3,5000	11,2000	4,8526	0,0000	0,0000	3,5000	1,3526	0,0000	0,0000	0,0000	2,1073
Nov.	4,0000	6,1000	2,0694	1,9306	1,9306	2,0694	0,0000	0,0000	0,0000	3,0078	0,0000
Dic.	3,5000	3,4000	1,0349	4,3957	2,4651	1,0349	0,0000	0,0000	0,0000	3,8404	0,0000
Ene.	2,8000	3,2000	1,0018	6,1939	1,7982	1,0018	0,0000	0,0000	0,0000	2,8014	0,0000
Feb.	2,4000	4,0000	1,2929	7,3010	1,1071	1,2929	0,0000	0,0000	0,0000	1,7247	0,0000
Mar.	2,2000	5,7000	2,4054	7,0956	-0,2054	2,4054	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,3200
Abr.	4,1000	7,6000	3,6017	7,5939	0,4983	3,6017	0,0000	0,0000	0,0000	0,7764	0,0000
May.	3,7000	11,5000	6,5124	4,7816	-2,8124	6,5124	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	4,3815
Jun.	3,8000	16,1000	9,6441	0,0000	-4,7816	8,5816	1,0625	0,0000	0,0000	0,0000	9,1046
Jul.	1,4000	19,8000	12,3140	0,0000	0,0000	1,4000	10,9140	0,0000	0,0000	0,0000	17,0032
Ags.	1,8000	19,4000	11,2722	0,0000	0,0000	1,8000	9,4722	0,0000	0,0000	0,0000	14,7570
Sumatorio	36,4	124,5	64,18807365			36,4000	27,7881	0,0000	0,0000	12,1507	55,4424
Media	3,033333333	10,375	5,349006137			3,033333333					

Capacidad de Campo		10	
Situación	LA ADRADA	Indice de Aridez de Thornthwaite	54,4824
Latitud	40° 18' N	Indice de Humedad de Thornthwaite	76,9023
Longitud	4° 38' O	Indice Hídrico	44,21283877
Altura	1000 m.	Clasificación Thornthwaite	BsB'a'
Perido de años	1970-1989	Clasificación Köppen	Csac'

Mese	Precipitación	Temperatura	EVT potencial	Reserva	Vari. Reserva	EVT real	Falta agua	Exceso agua	Desagüe	Coef. H umedad	Coef. Aridez
Sep.	5,4000	22,4000	10,7233	0,0000	0,0000	5,4000	5,3233	0,0000	0,0000	0,0000	6,4714
Oct.	10,7000	16,7000	6,2022	4,4978	4,4978	6,2022	0,0000	0,0000	0,0000	5,4679	0,0000
Nov.	15,9000	9,4000	2,1480	10,0000	13,7520	2,1480	0,0000	8,2498	4,1249	16,7181	0,0000
Dic.	9,1000	5,8000	0,9719	10,0000	8,1281	0,9719	0,0000	8,1281	8,1889	9,8812	0,0000
Ene.	14,3000	6,7000	1,2681	10,0000	13,0319	1,2681	0,0000	13,0319	10,5800	15,8428	0,0000
Feb.	14,9000	7,0000	1,3435	10,0000	13,5565	1,3435	0,0000	13,5565	13,2942	16,4805	0,0000
Mar.	10,8000	10,2000	3,0357	10,0000	7,7643	3,0357	0,0000	7,7643	10,6604	9,4389	0,0000
Abr.	7,4000	13,1000	4,8724	10,0000	2,5276	4,8724	0,0000	2,5276	5,1459	3,0728	0,0000
May.	7,0000	17,4000	8,5524	8,4476	-1,5524	8,5524	0,0000	0,0000	1,2638	0,0000	1,8872
Jun.	3,2000	21,3000	11,8957	0,0000	-8,4476	11,6476	0,2481	0,0000	0,0000	0,0000	10,5713
Jul.	0,7000	25,6000	16,1962	0,0000	0,0000	0,7000	15,4962	0,0000	0,0000	0,0000	18,8386
Ags.	1,3000	25,6000	15,0485	0,0000	0,0000	1,3000	13,7485	0,0000	0,0000	0,0000	16,7139
Sumatorio	100,7	181,2	82,2578762			47,4418	34,8160	53,2582	53,2582	76,9023	54,4824
Media	8,391666667	15,1	6,854823017			3,95348585					

Capacidad de Campo		10	
Situación	SAN LORENZO ESCORIAL 'MONAST.'	Indice de Aridez de Thornthwaite	47,1721
Latitud	40 ° 35 ' 20 " N	Indice de Humedad de Thornthwaite	65,1439
Longitud	4 ° 8 ' 52 " O	Indice Hídrico	36,8406183
Altura	1028 m	Clasificación Thornthwaite	CsB'a'
Perido de años	1946 - 1998	Clasificación Köppen	Csac'

Mese	Precipitación	Temperatura	EVT potencial	Reserva	Vari. Reserva	EVT real	Falta agua	Exceso agua	Desagüe	Coef. Humedad	Coef. Aridez
Sep.	5,1200	20,0000	9,4580	0,0000	0,0000	5,1200	4,3380	0,0000	0,0000	0,0000	5,8742
Oct.	9,4600	14,0000	5,2882	4,1718	4,1718	5,2882	0,0000	0,0000	0,0000	5,6491	0,0000
Nov.	12,5800	9,9000	2,7754	10,0000	9,8046	2,7754	0,0000	3,9764	1,9882	13,2767	0,0000
Dic.	10,4300	7,3000	1,7645	10,0000	8,6655	1,7645	0,0000	8,6655	6,3209	11,7342	0,0000
Ene.	8,2900	6,1000	1,4223	10,0000	6,8677	1,4223	0,0000	6,8677	7,7666	9,2998	0,0000
Feb.	7,7700	6,8000	1,6569	10,0000	6,1131	1,6569	0,0000	6,1131	6,4904	8,2779	0,0000
Mar.	8,2900	8,7000	2,9072	10,0000	5,3828	2,9072	0,0000	5,3828	5,7480	7,2891	0,0000
Abr.	8,6200	10,0000	3,8104	10,0000	4,8096	3,8104	0,0000	4,8096	5,0962	6,5129	0,0000
May.	8,4300	12,9000	6,1376	10,0000	2,2924	6,1376	0,0000	2,2924	3,5510	3,1042	0,0000
Jun.	4,3500	19,3000	10,8991	3,4509	-6,5491	10,8991	0,0000	0,0000	1,1462	0,0000	8,8683
Jul.	1,7800	23,3000	14,3152	0,0000	-3,4509	5,2309	9,0843	0,0000	0,0000	0,0000	16,9743
Ags.	2,0000	23,3000	13,4135	0,0000	0,0000	2,0000	11,4135	0,0000	0,0000	0,0000	15,4553
Sumatorio	87,12	161,6	73,84818054			49,0124	24,8358	38,1076	38,1076	65,1439	47,1721
Media	7,26	13,466666667	6,154015045			4,08436778					

Miguel Ángel Sanz Santos

Capacidad de Campo		10	
Situación	EMBALSE DE NAVACERRADA	Indice de Aridez de Thornthwaite	49.4334
Latitud	40 ° 42 ' 55 " N	Indice de Humedad de Thornthwaite	66.9380
Longitud	4 ° 0 ' 12 " O	Indice Hidrico	37.27799183
Altura	1140 m	Clasificación Thornthwaite	CsB'a'
Perido de años	1971 - 1998	Clasificación Köppen	Csbc'

