

G. M. CANO GARCÍA

## LA CUENCA DE CABALLERO, AFLUENTE DEL CABRIEL

### ESTUDIO GEOMORFOLOGICO Y MORFOMETRICO

#### INTRODUCCIÓN

La Rambla de Caballero, afluente del Cabriel, por la izquierda, drena parte de la extensa altiplanicie Utiel-Requena, localizada entre la Meseta y los sistemas ibérico y prebético. En conjunto forma una gran cuenca neógeno-cuaternaria —de la que emergen algunos relieves— comunicada por medio de pasillos con otras unidades al final de la colmatación, con lo que el área estudiada ha funcionado como depresión cerrada durante la mayor parte de su historia, hecho que repercute notablemente en la morfología actual<sup>1</sup>.

#### *Clima y vegetación*

Se trata de un clima seco de tendencia continental: la temperatura media anual es de 13'9° C, con una amplitud de 17'3 por diferencia de julio (23'2) y diciembre (5'9). La mínima absoluta llegó a —14° C en enero de 1971 y la máxima a 40° C en julio de 1958. Las precipitaciones alcanzan la cifra de 438 mm anuales, con un mínimo estival (julio, menos de 10 mm) y máximos de otoño (octubre, 76) y primavera (mayo, 48)<sup>2</sup>. En cuanto a vegetación, esta cuenca es

<sup>1</sup> Abarca parte de las hojas del *Mapa Topográfico Nacional*, 1: 50.000, núms. 693, 719, 720 y 744, y comprende los fotogramas siguientes del vuelo americano, 1956, escala aproximada 1: 31.000: roll. 47, fot. 3.527-3.533; roll. 56, fot. 4.285-4.296; roll. 65, fotogramas 5.164-5.175; roll. 91, fot. 8.049-8.062; roll. 95, fot. 8.449-8.463, y roll. 111, fotogramas 9.853-9.861.

<sup>2</sup> Datos de la serie 1954-1973 según PIQUERAS HABA, J., *Geografía Agraria de Requena*, Valencia, tesis de licenciatura, inédita, 1975, 152 ff.

el dominio del pino carrasco y algunas manchas de encinas, probablemente climáticas (además de un sotobosque integrado por romero, enebro, aliagas, etc.), formaciones que aparecen ahora en las zonas periféricas, de condiciones litológicas (calizas y areniscas) menos aptas para el aprovechamiento agrario, mientras que el centro, de topografía llana y materiales detríticos, ha sido deforestado por roturaciones.

### *Aspectos socioeconómicos*

Esta cuenca (perteneciente en parte a los municipios de Requena y Venta del Moro) tiene una población aproximada de 5.000 habitantes, lo que arroja una densidad de 13 habs/Km<sup>2</sup>, destacando los lugares siguientes: Venta del Moro (997 habitantes, si contamos sólo los concentrados en el núcleo, al igual que en los otros), Campo Arcís (750), Los Isidros (583), Jaraguas (478) y Casas de Cuadra (343)<sup>3</sup>. La dispersión ha sido la nota predominante hasta los años cincuenta, cuando, como en tantos otros sitios del agro español, comenzó el éxodo rural, según dos direcciones principales: una, desde pequeñas aldeas y caseríos hacia núcleos próximos provistos de ciertos servicios, y otra, a la capital provincial. Por eso, el municipio de Venta del Moro, que había pasado de 3.309 habitantes en 1900 a 4.431 en 1950, tenía 2.701 en 1970, esto es, casi el 40 % de disminución en veinte años, si bien la emigración se ha visto frenada a partir de 1965.

La explicación de este fenómeno se encuentra en la estructura económica de la comarca en general y de la cuenca de Caballero en particular. La agricultura es la base de la economía, pero las condiciones naturales no posibilitan un cultivo intensivo de secano y el regadío ocupa poca extensión, dedicada a especies de autoconsumo, aparte de algunos frutales (especialmente el manzano, que se da bastante bien por aquí). En el secano, el cereal es poco rentable y se siembra cada vez menos, predominando la vid (60 % de lo cultivado en la comarca<sup>4</sup>), aunque algunas, las menos, reciben riegos eventuales de invierno y aguas de avenidas en las cañadas, donde se han producido transformaciones hídricas y geomórficas (muretes transversales que han rellenado bancales y modificado, por lo tanto, las condiciones de erosión y sedimentación).

Casi todas las parcelas presentan las cepas alineadas para favorecer la mecanización, muy extendida —pero demasiado atomizada— en las labores preparatorias, no así en abonado, saneamiento y recolección, sólo mecanizados en parte. La estructura de propiedad ostenta los dos clásicos extremos negativos desde el punto de vista económico: algunos grandes propietarios absentistas y

<sup>3</sup> La toponimia de caseríos y aldeas indican repartos y roturaciones recientes, salvo Venta del Moro y Jaraguas: Los Marcos, Los Duques, Los Ruices, Las Monjas, Casas de Prada, Casas de Moya, Valderrama... Los datos son de 1970.

<sup>4</sup> Organización Sindical Provincial de Valencia, *Estudio y conclusiones de la comarca Requena-Utiel*, Valencia, Tip. A. M. Martínez, 1973, 388 pp, más anexos y mapas.

una mayoría de pequeñas fincas en parcelas dispersas <sup>5</sup>, que dificultan, o al menos no hacen rentable, la mecanización. Además de la industria del vino, poco puede añadirse, como no sea alguna cantera de yeso y una fábrica de cerámica

### LAS ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS

#### *Paleogeografía*

El Triásico se depositó completo en toda la zona con facies germánicas similares a las de la cordillera costero-catalana <sup>6</sup>, en un ambiente de aguas someras, pero con salinidad normal en el Muschelkalk y cierta disminución de la influencia marina en el Keuper. Durante el Jurásico hubo períodos de distinta profundidad que parecen indicar movimientos verticales alternativos localizados, intensamente marcados después por los empujes orogénicos alpinos, productores de grandes dislocaciones con directrices ibéricas y, más tarde, del hundimiento de cubetas y extrusión del Trías plástico.

Por ello, el Mioceno, continental aquí, yace en discordancia y, además, se depositó localmente en facies lacustres, confirmando el carácter endorreico de algunas zonas. A la vez evaporitas y arcillas rojas revelan unas condiciones cálidas y secas con aportes fluviales, cuyas huellas han quedado en forma de paleocanales conglomeráticos. Tras un período de calma (penillanura finipontense) siguieron los movimientos rodánicos y después el encajamiento de la red fluvial.

#### *El final de la sedimentación*

Como quiera que el proceso geomórfico subactual comienza a partir del momento de la colmatación, conviene precisar la cronología de tal hecho, si bien la datación aún no se ha establecido de forma segura. De un reciente Coloquio sobre Neógeno y Cuaternario inferior <sup>7</sup>, donde se ha planteado esta cuestión, extraemos una puesta a punto de la misma.

Para DUPUY <sup>8</sup> el final del relleno tuvo lugar en el Plioceno, incluso superior. RIBA y otros <sup>9</sup> hacen coincidir el hecho que nos ocupa con el Aquitaniense-Vindoboniense, creyendo probable que la parte superior fuese pontiense. En 1973 AGUIRRE y ROBLES dieron noticia de un yacimiento en Venta del Moro con fauna de las primeras facies pliocenas junto con otras tardías del Mioceno,

<sup>5</sup> PIQUERAS HABA y Organización Sindical..., *ops. cit.*

<sup>6</sup> IGME, *Mapa Geológico de España*, 1:50.000, Madrid, segunda serie, 1973; Hojas y Memorias explicativas núms. 693, 719 y 720.

<sup>7</sup> INQUA, *Coloquio Internacional sobre Biostratigrafía continental del Neógeno superior y Cuaternario inferior*, Madrid, 1974, 244 pp.

<sup>8</sup> DUPUY DE LÔME, E., *Explicación de la hoja n.º 720 (Requena) del Mapa Geológico de España*, 1:50.000, Madrid, IGME, 1957, 68 pp. más 18 fotos.

<sup>9</sup> IGME, *Mapa Geológico de España*, segunda serie, *op. cit.*

manifestando tales autores que las formas regresivas deben considerarse como el final de un período y no el principio del siguiente<sup>10</sup>. Es decir, que el yacimiento citado sería finimioceno y la colmatación probablemente pliocena, puesto que la sedimentación continuó unos 50 m por encima de aquél<sup>11</sup>. En resumen, y sin perjuicio de posibles revisiones futuras, parece aconsejable considerar el principio del encajamiento como pleistoceno, máxime cuando el glacis de Casas Ibáñez se asigna al Villafranquiense y es la coronación del relleno situado en la orilla derecha del Cabriel.

Otro aspecto que nos interesa del período de colmatación es reconstruir el área y el ambiente de sedimentación en ese momento, cosa que hemos intentado en la figura 1, según datos litológicos y estratigráficos que después veremos. Parece que el relleno fue de llanura aluvial con nivel de base en una área endorreica, aparte de otras lagunas pequeñas dispersas por la zona. Pero los límites de esa cuenca fluvial no eran los mismos que los actuales, sino más amplios, por una razón: la presencia de paleocanales y conglomerados calizos requiere una fuente de alimentación que no existe en la divisoria septentrional actual de la cuenca de Caballero, por lo que tales aportes procederían de los relieves mesozoicos situados al norte de Utiel y Requena.

Las deformaciones tectónicas recientes y la extrusión diapírica (las dos existentes en la zona coinciden, y no será casualidad, con las divisorias norte y sur) han modificado la cuenca, quedando dividida en dos durante el Pleistoceno: la septentrional, que encauzó sus aguas hacia el Magro, y la del sur, correspondiente al sistema que estudiamos, estableciéndose entre ambas una débil divisoria poco definida e inestable<sup>12</sup>.

### *El factor litológico*

Las distintas zonas de roquedo se han individualizado utilizando las hojas del mapa geológico 1:50.000 ya citadas, una publicación de la Dirección General de Carreteras<sup>13</sup>, y la foto aérea. Vamos a enumerarlas en el mismo orden en que aparecen en la figura 2 para no repetir allí la reseña, y además utilizaremos en el texto esas cifras a fin de simplificar las referencias.

<sup>10</sup> AGUIRRE y ROBLES, *et al.*, «Venta del Moro, nueva fauna finimiocena de moluscos y vertebrados», *Estudios Geológicos*, vol. XXIX, diciembre de 1973, pp. 569-578.

Ambos autores sugieren la revisión del término «Plioceno» en su límite inferior, puesto que existe una diferencia de siete millones de años entre el continental y el marino.

<sup>11</sup> ROBLES ratifica su apreciación en la publicación indicada en la nota número 7.

<sup>12</sup> Hay alguna acequia que desde el Magro pasa a la cuenca de Caballero (Campo Arcis) salvando una mínima frontera hidrográfica, e incluso en mapas antiguos (por ejemplo, MERCATOR, G., *Atlas*, 1632, 749 pp. Vid. p. 175) aparece la cabecera del Magro unida a la red de Caballero por ese mismo punto. Véase fig. 1.

<sup>13</sup> MOP, *Estudio previo de terrenos. Corredor de Levante. Tramo: Requena-Cheste*, Madrid, 1972, 109 pp. más mapas, y *Tramo: Quintanar del Rey-Venta del Moro*, 135 pp. más mapas.

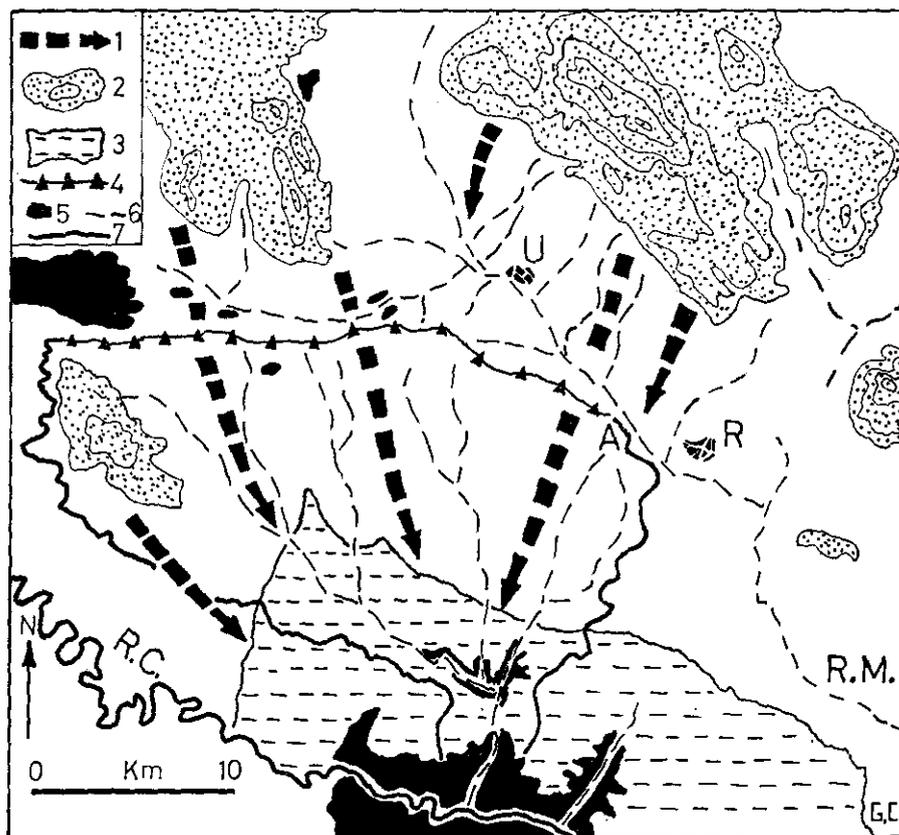


Fig. 1.—Reconstrucción de la sedimentación en sus etapas finales y posterior división en dos cuencas: 1. Probables orígenes y direcciones de la sedimentación.—2. Relieves preorogénicos, dibujados a partir de la isohipsa 900 m con equidistancia de 100.—3. Cuenca lacustre, correspondiente a un sinclinal, elevada después por diapirismo.—4. Divisoria surgida tras la colmatación por pequeños levantamientos de diapiros, que individualiza la parte septentrional dirigida hacia un «antiguo» río Magro capturante.—5. Afloramientos de Keuper.—6. Cauces actuales.—7. Límite de la cuenca de Caballero. U.: Utiel. R.: Requena. A: Parte más baja de la divisoria, atravesada por una acequia. R. M.: Río Magro. R. C.: Río Cabriel.

1) Dolomías del Muschelkalk grises, ocre y incluso negras, muy duras y compactas con potencia de 40 m, bien estratificadas, fuertemente plegadas y fracturadas, con numerosas diaclasas. Afloran al sur de la cuenca, cerca de la confluencia con el Cabriel, formando laderas acusadas.

2) Arcillas y margas abigarradas del Keuper, plásticas, salinas en profundidad, como indican los manantiales existentes por aquí, difusamente estratificadas, deleznales, con intercalaciones de yesos y calizas. Forman un verdadero diapiro al sur de la cuenca, inyectado en fallas y fracturas, que trastoca la horizontalidad de las calizas supraya-

centes y origina acusados abarrancamientos. Además de este diapiro, llamémosle de Caballero, existe otro más pequeño al norte de Jaraguas.

3) Arenas arcillosas albenses de colores abigarrados, blancos amarillentos y rojizos, grano medio silíceo e intercalaciones de areniscas de textura fina e igual naturaleza. Se localizan en una estrecha franja al oeste de la cuenca, formando parte de un conjunto anticlinal.

4) Calizas grises y ocre-amarillentas turonienses con capas de dolomías macizas grises de buena estratificación en conjunto, afectadas por pliegues de amplio radio de curvatura y fenómenos kársticos. Afloran en el mismo lugar que el grupo anterior, modeladas en áreas deprimidas tipo poljé. Al noroeste de Los Marcos hay un asomo de estas rocas casi oculto por rellenos neógenos, de los cuales emerge de manera aislada en estratos subverticales cortados por barrancos.

5) Calizas y dolomías microcristalinas del Cenomaniense-Coniaciense, con intercalaciones de margas grises y blancas muy plásticas, plegado todo ello en curvatura amplia con algunas fallas. Constituyen parte de la Serratilla en el este de la cuenca, mezclándose estratos subverticales con buzamientos inferiores a 15°, medio cubiertos también por el Neógeno allanado de Campo Arcís, del que sobresale en laderas escarpadas y cerros aislados.

6) Calizas senonienses grises y amarillentas con intercalaciones de margas delezna- bles, constituyendo parte del anticlinal occidental en una banda paralela al grupo nu- merado en cuarto lugar.

7) Areniscas y margas amarillentas del Cretáceo superior-Paleógeno, situadas en la periferia del sector 4 en la zona de Los Marcos.

8) Calizas blanco-amarillentas y grisáceas, de deposición lacustre, según indican cier- tos fósiles y las interstratificaciones de toba y lignito. La disposición es horizontal en ori- gen, pero se halla afectada por una especie de sinclinal postmioceno muy abierto y, además, localmente removida por el diapiro de Caballero. Corresponde a los pisos más altos de relleno Neógeno (Plioceno?) y ocupa una considerable extensión al sur de la cuenca, con importantes repercusiones geomórficas, como veremos más adelante. Las calizas forman bancos duros de varios metros de espesor y presentan huellas perpendiculares de disolu- ción, aunque no puede hablarse de un *karst* propiamente dicho, y sus características parecen semejantes a las de los páramos castellanos<sup>14</sup>.

9) Alternancia irregular de arcillas arenosas rojo-amarillentas delezna- bles, calizas du- ras similares al grupo anterior y capas conglomeráticas arcillosas de grano medio calcáreo, que localmente pasan a areniscas silíceas blancas poco cementadas. El conjunto tiene estratificación subhorizontal y corresponde en su mayoría al Mioceno inferior, localizán- dose en la periferia del sector octavo, dando, pues, laderas de abundantes formas dife- renciales, debido a las distintas durezas de los materiales mencionados.

10) Conglomerados de cantos silíceos y matriz arenosa, con cambios laterales a are- niscas silíceas de grano grueso, todo ello en disposición horizontal, y estructuras planas en algunos cerros próximos a Venta del Moro. Constituyen otra facies de la colmatación, probablemente de sedimentación fluvial en la periferia lacustre.

11) Arcillas rojo-violáceas y verdosas, delezna- bles y muy plásticas, con intercala- ciones de conglomerados blandos calizos, areniscas grisáceas (débiles también), calizas blancuzcas y margas yesíferas en estratos horizontales. Corresponden al Mioceno inferior, pero son facies heredadas del Triásico, y se localizan junto al diapiro de Caballero, dando lugar a laderas abarrancadas.