Mese	Precipitación	Temperatura	EVT potencial	Reserva	Vari. Reserva	EVT real	Falta agua	Exceso agua	Desagüe	Coef. Humedad	Coef. Aridez
Sep.	3.6100	17.0000	8.2572	0.0000	0.0000	3.6100	4.6472	0.0000	0.0000	0.0000	7.0098
Oct.	8.5300	11.1000	4.5678	3.9622	3.9622	4.5678	0.0000	0.0000	0.0000	5.9766	0.0000
Nov.	10.5500	6.6000	2.0896	10.0000	8.4604	2.0896	0.0000	2.4226	1.2113	12.7617	0.0000
Dic.	11.0400	3.8000	1.0504	10.0000	9.9896	1.0504	0.0000	9.9896	6.2061	15.0684	0.0000
Ene.	9.2800	2.7000	0.7229	10.0000	8.5571	0.7229	0.0000	8.5571	9.2734	12.9076	0.0000
Feb.	7.6700	3.8000	1.0898	10.0000	6.5802	1.0898	0.0000	6.5802	7.5687	9.9256	0.0000
Mar.	4.8600	6.4000	2.5295	10.0000	2.3305	2.5295	0.0000	2.3305	4.4554	3.5154	0.0000
Abr.	6.9800	7.6000	3.3509	10.0000	3.6291	3.3509	0.0000	3.6291	2.9798	5.4742	0.0000
May.	7.5300	12.2000	6.6625	10.0000	0.8675	6.6625	0.0000	0.8675	2.2483	1.3086	0.0000
Jun.	4.4700	17.0000	10.0039	4.4661	-5.5339	10.0039	0.0000	0.0000	0.4338	0.0000	8.3473
Jul.	1.9500	21.6000	13.4439	0.0000	-4.4661	6.4161	7.0278	0.0000	0.0000	0.0000	17.3375
Ags.	1.4300	21.5000	12.5270	0.0000	0.0000	1.4300	11.0970	0.0000	0.0000	0.0000	16.7388
Sumatorio	77.9	131.3	66.29526119			43.5233	22.7720	34.3767	34.3767	66.9380	49.4334
Media	6.491666667	10.94166667	5.524605099			3.62693776					

Capacidad de Campo		10	
Situación	LAS NAVAS DEL MARQUES 'FABRICADE RESINAS'	Indice de Aridez de Thornthwaite	48,0291
Latitud	40 ° 35 ' 20 " N	Indice de Humedad de Thornthwaite	63,9057
Longitud	4 ° 22 ' 7 " O	Indice Hidrico	35,08820732
Altura	1220 m	Clasificación Thornthwaite	CsB'a'
Perido de años	1971 - 1998	Clasificación Köppen	Csbc'

Mese	Precipitación	Temperatura	EVT potencial	Reserva	Vari. Reserva	EVT real	Falta agua	Exceso agua	Desagüe	Coef. Humedad	Coef. Aridez
Sep.	3,0800	16,0000	7,8740	0,0000	0,0000	3,0800	4,7940	0,0000	0,0000	0,0000	7,4296
Oct.	9,1400	10,3000	4,3783	4,7617	4,7617	4,3783	0,0000	0,0000	0,0000	7,3795	0,0000
Nov.	10,6800	6,4000	2,1629	10,0000	8,5171	2,1629	0,0000	3,2788	1,6394	13,1996	0,0000
Dic.	9,7600	3,9000	1,1933	10,0000	8,5667	1,1933	0,0000	8,5667	5,9227	13,2764	0,0000
Ene.	7,8800	2,8000	0,8456	10,0000	7,0344	0,8456	0,0000	7,0344	7,8006	10,9018	0,0000
Feb.	5,9200	3,8000	1,2016	10,0000	4,7184	1,2016	0,0000	4,7184	5,8764	7,3124	0,0000
Mar.	5,1600	6,0000	2,5223	10,0000	2,6377	2,5223	0,0000	2,6377	3,6780	4,0878	0,0000
Abr.	7,4800	7,5000	3,5141	10,0000	3,9659	3,5141	0,0000	3,9659	3,3018	6,1463	0,0000
May.	7,7000	11,8000	6,6664	10,0000	1,0336	6,6664	0,0000	1,0336	2,4998	1,6018	0,0000
Jun.	4,1800	16,5000	9,8835	4,2965	-5,7035	9,8835	0,0000	0,0000	0,5168	0,0000	8,8391
Jul.	2,0500	20,1000	12,5020	0,0000	-4,2965	6,3465	6,1555	0,0000	0,0000	0,0000	16,1982
Ags.	1,7400	20,2000	11,7816	0,0000	0,0000	1,7400	10,0416	0,0000	0,0000	0,0000	15,5622
Sumatorio	74,77	125,3	64,52555521			43,5345	20,9910	31,2355	31,2355	63,9057	48,0291
Media	6,230833333	10,44166667	5,377129601			3,62787631					

Capacidad de Campo		10	
Situación	PEGUERINOS	Indice de Aridez de Thornthwaite	50,3064
Latitud	40° 38' N	Indice de Humedad de Thornthwaite	102,9404
Longitud	4° 14' O	Indice Hidrico	72,75652705
Altura	1351 m	Clasificación Thornthwaite	BsC'b'
Perido de años	1970-1989	Clasificación Köppen	Csbc'

Mese	Precipitación	Temperatura	EVT potencial	Reserva	Vari. Reserva	EVT real	Falta agua	Exceso agua	Desagüe	Coef. Humedad	Coef. Aridez
Sep.	5,9000	14,7000	7,8417	0,0000	0,0000	5,9000	1,9417	0,0000	0,0000	0,0000	3,5881
Oct.	10,3000	9,5000	4,7021	5,5979	5,5979	4,7021	0,0000	0,0000	0,0000	10,3442	0,0000
Nov.	9,8000	3,0000	1,2857	10,0000	8,5143	1,2857	0,0000	4,1123	2,0561	15,7334	0,0000
Dic.	9,2000	0,0000	0,0000	10,0000	9,2000	0,0000	0,0000	9,2000	6,6561	17,0004	0,0000
Ene.	8,8000	0,3000	0,1337	10,0000	8,6663	0,1337	0,0000	8,6663	8,9331	16,0142	0,0000
Feb.	8,2000	0,4000	0,1777	10,0000	8,0223	0,1777	0,0000	8,0223	8,3443	14,8242	0,0000
Mar.	8,2000	2,2000	1,1886	10,0000	7,0114	1,1886	0,0000	7,0114	7,5169	12,9562	0,0000
Abr.	7,0000	5,8000	3,3386	10,0000	3,6614	3,3386	0,0000	3,6614	5,3364	6,7657	0,0000
May.	6,8000	2,7000	1,7660	10,0000	5,0340	1,7660	0,0000	5,0340	4,3477	9,3021	0,0000
Jun.	5,7000	15,1000	9,7560	5,9440	-4,0560	9,7560	0,0000	0,0000	2,5170	0,0000	7,4949
Jul.	1,0000	19,6000	12,7248	0,0000	-5,9440	6,9440	5,7808	0,0000	0,0000	0,0000	21,6658
Ags.	1,7000	18,4000	11,2015	0,0000	0,0000	1,7000	9,5015	0,0000	0,0000	0,0000	17,5576
Sumatorio	82,6	91,7	54,11639678			36,8924	17,2240	45,7076	45,7076	102,9404	50,3064
Media	6,883333333	7,641666667	4,509699732			3,07436481					

Anexo III.- Fichas hídricas y gráficos climáticos

Capacidad de Campo 10

Situación	NAVACERRADA 'PUERTO'	Índice de Aridez de Thornthwaite	33,8913
Latitud	40° 46' 50" N	Índice de Humedad de Thornthwaite	197,3529
Longitud	4° 0' 37" O	Índice Hídrico	177,0181025
Altura	1890 m	Clasificación Thornthwaite	AsC'b'
Período de años	1946 - 1998	Clasificación Köppen	Csbc'