12) Alternancia irregular de arcillas arenosas pardo-rojizas en bancos potentes, con- glomerados arcillosos blandos de grano medio y areniscas calcáreas. La estructura es horizontal y forma parte del Mioceno superior, indicando ambiente fluvial alrededor de la cuenca endorreica y al pie de los afloramientos cretáceos preorogénicos. No parece que

<sup>14</sup> En la publicación citada antes (nota 7) se le denomina «facies páramos».

sean los niveles de colmatación, porque se encuentran en una zona de frecuentes cañadas excavadas en la llanura pliocena tras el final de la sedimentación.

13) Brechas de cantos calizos y dolomíticos, con cemento calcáreo rojizo y disposición subhorizontal en la vertiente del Cretáceo occidental y sobre el sector doceavo. Se trata en realidad de un verdadero glacis de acumulación en piedemonte, atacado por los cauces fósiles mencionados y la red actual.

14) Arcillas arenosas rojo-amarillentas con arenas intercaladas, que, en algunos puntos, cambian lateralmente a conglomerados rojizos de grano medio y grueso, tanto silíceo como calcáreo, testimonios de antiguos cauces que ahora coronan los cerros destacados de esta llanura. Pertenecen al Mioceno, inferior y superior, indicando un mantenimiento en las condiciones de depósito, que sería de tipo fluvial con alguna área lacustre (yesos de Los Ruices). Ocupa gran extensión dentro de la cuenca y es denominada en los mapas geológicos citados «facies de Requena», modelada, de N a S, en *badlands*, cauces fósiles y glacis de erosión.

15) Yesos fibrosos y sacaroides compactos, de color gris blancuzco, con capas de margas poco potentes. Pertenecen al Mioceno inferior y se explotan por medio de canteras, único vestigio de su existencia, porque no se marcan en la topografía.

16) Gravas calcáreas y cuarcíticas, grises y rojizas, con matriz limo-arcillosa, generalmente poco cementada, en disposición horizontal e interior caótico, formando las terrazas de los cauces principales.

17) Aluviones areno-limosos con ocasionales lentejones de grava o arena y estructura horizontal y entrecruzada, correspondientes a los lechos fluviales.

#### *Tectónica y estratigrafía*

Aunque la zona está próxima a la intersección de las áreas ibérica y bética, las direcciones de esta última no aparecen de un modo claro, predominando, por el contrario, las alineaciones NW-SE, unas afectando a materiales preorogénicos y otras al relleno neógeno. En este último caso se trata de deformaciones de gran radio con buzamientos comprendidos entre 2 y 4°, lo que parece indicar acomodaciones impuestas por las alineaciones ibéricas más que verdaderas estructuras tectónicas<sup>15</sup>. La cuenca está atravesada por un sinclinal de este tipo (donde se acumularon depósitos lacustres), flanqueado por sendos anticlinales que han marcado las divisorias recientes, aún no estabilizadas del todo.

Los asomos preorogénicos del NW son prolongaciones de la estructura de Contreras, pero más sencillas, puesto que se van alejando del predominio ibérico. Los afloramientos secundarios del SE mantienen las mismas directrices y están fuertemente replegados en el diapiro del sinclinal mencionado, cosa lógica si se piensa que la presión hidrostática es mayor que en los anticlinales. Esa extrusión ha elevado el sinclinal, al menos en parte, favorecido además por la acusada tendencia de esta cuenca a moverse verticalmente en distintos sentidos (véase el apartado de Paleogeografía). Así que las calizas lacustres, ya de suyo mucho más resistentes que las arcillas «facies de Requena», han formado una barrera elevada, hecho de la máxima importancia en la interpretación del paisaje morfológico actual.

La comprobación de que el diapirismo es reciente —quizás en actuación todavía— se basa en cuatro hechos principales:

<sup>15</sup> IGME, *Mapa Geológico de España*, segunda serie, *op cit.*

a) En la margen derecha de la rambla Albosa las calizas lacustres presentan buzamientos de hasta 15 y 20°<sup>16</sup>.

b) Algunas terrazas pleistocenas se encuentran movidas.

c) El diapiro de Jaraguas ha alzado con inclinaciones entre 3 y 19° al Mioceno superior en toda la periferia del asomo triásico, mientras que fuera de ella el piso mencionado es horizontal (Lám. I, 3).

d) Las diferencias de encajamientos fluviales, según estén afectadas o no por diapirismo aflorante u oculto.

Por otra parte, el mapa estratigráfico simplificado (fig. 3) revela un hecho fundamental a efectos geomorfológicos, si bien su expresión es sumamente sencilla: el Mioceno superior-Plioceno, que representa actualmente la mayor extensión de la cuenca, fosilizó relieves preorogénicos y supuso la colmatación de la misma. La red actual se encaja en el piso citado, descubriendo el Mioceno inferior —y aguas abajo el Trías— en aquellos lugares donde ha llegado la erosión fluvial remontante. Es decir, que todo el modelado actual está en función de esa ablación, que tiende a vaciar la cuenca.

De otro lado, es evidente que el nivel de colmatación cubrió toda el área, aunque con distintas facies, como lo prueban los retazos que han quedado en los interfluvios. Las ramblas y cauces en general, por su parte, han efectuado una erosión mayor en el sentido meridiano, mientras que la cuenca occidental, de

<sup>16</sup> IGME, *Mapa Geológico de España*, segunda serie, *op. cit.*

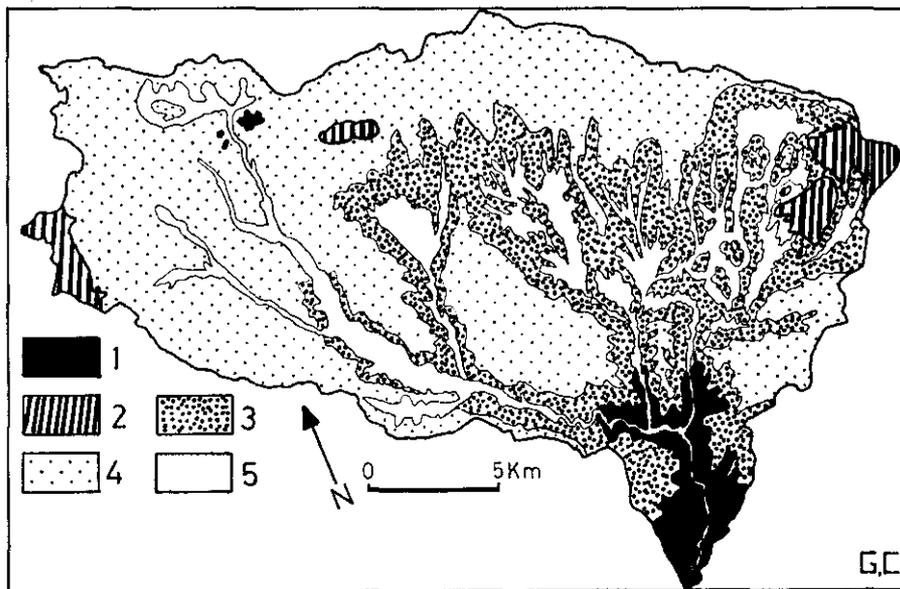


Fig. 3. — Croquis estratigráfico: 1. Muschelkalk y Keuper. — 2. Jurásico y cretácico. — 3. Mioceno inferior. — 4. Mioceno superior-Plioceno. — 5. Cuaternario.

dirección NW-SE, ha avanzado bastante menos. Las explicaciones de tal hecho pueden ser las siguientes:

a) La primera zona mencionada, al estar más alejada de los relieves preorogénicos recibió detritos finos y localmente se formaron evaporitas, lo que ha favorecido el vaciado.

b) Por la misma razón las cabeceras de esas ramblas se han encajado en *badlands*, suponiendo una mayor proliferación de cauces.

c) En parte, como consecuencia de las dos anteriores, ha coadyuvado el carácter dendrítico de la red fluvial frente al predominio longitudinal del área caliza.

Una cuestión susceptible de análisis estratigráfico es el contacto entre el Mioceno inferior y superior, de lo que se deduce que éste se depositó sobre una serie de pequeñas cuencas individualizadas, pues las alturas en las que se realiza la conjunción de ambos pisos, según se observa en los cauces encajados, varía en los distintos lugares entre 720 m y 600 snm, sin que, en la mayoría de los casos, medie el espacio suficiente como para pensar en llanuras inclinadas o glaciais de piedemonte. Nueva prueba, quizás, del diapirismo reciente.

#### ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO

Analizamos aquí el modelado de la cuenca en tres apartados: el primero, grandes áreas que constituyen paisajes morfológicos bien diferenciados; un segundo para estudiar los glaciais de manera especial, porque suponen el capítulo más importante de la cuenca, tanto por la extensión como por las características genéticas. La última parte se refiere a formas que no siempre son de inferior alcance y tienen una distribución menos continua, aparecen extendidas en los paisajes señalados, como los cauces, o se trata de relieves menores.

##### *Los paisajes morfológicos y su explicación*

1. *Estructuras plegadas y falladas*.—Ocupan poca extensión y con localización periférica, salvo un pequeño asomo en la parte central del N, medio cubierto por el relleno posterior. Las estructuras están poco acusadas y, sobre todo al W, bastante desgastadas.

a) *Zona occidental*.—Anticlinal suave muy atacado por la erosión, que ha dado formas deprimidas y llanas cultivadas actualmente, a la vez que en el piedemonte se han depositado cantos, cementados después, los cuales enrasan topográficamente con calizas, también allanadas. Esto es, que hubo un período con simultaneidad de erosión en materiales duros y acumulación en las zonas deprimidas de éstos, que probablemente coincidirá con el momento de la colmatación de la cuenca.

Pero tal afirmación sólo es válida para el piedemonte estricto del anticlinal, pues éste se alinea con el cerro de La Molata (puede ser testigo del nivel de

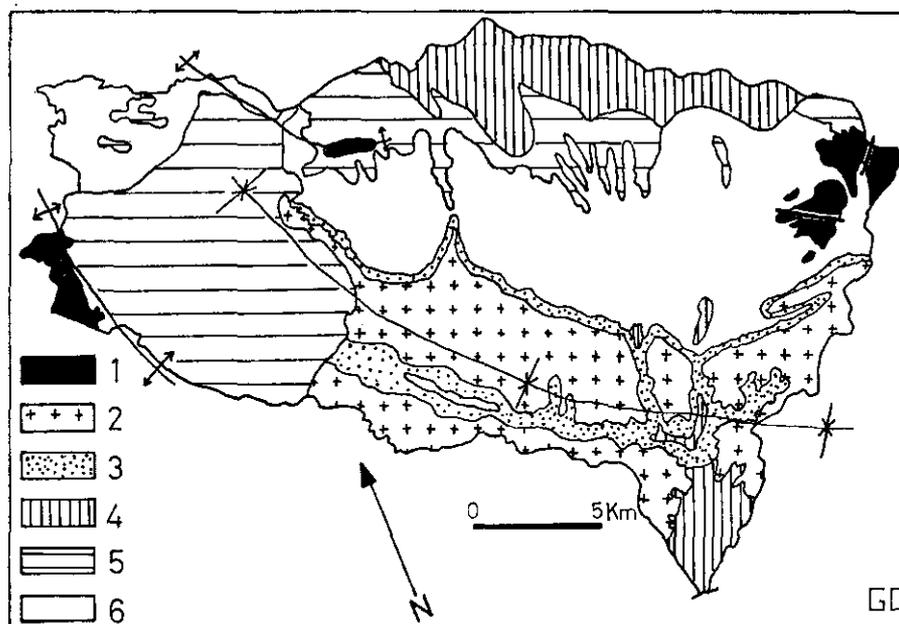


Fig. 5.—Croquis geomorfológico simplificado: 1. Relieve estructural.—2. Modelado tabular de calizas lacustres.—3. Laderas.—4. *Badlands*.—5. Zonas con predominio de cañadas.—6. Glacis de erosión.

colmatación de la cuenca; vid. fig. 6), en una superficie con pendiente del 3 %, que ha sido erosionada después en varias fases, resultando un desnivel del 6 %. La red fluvial se encaja en los materiales de colmatación más altos y pasan a valles de fondo plano o cañadas, y sólo en algunas de ellas diseccionan cauces funcionales, con nivel de base local en las ramblas NW-SE, que cruzan perpendicularmente los antiguos recorridos.

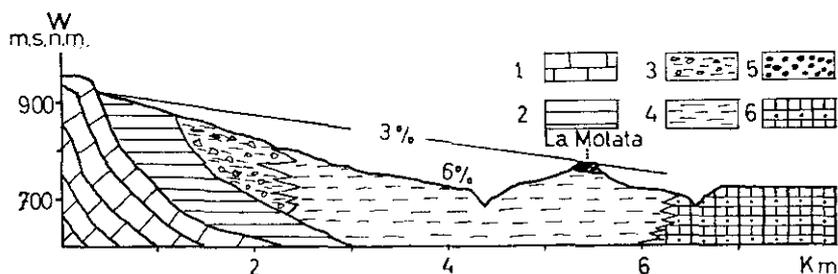


Fig. 6.—Corte estratigráfico al noroeste de la cuenca; 1. Calizas cretácicas.—2. Arcillas y calizas del Mioceno inferior.—3. Brechas.—4. Arcillas y conglomerados.—5. Conglomerados y areniscas correspondientes al nivel de colmatación.—6. Calizas lacustres.

b) *Area al noroeste de Los Marcos*.—Pequeño anticlinal con materiales del grupo cuarto, cortado por verdaderas «cluses», que se convierten asimismo en cañadas de fondo plano y ancho una vez atravesadas las estructuras. Esos barrancos transversales no hacen más que reforzar la existencia de una superficie de colmatación que llegaría hasta la altura del pliegue (actualmente a 800 m, similar a los cerros testigos del relleno) y después, al comenzar el vaciado de la cuenca, han podido encajarse por sobreimposición en materiales duros.

c) *Zona de La Serratilla*.—Constituida por buzamientos de distinto grado y algunas áreas allanadas, que forman la divisoria oriental de la cuenca y otras locales, originando redes dendríticas encajadas con dirección al N y al S, donde desaparecen en el glacis de Campo Arcís. Estos afloramientos, a veces en cerros aislados, han desempeñado un considerable papel geomórfico al posibilitar una red que ha erosionado más fácilmente y formado un glacis de mayor perfección que el del centro de la cuenca, a pesar de que la litología es la misma.

2. *Las cañadas o valles de fondo plano*.—Son valles anchos excavados en los materiales de relleno y sin apenas acumulación, los más antiguos de los cuales se formaron a partir del nivel de colmatación, con lo que la pendiente era débil y causó sinuosidades que ensancharon lateralmente los lechos. Estos, enmarcados ahora casi siempre por pequeñas divisorias, coinciden a menudo con materiales más duros, lo que introduce la calificación de forma diferencial. Tal hecho y la categoría del cauce originario explican los distintos tamaños —a veces verdaderos glacis de erosión, pasándose insensiblemente de una forma a otra—, con lo que la distinción se basa en las dimensiones. Asimismo los márgenes de algunas de estas cañadas pueden considerarse terrazas cuando en ellas se ha encajado un cauce, e incluso puede aparecer más de un escalón indicando varias fases erosivas. Pero no existen aluviones ni conglomerados rodados en los bordes, por lo que sólo serían «terrazas» topográficas.

La mayoría de las cañadas no son funcionales más que muy esporádicamente, máxime cuando las de mayor pendiente longitudinal, que se prestarían mejor al desagüe, están transformadas por muros transversales que rellenan bancales de cultivo. Otras tienen encajado un estrecho canal de drenaje en el centro, cuyo nivel nos ha servido de base para cartografiar los escalones sucesivos (fig. 4). Existen dos zonas principales de cañadas dentro de la cuenca: una en la parte occidental, en materiales del grupo 12, bien delimitada por rocas más duras al E y W; otra, al norte de los glacis del centro y levante, en una localización que nos interesa destacar, pues se hallan entre *badlands* y glacis de erosión, lo que plantea la siguiente incógnita: ¿las cañadas corresponden a un clima más húmedo o suponen el eslabón entre las dos formas citadas? Ciertas observaciones parecen indicar lo primero.

En efecto, aguas arriba de la zona occidental no hay *badlands* y los existentes más al E se encajan en la superficie correspondiente al fondo de los valles (levantados aquí en la divisoria de la cuenca, probablemente, como dijimos, por un diapiro profundo) y no en el nivel inmediatamente superior, que es donde se modelan las cañadas. Estas, además, dibujan líneas rectas de mayor

longitud que las correspondientes a un relieve de cárcavas, a la vez que las divisorias o interfluvios que quedan entre tales barrancos debían de ser más pequeños y laberínticos. Tal observación viene reforzada por el dibujo periférico de las cañadas y la cuantificación que se ha hecho de las mismas, reconstruyendo los antiguos cauces (fig. 17). Todo ello, pues, parece indicar más bien que estos valles de fondo plano existentes en la cuenca estudiada se formarían bajo un clima más húmedo que el actual, con suelo cubierto de vegetación y escasos o nulos aportes detríticos.

Si esos valles son pleistocenos, como conviene a la cronología de la colmatación, y aparecen en varios escalones, lo más lógico sería pensar en pluviales<sup>17</sup> para explicar la génesis de las cañadas. Pero en tal caso se tropieza con el problema de que los períodos secos y fríos deberían proporcionar cantos angulosos, siempre que existiese una fuente de suministro, como ocurre, sobre todo, al este de la cuenca, donde está el glacis de erosión sin cubierta de Campo Arcís.

La solución estaría en lo siguiente: la parte oriental recibiría cantos de gelifracción en las cañadas, desaparecidos unos y otras al formarse el glacis, porque aquí la litología del relleno es de granulometría más fina y la red de cauces mayor. En los demás lugares no hubo suministro de cantos, ya que la divisoria septentrional había individualizado la cuenca del Magro al pie de los materiales preorogénicos de Requena y Utiel. Así, los fondos detríticos de los valles (arcillas, arenas...) se hicieron más impermeables en esos momentos fríos y secos, favoreciendo la erosión lateral de las avenidas en los períodos húmedos.

3. *Los «badlands»*.—Se localizan dentro de la cuenca, en tres zonas: una, la parte alta septentrional; otra, al S, en relación con materiales del Keuper<sup>18</sup>, y una tercera dispersa en los bordes de los cauces que afectan a los glacis. La explicación de estas formas es conocida: el clima seco parece una condición indispensable, pero no suficiente, por cuanto en la cuenca estudiada —toda ella con iguales precipitaciones y la misma distribución estacional— sólo aparecen en ciertos lugares. Otro tanto podría decirse de la vegetación, prácticamente ausente en los relieves de cárcavas.

La situación respecto al conjunto fluvial no indica nada significativo, pues unos están en las cabeceras de las cuencas, otros en el curso bajo del sistema, cerca de la confluencia con el Cabriel, y un tercer grupo a lo largo de los cauces,

<sup>17</sup> ROSSELLÓ VERGER, V. M., «El interglaciar actual y su fin próximo», *Estudios Geográficos*, núm. 137, 1974, pp. 657-678. Actualmente se habla de varios períodos intercalados en el millón de años que duró el Pleistoceno. Tales oscilaciones no darían siempre otros tantos desniveles, si no existe también un cambio de nivel de base. GLADFELTER, BRUCE, G. (*Meseta and Campiña Landforms in Central Spain*, Chicago, University, 1971, 204 pp.), distingue cuatro superficies de erosión en la cuenca del Alto Henares, la más reciente de las cuales asigna al Pliopleistoceno, bastante destruida por las oscilaciones posteriores.