Mese	Precipitación	Temperatura	EVT potencial	Reserva	Vari. Reserva	EVT real	Falta agua	Exceso agua	Desagüe	Coef. Humedad	Coef. Aridez
Sep.	7,5500	12,2000	7,0938	0,4562	0,4562	7,0938	0,0000	0,0000	0,0000	0,9021	0,0000
Oct.	14,3300	6,8000	3,9190	10,0000	10,4110	3,9190	0,0000	0,8672	0,4336	20,5877	0,0000
Nov.	18,0400	2,7000	1,4874	10,0000	16,5526	1,4874	0,0000	16,5526	8,7099	32,7328	0,0000
Dic.	16,1100	0,1000	0,0803	10,0000	16,0297	0,0803	0,0000	16,0297	16,2912	31,6987	0,0000
Ene.	14,4000	-0,8000	0,0000	10,0000	14,4000	0,0000	0,0000	14,4000	15,2149	28,4759	0,0000
Feb.	12,4100	-0,4000	0,0000	10,0000	12,4100	0,0000	0,0000	12,4100	13,4050	24,5407	0,0000
Mar.	11,3900	1,4000	1,0494	10,0000	10,3406	1,0494	0,0000	10,3406	11,3753	20,4485	0,0000
Abr.	13,1400	2,9000	2,1438	10,0000	10,9962	2,1438	0,0000	10,9962	10,6684	21,7450	0,0000
May.	13,2400	6,7000	5,0369	10,0000	8,2031	5,0369	0,0000	8,2031	9,5997	16,2216	0,0000
Jun.	7,2300	11,8000	8,3465	8,8835	-1,1165	8,3465	0,0000	0,0000	4,1015	0,0000	2,2078
Jul.	2,7500	16,2000	11,1125	0,5210	-8,3625	11,1125	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	16,5368
Ags.	2,6400	16,0000	10,2995	0,0000	-0,5210	3,1610	7,1385	0,0000	0,0000	0,0000	15,1467
Sumatorio	133,23	75,6	50,56904161			43,4305	7,1385	89,7995	89,7995	197,3529	33,8913
Media	11,1025	6,3	4,214086801			3,61921191					

Capacidad de Campo 10

Situación	CHAMARTIN	Índice de Aridez de Thornthwaite	62,0571
Latitud	40° 28' N.	Índice de Humedad de Thornthwaite	18,3728
Longitud	03° 41' O.	Índice Hídrico	-18,8614515
Altura	1978-1988.	Clasificación Thornthwaite	CwB'a'
Período de años	667 m.	Clasificación Köppen	Csac'

Mese	Precipitación	Temperatura	EVT potencial	Reserva	Vari. Reserva	EVT real	Falta agua	Exceso agua	Desagüe	Coef. humedad	Coef. Aridez
Sep.	2,2044	20,9600	10,0278	0,0000	0,0000	2,2044	7,8233	0,0000	0,0000	0,0000	10,3926
Oct.	3,7667	14,2200	5,3039	0,0000	0,0000	3,7667	1,5372	0,0000	0,0000	0,0000	2,0421
Nov.	5,4600	8,9200	2,3480	3,1120	3,1120	2,3480	0,0000	0,0000	0,0000	4,1341	0,0000
Dic.	5,0200	6,2400	1,3720	6,7600	3,6480	1,3720	0,0000	0,0000	0,0000	4,8461	0,0000
Ene.	4,0118	5,3273	1,1339	9,6380	2,8779	1,1339	0,0000	0,0000	0,0000	3,8231	0,0000
Feb.	4,1091	6,5818	1,5177	10,0000	2,5914	1,5177	0,0000	2,2293	1,1147	3,4424	0,0000
Mar.	2,3700	9,4909	3,1851	9,1849	-0,8151	3,1851	0,0000	0,0000	1,1147	0,0000	1,0828
Abr.	5,8636	11,0364	4,2624	10,0000	1,6013	4,2624	0,0000	0,7862	0,3931	2,1272	0,0000
May.	4,8091	14,2364	6,8622	7,9469	-2,0531	6,8622	0,0000	0,0000	0,3931	0,0000	2,7273
Jun.	2,1933	20,0600	11,3168	0,0000	-7,9469	10,1403	1,1765	0,0000	0,0000	0,0000	12,1197
Jul.	1,6150	23,6800	14,5893	0,0000	0,0000	1,6150	12,9743	0,0000	0,0000	0,0000	17,2353
Ags.	0,9700	23,4400	13,3587	0,0000	0,0000	0,9700	12,3887	0,0000	0,0000	0,0000	16,4573
Sumatorio	42,3930801	164,192721	75,27755528			39,3776	35,9000	3,0155	3,0155	18,3728	62,0571
Media	3,532756675	13,68272675	6,273129606			3,28146304					

Capacidad de Campo 10

Situación	PRESA DEL ATAZAR	Índice de Aridez de Thornthwaite	53,3998
Latitud	40° 54' N.	Índice de Humedad de Thornthwaite	31,7375
Longitud	03° 27' O.	Índice Hídrico	-0,30232617
Altura	1970-1990	Clasificación Thornthwaite	CsB'a'
Período de años	960 m.	Clasificación Köppen	Csac'

Mese	Precipitación	Temperatura	EVT potencial	Reserva	Vari. Reserva	EVT real	Falta agua	Exceso agua	Desagüe	Coef. humedad	Coef. Aridez
Sep.	3,2010	19,4619	9,2532	0,0000	0,0000	3,2010	6,0523	0,0000	0,0000	0,0000	8,3608
Oct.	5,0062	13,2842	5,0919	0,0000	0,0000	5,0062	0,0857	0,0000	0,0000	0,0000	0,1184
Nov.	7,7676	8,3850	2,3321	5,4355	5,4355	2,3321	0,0000	0,0000	0,0000	7,5088	0,0000
Dic.	7,1200	5,3150	1,2269	10,0000	5,8931	1,2269	0,0000	1,3286	0,6643	8,1409	0,0000
Ene.	6,7295	4,4200	0,9916	10,0000	5,7379	0,9916	0,0000	5,7379	3,5333	7,9266	0,0000
Feb.	5,0062	5,7550	1,4177	10,0000	3,5884	1,4177	0,0000	3,5884	4,6632	4,9572	0,0000
Mar.	3,0010	7,7250	2,6214	10,0000	0,3795	2,6214	0,0000	0,3795	1,9840	0,5243	0,0000
Abr.	5,8829	9,8810	3,9430	10,0000	1,9399	3,9430	0,0000	1,9399	1,1597	2,6798	0,0000
May.	6,2348	13,8050	6,9846	9,2501	-0,7499	6,9846	0,0000	0,0000	0,9699	0,0000	1,0359
Jun.	4,0586	19,1905	10,9994	2,3093	-6,9408	10,9994	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	9,5883
Jul.	1,6490	23,2429	14,3716	0,0000	-2,3093	3,9584	10,4133	0,0000	0,0000	0,0000	17,5754
Ags.	1,0510	22,8450	13,1550	0,0000	0,0000	1,0510	12,1041	0,0000	0,0000	0,0000	16,7210
Sumatorio	56,707619	153,310402	72,38861381			43,7333	28,6554	12,9744	12,9744	31,7375	53,3998
Media	4,725634917	12,77586683	6,032384484			3,64443759					

Miguel Ángel Sanz Santos

Capacidad de Campo		10	
Situación	COLMENAR VIEJO	Índice de Aridez de Thornthwaite	56.0087
Latitud	40° 39' N.	Índice de Humedad de Thornthwaite	18.7209
Longitud	03° 4' W.	Índice Hidrico	-14.8842935
Altura	1979-1989	Clasificación Thornthwaite	CwB'a'
Período de años	1004 m.	Clasificación Köppen	Cfac'

Mese	Precipitación	Temperatura	EVT potencial	Reserva	Vari. Reserva	EVT real	Falta agua	Exceso agua	Desagüe	Coef. humedad	Coef. Aridez
Sep.	4.9263	20.3400	9.7537	0.0000	0.0000	4.9263	4.8275	0.0000	0.0000	0.0000	6.5941
Oct.	4.1044	14.4000	5.5900	0.0000	0.0000	4.1044	1.4855	0.0000	0.0000	0.0000	2.0291
Nov.	1.0089	8.6778	2.3735	0.0000	0.0000	1.0089	1.3646	0.0000	0.0000	0.0000	1.8640
Dic.	5.3433	6.1889	1.4524	3.8910	3.8910	1.4524	0.0000	0.0000	0.0000	5.3149	0.0000
Ene.	5.4856	4.8667	1.0814	8.2951	4.4041	1.0814	0.0000	0.0000	0.0000	6.0158	0.0000
Feb.	4.6038	5.0857	1.1492	10.0000	3.4546	1.1492	0.0000	1.7496	0.8748	4.7188	0.0000
Mar.	2.7425	8.6857	2.9851	9.7574	-0.2426	2.9851	0.0000	0.0000	0.8748	0.0000	0.3314
Abr.	5.5963	9.5000	3.6405	10.0000	1.9558	3.6405	0.0000	1.7131	0.8566	2.6715	0.0000
May.	4.2100	13.9250	6.9493	7.2607	-2.7393	6.9493	0.0000	0.0000	0.8566	0.0000	3.7418
Jun.	3.5567	19.2143	10.9240	0.0000	-7.2607	10.8173	0.1067	0.0000	0.0000	0.0000	10.0635
Jul.	2.8622	23.0250	14.1338	0.0000	0.0000	2.8622	11.2716	0.0000	0.0000	0.0000	15.3964
Ags.	1.4711	22.9400	13.1760	0.0000	0.0000	1.4711	11.7049	0.0000	0.0000	0.0000	15.9884
Sumatorio	45.910972	156.849042	73.20897548			42.4482	30.7608	3.4628	3.4628	18.7209	56.0087
Media	3.825914333	13.0707535	6.100747956			3.53734907					

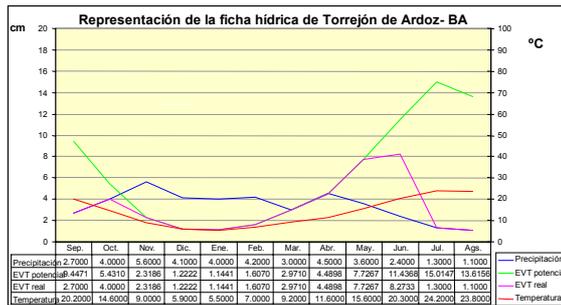
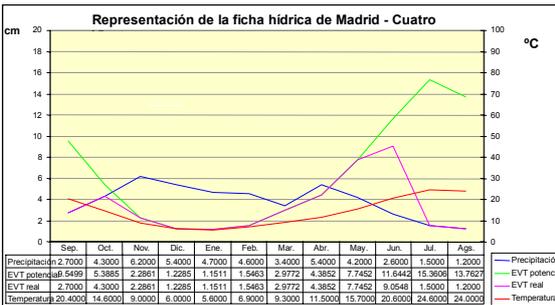
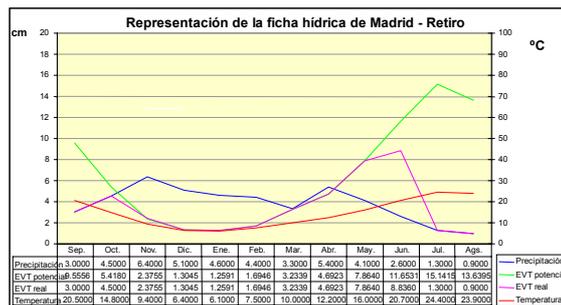
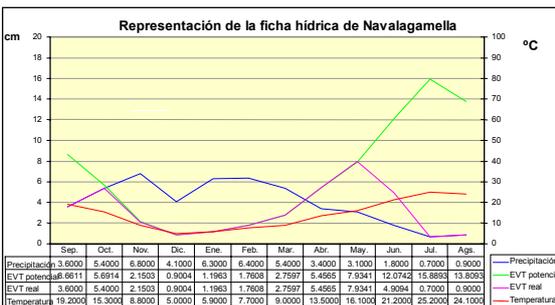
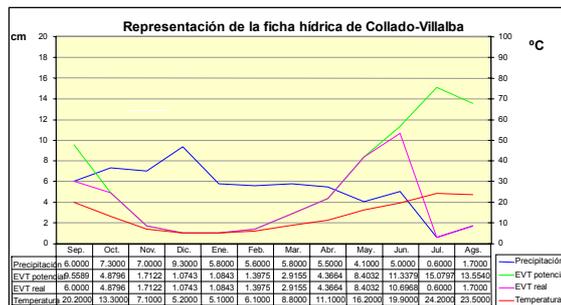
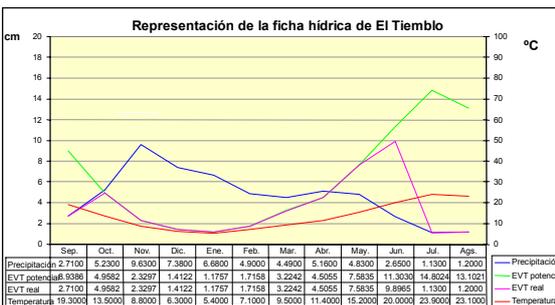
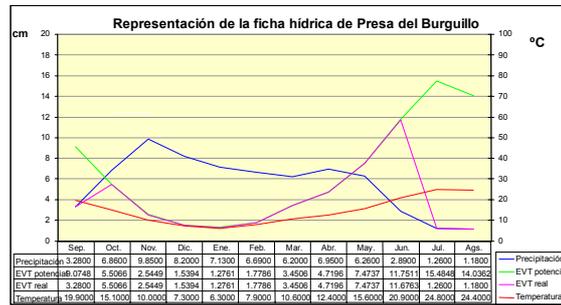
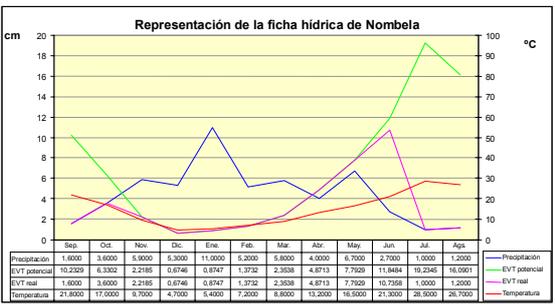
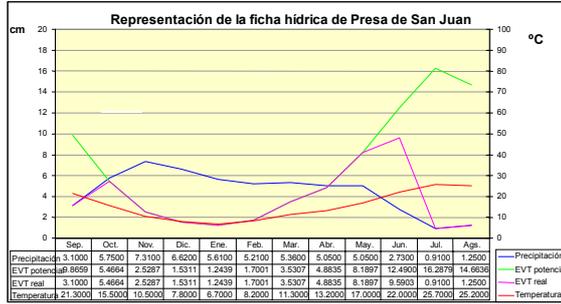
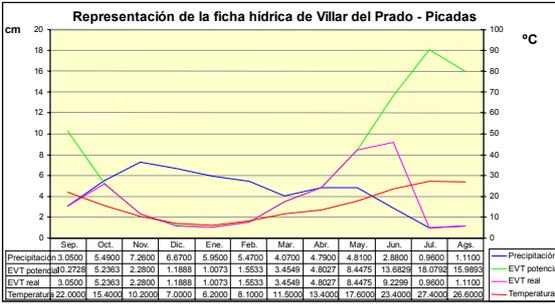
Capacidad de Campo		10	
Situación	TALAMANCA	Índice de Aridez de Thornthwaite	58.2192
Latitud	40° 44' N.	Índice de Humedad de Thornthwaite	20.7713
Longitud	03° 10' E.	Índice Hidrico	-14.1602347
Altura	1970-1989	Clasificación Thornthwaite	CsB'a'
Período de años	654 m.	Clasificación Köppen	Csac'