<sup>18</sup> Estos terrenos son, por supuesto, preorogénicos, pero se consideran en este apartado por la fuerte intensidad de los *badlands*.

coincidiendo estas tres localizaciones con las áreas que citábamos al principio de este apartado. Así que, dados un clima determinado y la deforestación, los elementos explicativos son dos en este caso: litología y topografía. Efectivamente, los *badlands* aparecen en terrenos arcillosos señalados en los grupos 2, 11 y 14, pero no en todos, sino sólo cuando esos materiales se encuentran elevados.

Esto ocurre en las divisorias norte y sur por diapirismo aflorante u oculto, además de que, sobre todo en la primera área mencionada, cuenta otro factor: la divisoria estaba establecida en laderas desgastadas de un clima húmedo correspondiente a las cañadas y, al tornarse más seco, las vertientes y lechos han sido cruzados por cárcavas. Esto nos lleva a la explicación evolutiva del pro-

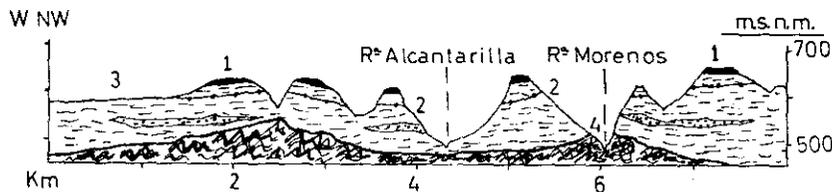


Fig. 7.—Encajamientos en la parte meridional: 1. Calizas lacustres que protegen al Mioceno detrítico (2 y 3).—4. Keuper.

ceso, que en este caso no difiere de las teorías en uso (un primer canal se bifurca por erosión remontante y así sucesivamente), a lo que cabe añadir el importante papel del Karst mecánico, del que después hablaremos, así como de los aspectos morfométricos de estos *badlands*.

4. *El relieve tabular y sus laderas.*—Está integrado por calizas de «facies páramos», depositadas en un sinclinal subsidente y, por ello, con buzamientos originarios hacia la charnela, aunque débiles (2-3°), e incluso subhorizontales a veces. Después el diapiro ha levantado en bloque este paquete, basculándolo quizás al S (la rambla Albosa se ha desplazado en este sentido), con el consiguiente aumento del declive hacia el cauce por un lado y el escarpe septentrional por otro, y la formación de una barrera que, vista desde el glacis de abajo, parece un «monte», y así se le denomina en el lugar. Este escarpe ha ocasionado la aparente «anormalidad» de que la topografía sea más abrupta aguas abajo de la cuenca.

Las calizas en cuestión presentan especies de mesas y muelas, apenas erosionadas en las partes superiores, afectadas sólo por algún cauce fósil y atravesadas por tres ramblas importantes: la de Albosa, en dirección W-E, aprovechó el sinclinal y se ha ido encajando de manera tortuosa por imposición de la diversidad litológica a medida que actuaba el diapiro. Se trata de un cauce conforme y parece el más antiguo del sistema, apreciación ratificada por el análisis morfométrico. Las otras dos —de Alcantarilla y Los Morenos— han cortado las calizas en dirección N-S, produciendo «cañones» netos y profundos, lo cual puede sugerir lo siguiente: rotura por extrusión de los materiales plásticos

aprovechada por ambas ramblas, que hasta entonces pertenecerían a una cuenca cerrada, y establecimiento de una intensa pendiente en el débil Keuper aguas abajo, con el refuerzo del encajamiento de esos cauces, capturados, pues, por sendos barrancos remontantes en el diapiro. Desde luego, cabe otra interpretación: enrasamiento de calizas lacustres y facies detríticas en el momento de la colmatación y antes del levantamiento, con lo que se trataría de encajamientos epigénicos.

Las laderas poseen una litología variada (grupo 9), lo que ocasiona formas de erosión diferencial, sinuosidades y escalones, debidos también a los movimientos de ascenso. Pueden distinguirse tres tipos principales: las del N, muy escarpadas y con cauces que se pierden en el glacis; las del S, en declive hacia la rambla Albosa, aprovechando las estructuras, y las correspondiente a los encajamientos N-S, donde predominan los *badlands*.

#### *Glacis de erosión*

1. *Localización*.—Aparte del piedemonte, tapizado de brechas muy disecadas por la excavación posterior, los glacis de erosión se extienden ampliamente en la cuenca, constituyendo tres áreas bien delimitadas. La primera se localiza al NW, rodeada de una divisoria (con salida solamente en la parte oriental) que la separa de la zona de cañadas, características ambas indicadoras, al parecer, de una captura posterior a la época del nivel de colmatación y anterior al encajamiento de la red actual. La explicación puede ser el levantamiento diapírico, que aflora en una pequeña mancha en Jaraguas y mucho más extendido al noroeste de Villargordo del Cabriel, en un valle excavado<sup>19</sup>. La segunda zona, más oriental, está constreñida a E y W por prolongaciones —o retazos no erosionados— de calizas lacustres, con las que también hace frontera al mediodía en un escarpe poco acusado, porque está más lejos del diapiro meridional. No así la tercera área, bien delimitada al S por la barrera de los «páramos» y mucho más extensa que las otras.

2. *Características*.—Son glacis de erosión, excavados en arcillas del grupo 14, totalmente desnudos, entendiendo como tales, los que no están protegidos por una capa (sea conglomerados o costras) distinta a los materiales infrayacentes. Es decir, que en los cortes observados —y son muchos los cauces encajados en ellos— no se aprecia ninguna diferencia entre los sedimentos del relleno y la parte superior allanada, e incluso ni siquiera coinciden en todos los casos con paleocanales o facies detríticas groseras.

Se mantienen conformes con las estructuras, esto es, la pendiente va hacia la zona sinclinal, y los «retablos» son, en este caso, de materiales blandos (lo que explica la ausencia de acumulación), salvo al S y E, donde están, respectivamente, el escarpe de los «páramos» y los relieves cretáceos de la Serratilla.

<sup>19</sup> ORTÍ CABO, F., *El Keuper de Levante*, tesis doctoral, Barcelona, 1973, 174 ff. mecanografiados y XXIII láminas.

En este último sector hubo, pues, coalescencia de drenaje, que dio lugar a un contacto cóncavo y no en «knick» propiamente dicho. El glacis más perfecto o más allanado se encuentra en Campo Arcís (hacia el centro hay ciertas ondulaciones de las que después hablaremos), y es donde los declives alcanzan valores más bajos (0'5-1 %), mientras que al W aumentan hasta el 3 y 4 %, conver-

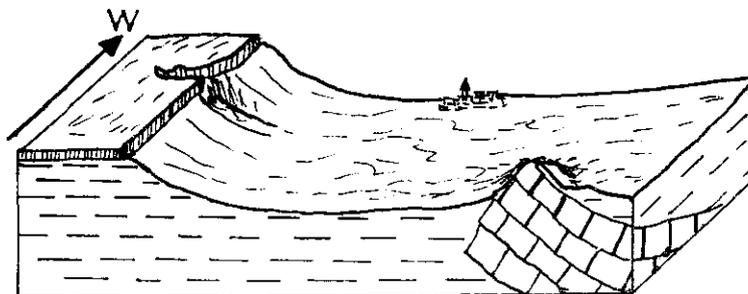


Fig. 8.—Glacis de Campo Arcís: La aplanación en arcillas tuvo al principio como nivel de base cauces que atravesaron las calizas lacustres del sur, aprovechando roturas diapíricas.

giendo además desde las distintas direcciones hacia la zona de yesos de Los Ruices, que pudo ser una especie de laguna.

Otra característica a destacar por la importancia que tiene en la interpretación morfogenética es la presencia de *inselberge* o cerros que emergen del glacis, algunos de reducido tamaño, alineados en pequeños interfluvios, que son restos de antiguas cañadas. Su pervivencia se explica, en la mayoría de los casos, por las intercalaciones de conglomerados o areniscas, por lo que se trata en realidad de formas de erosión diferencial, al menos en parte. Desde el punto de vista humano, estas pequeñas elevaciones más allanadas cumplen un importante papel: el de servir de emplazamiento a casas de campo y aldeas.

3. *Génesis*.—Muchos investigadores se han ocupado de estudiar estas formas —sólo enumerarlos ya sería demasiado<sup>20</sup>—, pero casi siempre referentes a glacis de acumulación, y a menudo se intenta aplicar el mismo esquema a los que carecen de cubierta (algún autor hasta duda de la existencia de éstos). Los glacis de la cuenca analizada son un estadio del vaciado de la misma, que deja al descubierto las intercalaciones detríticas, de tal manera que las gravas y cantos dispersos que aparecen por la zona no son los que han formado el glacis, sino la consecuencia del proceso de planación.