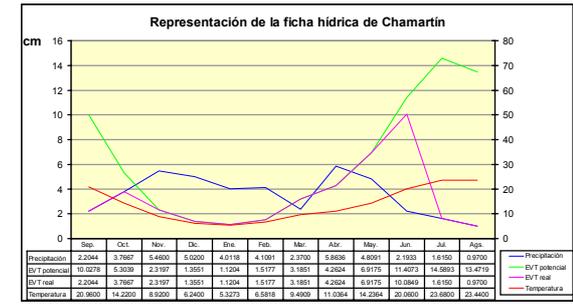
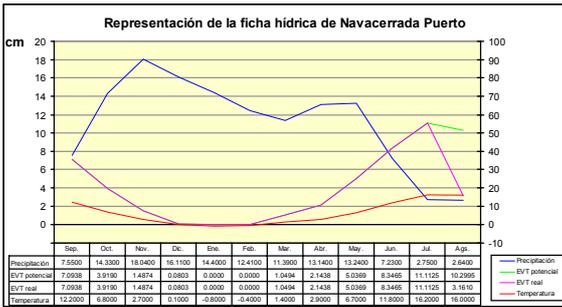
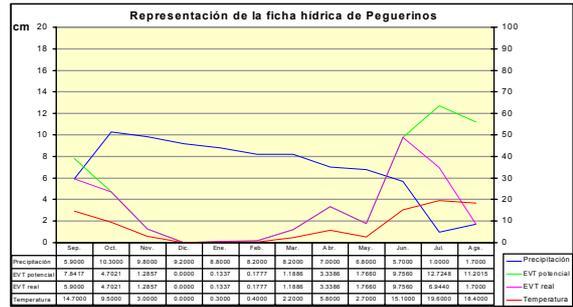
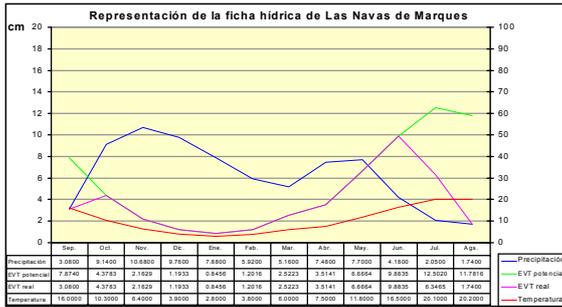
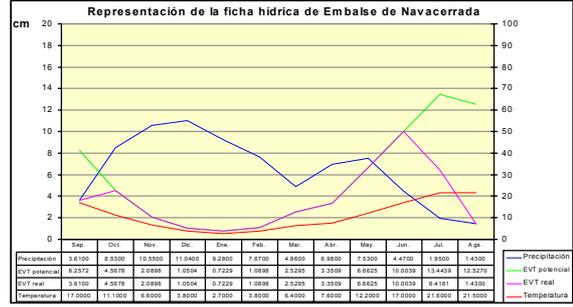
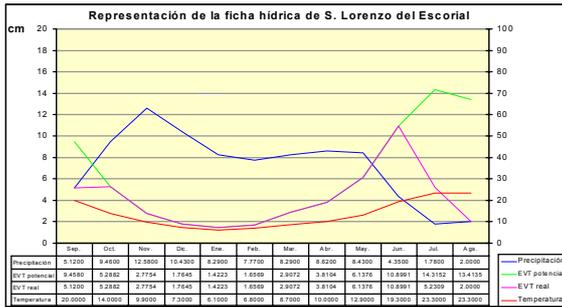
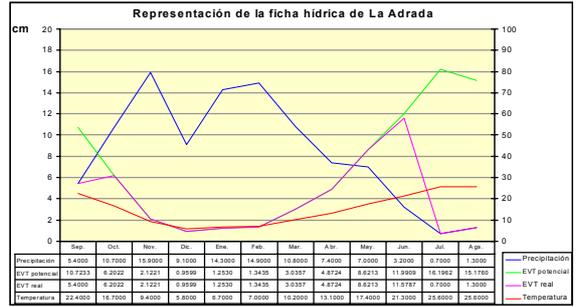
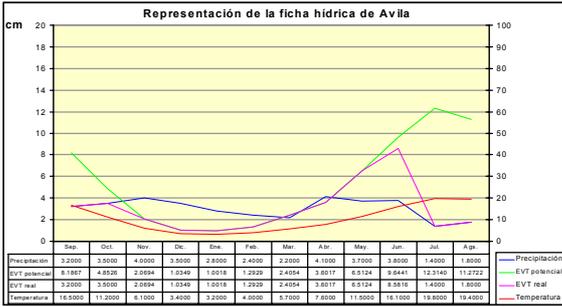
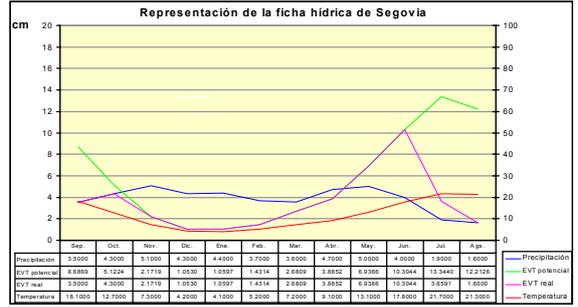
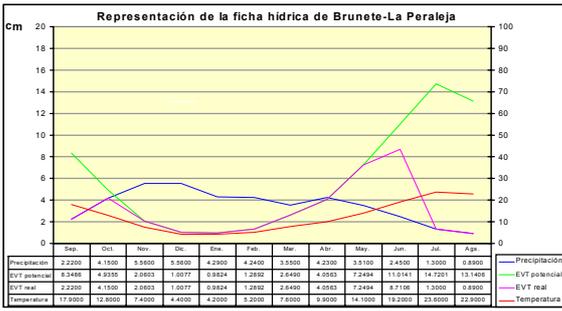
Mese	Precipitación	Temperatura	EVT potencial	Reserva	Vari. Reserva	EVT real	Falta agua	Exceso agua	Desagüe	Coef. humedad	Coef. Aridez
Sep.	2.5158	20.2000	9.5187	0.0000	0.0000	2.5158	7.0029	0.0000	0.0000	0.0000	9.2553
Oct.	3.7990	14.0421	5.2197	0.0000	0.0000	3.7990	1.4207	0.0000	0.0000	0.0000	1.8777
Nov.	5.6135	9.0211	2.3657	3.2478	3.2478	2.3657	0.0000	0.0000	0.0000	4.2924	0.0000
Dic.	5.4389	5.3200	1.0834	7.6033	4.3556	1.0834	0.0000	0.0000	0.0000	5.7565	0.0000
Ene.	5.3125	4.8000	0.9700	10.0000	4.3425	0.9700	0.0000	1.9458	0.9729	5.7392	0.0000
Feb.	4.6530	6.4056	1.4664	10.0000	3.1866	1.4664	0.0000	3.1866	2.5662	4.2115	0.0000
Mar.	2.5720	8.8474	2.8900	9.6820	-0.3180	2.8900	0.0000	0.0000	1.5933	0.0000	0.4203
Abr.	4.9290	11.632	4.3450	10.0000	0.5840	4.3450	0.0000	0.2660	0.1330	0.7718	0.0000
May.	5.4765	14.9611	7.4425	8.0340	-1.9660	7.4425	0.0000	0.0000	0.1330	0.0000	2.5983
Jun.	3.7342	20.4421	11.7307	0.0375	-7.9965	11.7307	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	10.5685
Jul.	1.7075	24.0474	14.9206	0.0000	-0.0375	1.7450	13.1756	0.0000	0.0000	0.0000	17.4629
Ags.	1.5772	23.7222	13.7108	0.0000	0.0000	1.5772	12.1336	0.0000	0.0000	0.0000	16.0362
Sumatorio	47.329169	162.972036	75.66363223			41.9308	33.7328	5.3983	5.3983	20.7713	58.2192
Media	3.944097417	13.581003	6.305302686			3.49423623					

Capacidad de Campo		10	
Situación	SOTO DEL REAL	Índice de Aridez de Thornthwaite	51.5586
Latitud	40° 45' N.	Índice de Humedad de Thornthwaite	38.2682
Longitud	03° 7' W.	Índice Hidrico	7.33303628
Altura	940 m.	Clasificación Thornthwaite	CsB'a'
Período de años	1979-1989	Clasificación Köppen	Csbc'

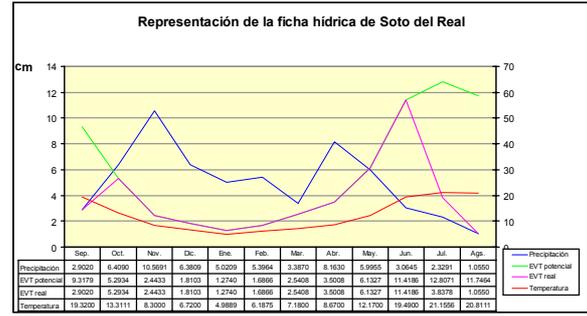
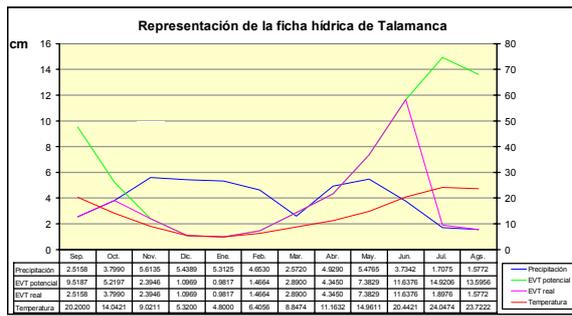
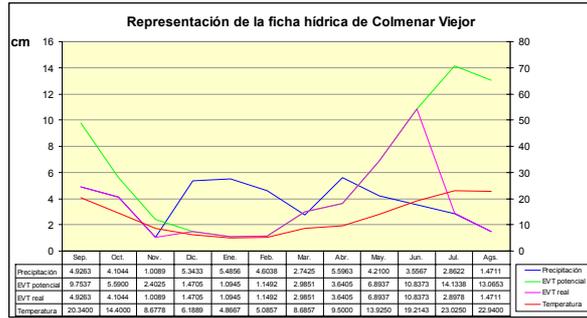
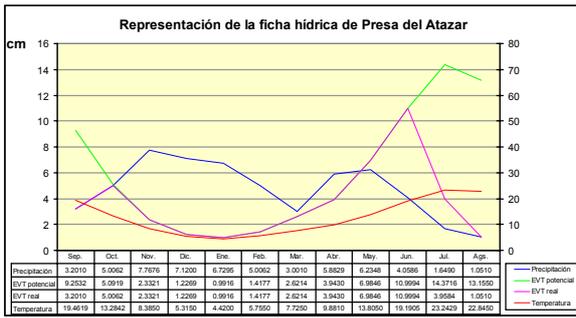
Mese	Precipitación	Temperatura	EVT potencial	Reserva	Vari. Reserva	EVT real	Falta agua	Exceso agua	Desagüe	Coef. humedad	Coef. Aridez
Sep.	2.9020	19.3200	9.3179	0.0000	0.0000	2.9020	6.4159	0.0000	0.0000	0.0000	9.1692
Oct.	6.4090	13.3111	5.2934	1.1156	1.1156	5.2934	0.0000	0.0000	0.0000	1.5944	0.0000
Nov.	10.5691	8.3000	2.4433	9.2414	8.1258	2.4433	0.0000	0.0000	0.0000	11.6129	0.0000
Dic.	6.3809	6.7200	1.8103	10.0000	4.5706	1.8103	0.0000	3.8120	1.9060	6.5320	0.0000
Ene.	5.0209	4.9889	1.2740	10.0000	3.7469	1.2740	0.0000	3.7469	3.7794	5.3549	0.0000
Feb.	5.3964	6.1875	1.6866	10.0000	3.7097	1.6866	0.0000	3.7097	3.7283	5.3017	0.0000
Mar.	3.3870	7.1800	2.5408	10.0000	0.8462	2.5408	0.0000	0.8462	2.2780	1.2093	0.0000
Abr.	8.1630	8.6700	3.5008	10.0000	4.6622	3.5008	0.0000	4.6622	2.7542	6.6630	0.0000
May.	5.9955	12.1700	6.1327	9.8627	-0.1373	6.1327	0.0000	0.0000	2.3311	0.0000	0.1962
Jun.	3.0645	19.4900	11.4186	1.5087	-8.3540	11.4186	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	11.9391
Jul.	2.3291	21.1556	12.8071	0.0000	-1.5087	3.8378	8.9693	0.0000	0.0000	0.0000	14.9746
Ags.	1.0550	20.8111	11.7464	0.0000	0.0000	1.0550	10.6914	0.0000	0.0000	0.0000	15.2795
Sumatorio	60.672362	148.304169	69.97191231			43.8954	26.0765	16.7770	16.7770	38.2682	51.5586
Media	5.056030167	12.35868075	5.830992692			3.65794769					