En la figura 4 se han cartografiado los valles anteriores a los cauces actuales

<sup>20</sup> LÓPEZ BERMÚDEZ, F., *La Vega Alta del Segura. Clima, Hidrología y Geomorfología*, Murcia, Departamento de Geografía, 1973, 288 pp. Recogió detalladamente un estado de la cuestión, a la vez que estudió los glacis de la zona citada. Asimismo, MORALES GIL, A., *El Altiplano de Jumilla-Yecla*, Murcia, Departamento de Geografía, 1972, 467 pp. más XVI láminas.

por medio de la foto aérea. Puede observarse que, como habíamos anunciado, la convergencia de cañadas o valles de fondo plano son las que aguas abajo originan estas plataformas de erosión, facilitando el proceso la fina granulometría del relleno justamente en la parte donde los glaciares se extienden más. Cuando los cambios laterales de facies (recuérdese el proceso de colmatación y los distintos ambientes de sedimentación) abundan, aparecen rezagados en el proceso interfluvios e *inselberge*, que forman ondulaciones a veces imperceptibles en los glaciares del centro y W.

Las cañadas, con escorrentía periódica, se han ido ensanchando lateralmente <sup>21</sup> con la ayuda quizás de cursos divagantes heredados por la débil pendiente de la llanura colmatada y la erosión diferencial. Si se admite la captura de las ramblas Alcantarilla y Morenos, la salida de mantos de agua desde la cuenca endorreica contribuiría al arrasamiento del glaciar de Arcís, el más perfectamente allanado. Otro factor digno de consideración es la actuación humana, que ha podido rebajar divisorias y hasta hacerlas desaparecer con el cultivo secular <sup>22</sup>.

4. *Estado actual*.—Otras dos cuestiones nos interesan acerca de estos glaciares: cuándo se formaron y si actualmente funcionan. La contestación a la primera no puede hacerse en términos absolutos, y sólo sabemos que el glaciar inferior (el que ocupa casi toda la extensión allanada) parece posterior a las cañadas (pleistocenas?) y sin duda inmediatamente anterior al encajamiento actual. Un período probable sería el último interglaciar, denominado Eem para Europa, de clima continental muy extremado y amplia estación seca <sup>23</sup>, durante la cual la vegetación sería bastante escasa y se endurecerían los detritos del fondo de las cañadas. En la estación húmeda la escorrentía ensancharía los valles con el retroceso de los interfluvios, en cuyo aplanamiento ha tenido una indudable influencia la acción antrópica. Tampoco puede descartarse una continuación de las condiciones ambientales existentes durante la formación de cañadas, puesto que las confluencias de éstas originan los glaciares. El que está situado en la zona de Jarraguas, en un nivel topográfico más elevado, pudo haberse formado de igual modo en interglaciares anteriores o bien tratarse del mismo, realizado por el diapiro.

La segunda interrogante ofrece menos dificultad: los glaciares están siendo atacados por cauces y *badlands* —aunque poco desarrollados aún, prueba de su juventud—, por lo que el nivel de base local se encuentra debajo de la plataforma, lo cual quiere decir que ésta no funciona como tal, pues las divisorias de las cañadas presentan concavidades que están prácticamente fosilizadas. Así pues, se trata de un proceso acabado en unos casos e interrumpido en otros por

<sup>21</sup> TRICART-CAILLEUX, *Le modelé des régions seches*, París, SEDES, 1969, 472 pp. más 51 fotos. Hablan del arroyamiento pelicular en la génesis de los glaciares.

<sup>22</sup> Aunque la toponimia de muchos lugares indica un poblamiento reciente, existen lejanos antecedentes de ocupación. Véanse las fichas existentes en el Museo de Prehistoria, Servicio de Investigación Prehistórica de Valencia, a partir del Mesolítico y con importantes yacimientos del Bronce, ibéricos, romanos, etc.

<sup>23</sup> ROSSELLÓ VERGER, V. M., *op. cit.*

la desecación climática holocena y, probablemente, la elevación diapírica, con el resultado de encajamientos y actuación del Karst mecánico (véase más adelante). Ambos tienden a crear lechos anchos en algunas ramblas con paredes muy inclinadas de rápido retroceso por zapa, cosa que induce a pensar en un nuevo ciclo —fase, si se quiere— cuyo esquema podría aplicarse a la glaciación anterior, abriéndose así el abanico de posibilidades en lo referente a condiciones climáticas sobre la génesis de este modelado <sup>24</sup>.

#### Otras formas

1. *La erosión lineal.*—En realidad, mucho de lo mencionado está en función de la erosión fluvial (en sentido amplio, desde luego, pues no hay aquí ningún río propiamente dicho) y, además, después se realiza un análisis morfométrico de toda la cuenca; sin embargo, conviene destacar algunos aspectos. Los cauces actuales se encajan en glacis o vaguadas antiguas, siguiendo la misma direc-

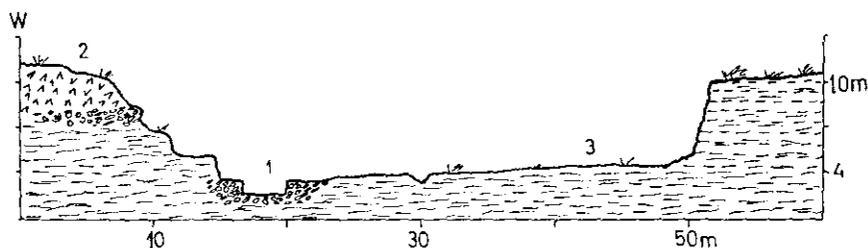


Fig. 9.—Lecho mayor de la Rambla de los Ruices: Proceso de formación de glacis de erosión en sus inicios por retroceso del borde oriental arcilloso a partir de la incisión del cauce (1), alejado ya del frente que ataca a las arcillas (3). Al oeste, margas yesíferas y conglomerados (2), el avance erosivo es menor, y los resultados, distintos.

ción, hecho ratificador del vaciado de la zona con direcciones y, en parte, características heredadas. Otra cuestión es que los fondos de las ramblas apenas tienen aluviones, y los pocos existentes suelen ser pequeños y dispersos, de igual manera que los situados sobre glacis y fondos de cañadas, cosa digna de atención por cuanto puede corroborar la indentidad de procesos, como apuntábamos antes, además de incidir en la falta de aportes detríticos gruesos por la escasez de afloramientos y la fosilización de las vertientes.

Existen otras formas «fluviales», prácticamente imposibles de localizar sobre el terreno, pero perceptibles como sombras en foto aérea, debido a la acu-

<sup>24</sup> CANO GARCÍA, G. M., «Un ejemplo de karst mecánico en rocas blandas: las torcas de Guadix» (Homenaje al profesor D. Manuel de Terán), *Est. Geogr.*, núms. 138-139, 1975, pp. 247-263. Este karst mecánico puede originar un glacis, para lo cual habría que suponer aquí un régimen pluviométrico similar al de ahora durante algunos períodos pleistocenos.

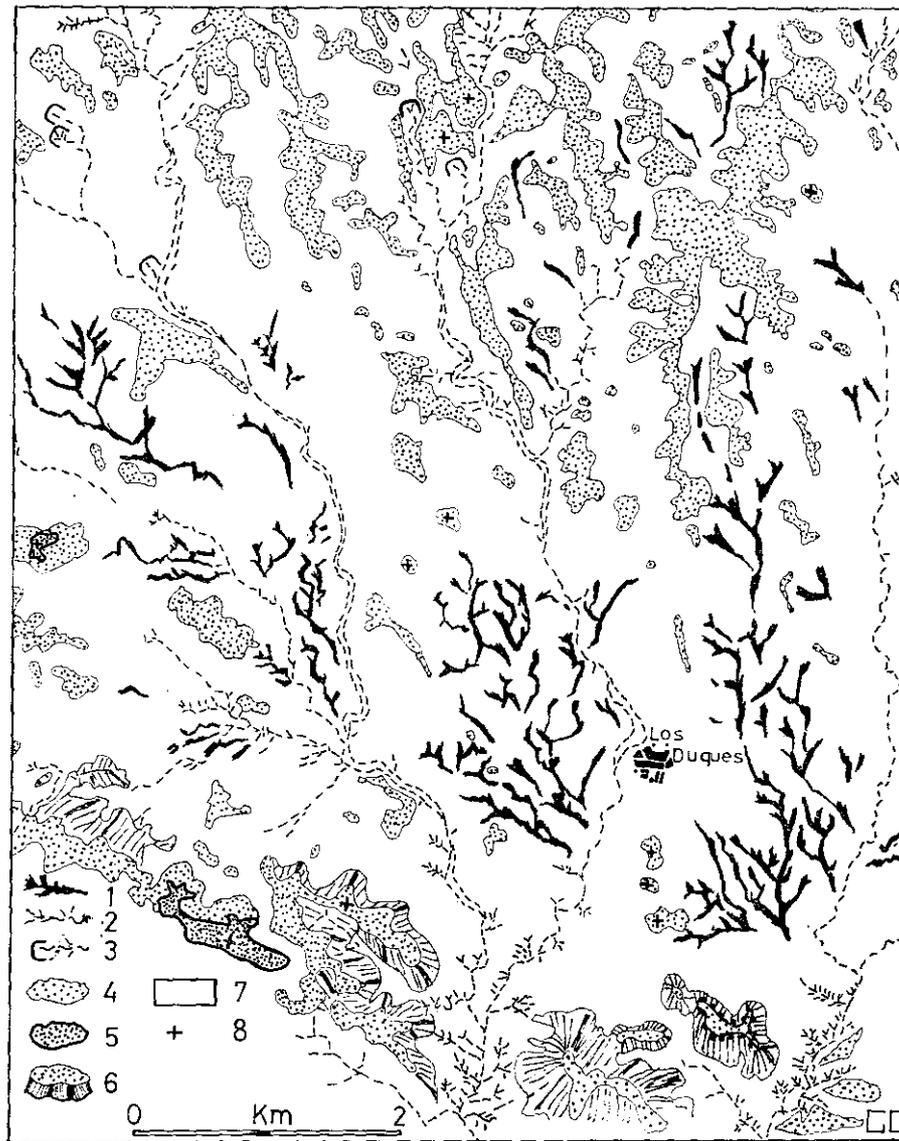


Fig. 10.—Parte central de la cuenca: Las divisorias de las cañadas, generalmente con intercalaciones de conglomerados y areniscas (4), disminuyen progresivamente aguas abajo, formándose un glacis de erosión (7) —limitado al sur por calizas subhorizontales (5)— donde se encaja la red actual (2), que retrocede a veces por *karst* mecánico (3). Asimismo el glacis está surcado por una red, perceptible solamente en la foto aérea en forma de sombras detectoras de mayor humedad (1).

mulación de humedad. Están ramificadas y generalmente enlazan con cauces encajados, si bien otras convergen en una especie de cuenca cerrada, originando a veces hoyos o simas, origen de barrancos<sup>25</sup>. En ambos casos demuestran la debilidad de las pendientes y pueden ilustrar sobre allanamientos pretéritos, insistiendo en la teoría expuesta de procesos similares a los actuales. Finalmente cabe citar unas pequeñas cuencas de recepción instaladas en las laderas (sobre todo las de los «páramos») como cabeceras de cauces cortos a modo de torrentes.