Representación de los valores de las fichas hídricas



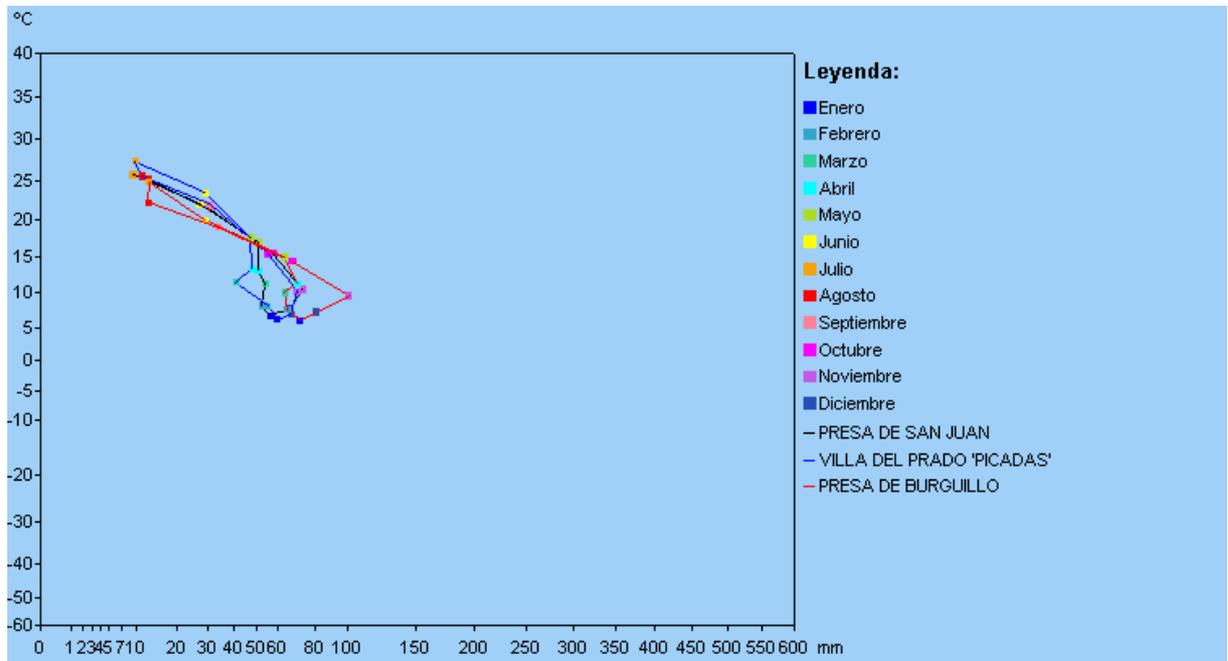


Anexo III.- Fichas hídricas y gráficos climáticos

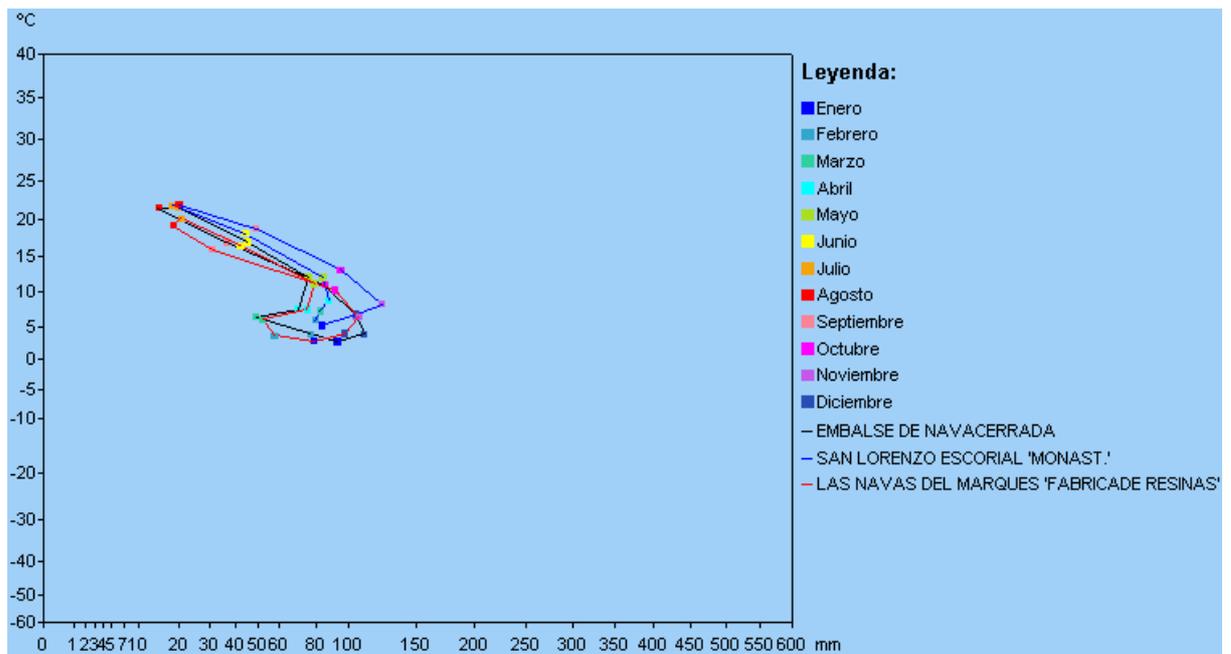


Gráficos de termohietas

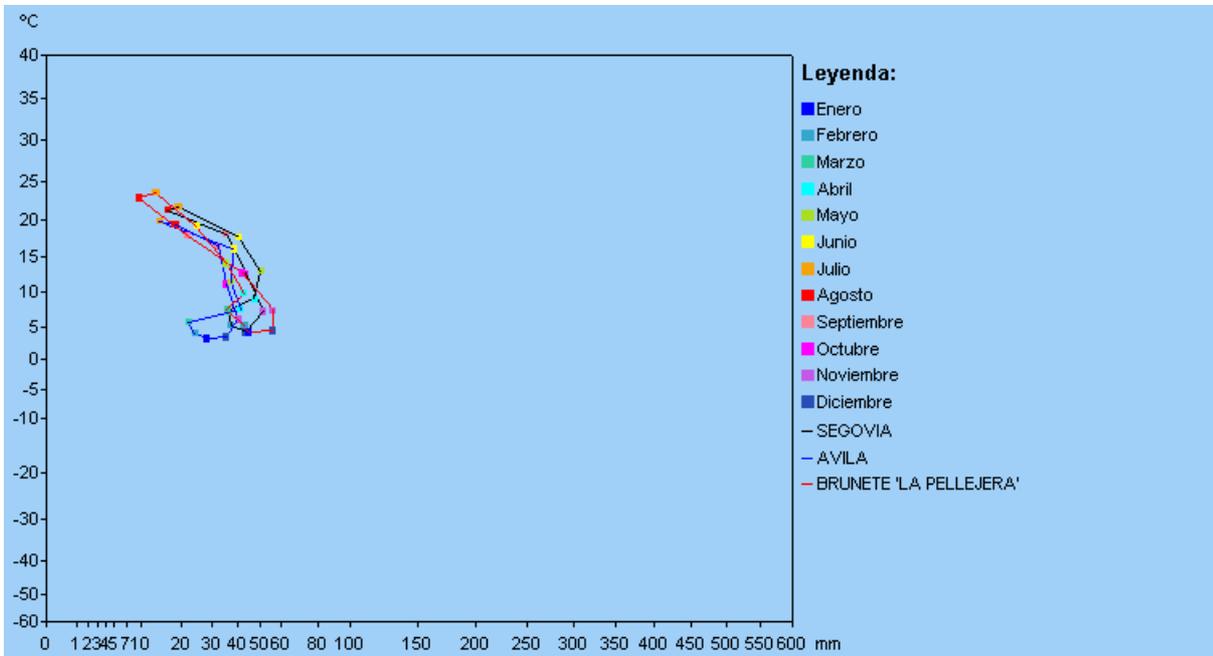
A



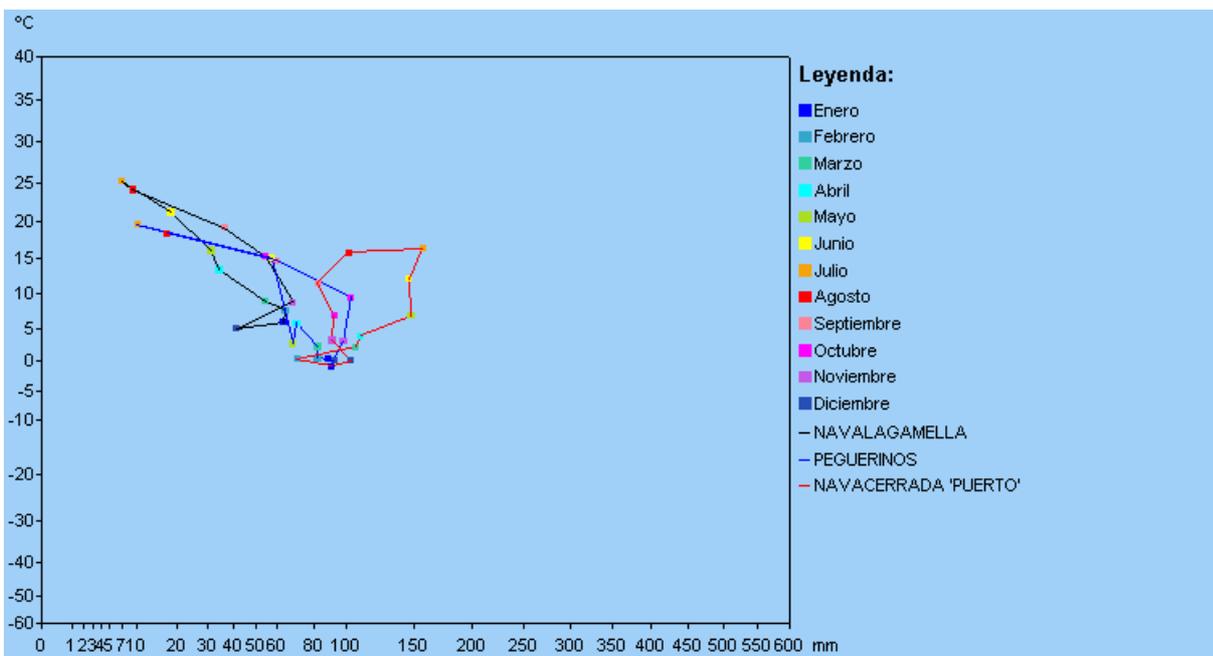
B



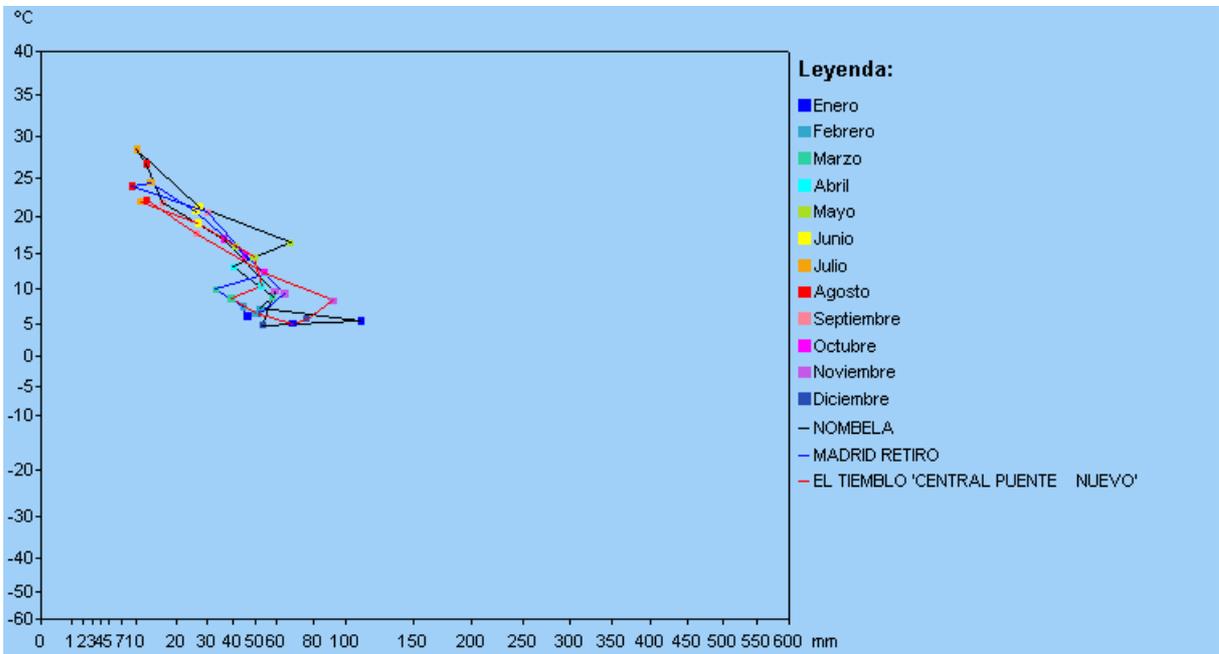
C



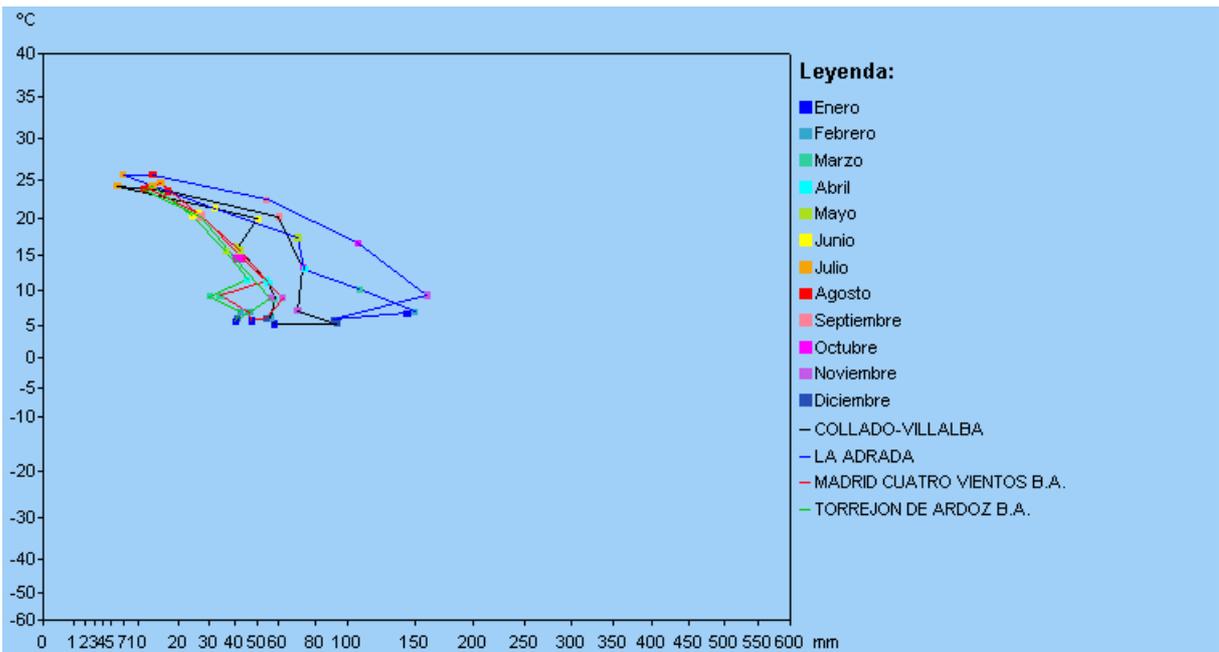
D



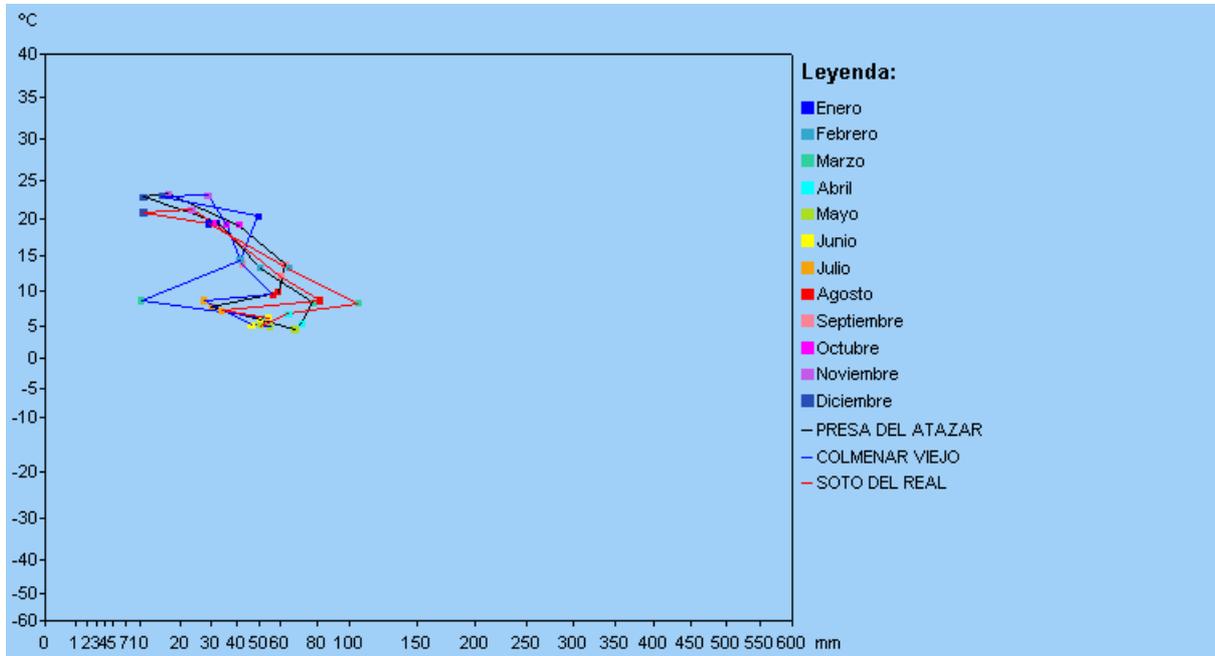
E



F



G



H