2. *El «karst» mecánico.*—Es un relieve muy similar al estudiado en otras zonas con litología y clima parecidos, si bien aquí tiene menos importancia en tamaño e intensidad; no obstante, desempeñan un considerable papel al producir *badlands* y cauces con fondo de saco remontantes en los glacis y acelerando el proceso erosivo. El origen, la evolución y los resultados morfológicos son los mismos que en aquellas áreas mencionadas (vid. nota 24).

3. *Diapiros y divisorias.*—A los primeros ya nos hemos referido en varias ocasiones, sobre todo en lo que respecta a las consecuencias morfológicas; pero no estará de más hacer algunas precisiones del de Jaraguas (el de Caballero es de tipo «normal»). Se trata de un afloramiento aproximadamente circular, con 1 Km de diámetro, que ha elevado calizas de facies «páramo», es decir, el nivel de colmatación, constituyendo una cuenca cerrada con una sola salida, vaciada después y allanada con pendiente de glacis desde los bordes al centro, donde hay unas rudimentarias salinas en explotación (lám. I, 3).

La importancia geomorfológica de esta descripción es la siguiente: se confirma una vez más que la cuenca se ha vaciado tras la colmatación en un proceso de aplanamiento, aparte de que esas calizas lacustres y la presencia de toba observada al suroeste del diapiro indican un ambiente de sedimentación bien claro, que supone una zona deprimida. En cambio, ahora marca la divisoria de la cuenca, lo que ratifica la elevación postpliocena de la misma, individualizando otro sistema al N. Esto hace que las separaciones entre la cuenca de Caballero y otras limítrofes sean débiles y de frecuentes capturas recientes. El mismo trazado de la divisoria, con algunos entrantes acusados, lo confirma.

4. *Superficies correspondientes a distintas fases erosivas.*—Hemos aludido más de una vez al carácter de denudación que tiene la cuenca, y en la figura 4 se han cartografiado las diferentes topografías, allanadas o no, a base de las fotos aéreas que cubren la zona. Como ejemplo de una cuantificación aproximada de las alturas relativas de tales superficies se ha escogido el área incluida en la figura 18 y lámina I, 1, utilizando en el cálculo la barra de paralaje, más propiamente denominada tornillo estereomicrómetro<sup>26</sup>. En relación con los distin-

<sup>25</sup> Al sur de Campo Arcís hay unas simas, probablemente relacionadas con disolución de yesos infrayacentes. Una de ellas tiene un diámetro de 12 m y una profundidad actual de 3, correspondiendo a la era de trillar de la casa de campo denominada precisamente de la Sima. Cerca hay otra mayor, formando una pequeña cuenca endorreica (vid. lám. II, un poco más al norte del punto 4).

<sup>26</sup> Según técnicas adquiridas en un cursillo de fotogrametría realizado en la Facultad de Ciencias de la Universidad Complutense de Madrid en el año 1972. El croquis general

tos escalones topográficos conviene insistir en los diferentes valores de frecuencias y encajamiento de cauces, que en panorámica general pueden asignarse a la neotectónica (subsistencia, fallas, diapirismo subyacente...), pero que, cuando se yuxtaponen en espacios reducidos, obedecerán a otras causas, como erosión regresiva, litología y en muchas ocasiones a algo que consideramos fundamental: los efectos de la ablación de etapas anteriores, esto es, pendientes, anchura de lechos, proximidad y características de laderas e interfluvios... todo ello combinado con el roquedo.

#### ESTUDIO MORFOMÉTRICO

La meta del análisis morfométrico consiste en intentar explicar el relieve por medio de parámetros fluviales o de drenaje, apoyándose en la íntima relación que existe entre aquél y éstos. Tales estudios tuvieron sus comienzos hacia 1945, por obra de Robert E. HORTON, que estableció ciertas leyes acerca del desarrollo de los ríos y sus cuencas. Después A. N. STRAHLER ha contribuido notablemente al tema y las publicaciones de numerosos autores confirman cada vez más la importancia del mismo.

Una cuestión previa a señalar es la determinación de la escala, de cuya magnitud dependen muchos de los valores utilizados, en especial los referentes a jerarquías y longitudes. A través de la bibliografía manejada se observa distintos grados de aproximación con frecuencia de escalas comprendidas entre 1:30.000 y 1:40.000 de fotografías aéreas. Estas han sido la base de nuestro trabajo, pues la cartografía 1:50.000 ofrece resultados algo distintos para la misma cuenca.

CUADRO I

*Comparación del número de cauces, según distintas fuentes*

Orden de los segmentos	Topográfico 1:50.000 I. G. C. 1951	Geológico 1:50.000 Base I. G. C. 1973	Foto aérea 1:31.000
1 . . . . .	151	101	611
2 . . . . .	38	23	137
3 . . . . .	10	7	26
4 . . . . .	4	3	8
5 . . . . .	2	1	3
6 . . . . .	1	—	1
<i>Total . . .</i>	206	135	786

incluye las dos superficies más altas en un solo signo, y los pequeños retazos de la terraza + 3 m se ha unido a la topografía V. Todo ello por necesidades cartográficas y teniendo en cuenta la reducción posterior del original. Sobre aplicación de la barra de paralaje en la medida de terrazas puede verse también BERNABÉ MAESTRE, J. M., «Red fluvial y niveles de terrazas en la depresión Cocentaina-Muro (Valls d'Alcoi)», *Cuadernos de Geografía*, núm. 16, pp. 23-39, Valencia, 1975.

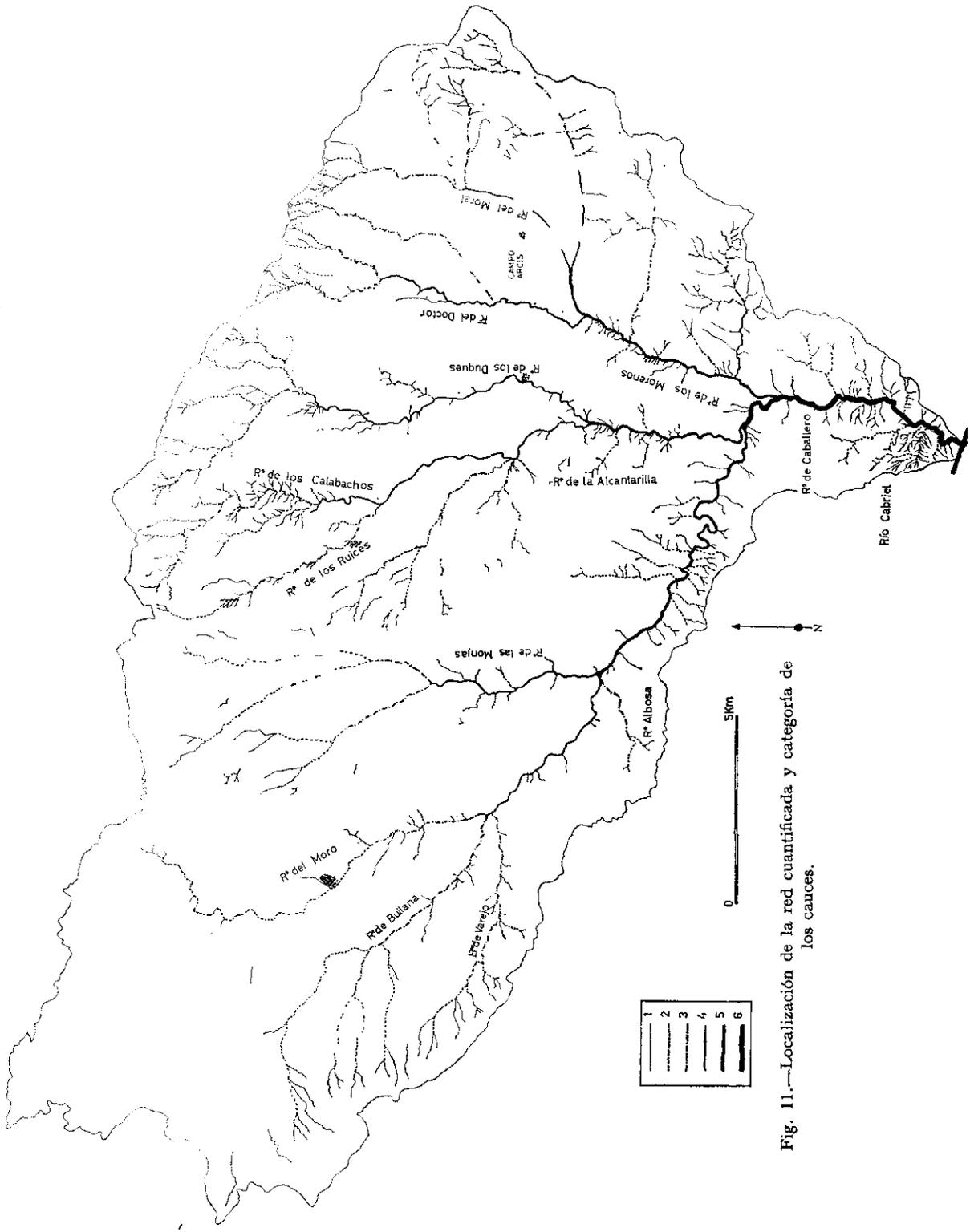


Fig. 11.—Localización de la red cuantificada y categoría de los cauces.

Sin embargo, aunque el grado de matización varía apreciablemente con la escala y los criterios de los cartógrafos, tampoco queda todo resuelto con los fotogramas que hemos utilizado, porque los cauces de cabecera difícilmente podrían trasladarse a gráficos a partir de una determinada longitud, que en este caso hemos establecido en los 100 m (3 mm en la foto). Cartografiada así toda la cuenca, se realizaron las medidas, aumentando el croquis diez veces con el fin de una mejor apreciación de dimensiones, sinuosidades y divisorias.

### *Análisis de formas*

1. *Distribución de cuencas.*—Se ha dividido la zona en 28 cuencas, según el orden del cauce principal a partir del 3.º, agrupadas en tres áreas (A, B y C de la fig. 12-a), correspondientes en cada caso a una cuenca completa de 5.º orden<sup>27</sup>. Al tratarse de un relleno en proceso de vaciado, existe una relación directa entre la antigüedad estratigráfica y la categoría de drenaje. Las diferencias litológicas, por su parte, establecen divisorias, especialmente las fronteras septentrionales de 5.ª categoría, coincidentes con el límite de las calizas tabulares.

Más interesante puede ser la comparación con las áreas morfológicas (fig. 5), pues se manifiesta una clara tendencia a la localización de cada orden en un modelado distinto, además de que éste contribuye también al establecimiento de divisorias. El rango 5.º está incluido en las calizas mencionadas, el 3.º y 4.º de las áreas B y C, en *badlands* y glaciais, mientras que esas dos últimas categorías drenan en A cañadas y calizas con laderas, respectivamente. Esto significa que, a igual categoría de cuenca, las de la zona occidental atraviesan materiales de mayor resistencia y relieves más evolucionados.

Otras variaciones se patentizan aun entre las áreas A y C: en la primera, cada dos cuencas de un orden forman otra de orden inmediato superior; en la segunda, por el contrario, existen cuencas «sobrantes», comenzando por la misma área en conjunto (orden 5.º que no afecta al 6.º, ya constituido antes de su desembocadura). Incluso podría hablarse de «irregularidad» en la distribución de las pequeñas cuencas 26, 27 y 28<sup>28</sup>, aparte de la reducida extensión del rango 3.º en relación a los del área A. Así pues, todo parece apuntar juventud y falta de acoplamiento en C, lo que viene a ratificar la hipótesis mencionada más atrás. Esto es que la cuenca A, concretamente la rama A<sub>1</sub>, consecuente a la estructura sinclinal, es la más antigua y el centro-este sería una cubeta endorreica, captada posteriormente a través del portillo abierto por un diapiro en las calizas lacustres.

2. *Índice de forma (K).*—Relaciona perímetro y área, siendo la unidad el

<sup>27</sup> Seguimos a STRAHLER en la clasificación de la jerarquía de cuencas y órdenes de cauces. Vid., por ejemplo, *Geografía Física*, Barcelona, Omega, 1974, 767 pp. más 5 láms.

<sup>28</sup> Obsérvese que en toda la zona el aumento de orden se verifica aguas abajo, salvo este pequeño enclave.

valor mínimo posible, indicador de circularidad<sup>29</sup>. Aunque no parece existir una clara dependencia del roquedo (la zona arcillosa del grupo 14<sup>30</sup> presenta indistintamente los cuatro tipos de formas clasificados), en las calizas de «páramos» (grupo 8) hay un predominio de cuencas poligonales, así como en el área A (arcillas y conglomerados). Quizás pueda correlacionarse la tendencia a la circularidad con la blandura del terreno (fig. 12-b), mientras que el drenaje en rocas más resistentes y alineaciones estructurales compone un perímetro de mayor angulosidad. También se constata cierta concordancia con la topografía y el modelado: los *badlands*, por su carácter ramificado, tienen cuencas próximas al círculo, y, en cambio, los glacis, cruzados por largos segmentos de pocos tributarios, constituyen perímetros más alargados.

La forma se relaciona directa e intensamente con el tamaño, resultando un índice de 0'60 (véase cuadro II), esto es, aumento de la angulosidad con la superficie. Por otro lado, el área más antigua (A) es fuertemente poligonal, y si a ello añadimos un predominio de circularidad en los cursos altos, puede concluirse correlación directa, aunque no cuantificable, entre edad y forma, lo que reafirma otra hipótesis anterior: el progreso de las cabeceras por erosión en *badlands* y capturas recientes.

CUADRO II

Matriz de correlación entre las variables<sup>31</sup>

	K	Re	Rb	Lm	Ev	S	Dh	Rr	Dd	Hd
K	1'00									
Re	0'66	1'00								
Rb	0'16	0'09	1'00							
Lm	0'17	0'02	-0'50	1'00						
Ev	0'27	0'16	0'24	0'07	1'00					
S	0'60	0'42	0'25	0'11	0'40	1'00				
Dh	0'01	0'09	0'48	-0'94	-0'03	-0'26	1'00			
Rr	-0'29	-0'23	-0'18	-0'16	0'04	-0'55	0'26	1'00		
Dd	-0'34	-0'16	0'21	-0'51	0'03	-0'65	0'64	0'57	1'00	
Hd	0'09	0'09	0'43	-0'35	0'38	-0'04	0'44	0'46	0'62	1'00

<sup>29</sup>  $K = \text{Perímetro} / 2\sqrt{\pi \text{ área}}$ . CHRISTOFOLETTI, A., «Análise morfométrica das bacias hidrográficas», *Bol Geogr. Brasil*, 1971, pp. 131-159.

<sup>30</sup> Siempre que mencionemos grupos litológicos nos referimos a la clasificación hecha antes.

<sup>31</sup> Coeficiente de correlación  $(RXY) = \Sigma xy / N Sx Sy$ , donde  $x =$  a la desviación de cada factor de la serie  $X$  (igual a su vez a  $X_1, X_2, \dots$  menos  $\bar{x}$ , media de la serie). Lo mismo para  $y$ , correspondiente a la otra serie ( $Y$ ) que se correlaciona con la  $X$ .  $N =$  número de variables de  $X$  e  $Y$ ,  $Sx =$  desviación *standard* de  $x$ ,  $Sy =$  desviación *standard* de  $y$ .

Como  $Dh =$  área cuenca/número total de cauces, hay más densidad hidrográfica cuanto menor sea el índice. Para poder comparar mejor hemos cambiado de signo al coeficiente de correlación y lo mismo se ha hecho con  $Re$  (razón de elongación), ya que el máximo de alargamiento tiende a cero.

3. *Relación de elongación (Re)*.—Aunque fuertemente ligado al anterior (índice de correlación 0'66), no es exactamente igual, porque la forma atiende al perímetro y la elongación al eje mayor de la cuenca <sup>32</sup>. En el área estudiada aparecen valores elevados que llegan hasta 0'45, cuando SCHUM (primer definidor de este coeficiente) suponía como más probable el intervalo 1'0-0'6 <sup>33</sup>. Mucho de lo dicho a propósito de las relaciones entre la forma y los factores geológicos, morfológicos y de edad puede aplicarse a la elongación, si bien con una menor dependencia del roquedo en este caso <sup>34</sup>. Más claras resultan las diferencias entre las zonas A y C con la B como transición, presentándose además las tres áreas citadas muy uniformes entre sí (fig. 12-c) <sup>35</sup>.

#### *Aspectos lineales*

1. *Orden y frecuencia de los cauces*.—Para determinar la jerarquía de segmentos se ha seguido el método de STRAHLER, el más aceptado por los estudiosos del tema <sup>36</sup>. La relación entre el número y el orden de los segmentos es inversa, tal y como definiera HORTON, si bien la línea no es totalmente recta, pues existe una desviación positiva de las categorías 1.<sup>a</sup> y 2.<sup>a</sup>, quizás por el carácter detrítico de la cuenca y la presencia de *badlands* en cabecera (fig. 16-a).

2. *Razón de bifurcación (Rb)*.—Es el cociente entre la frecuencia de canales de un orden y el inmediato superior <sup>37</sup>, siendo probablemente el índice de mayor aplicación a efectos humanos y económicos por condicionar las descargas de crecidas. Al seguir el método de STRAHLER en la jerarquización de cauces, el valor Rb será siempre superior a 2 y oscila, por lo general, entre 3 y 5 <sup>38</sup>. La media de la zona es de 3'75, aunque con fuertes variaciones en las distintas cuencas (de 2 a 9'72, sin contar la 21, glacis que sólo tiene un cauce cuantificado y, por ello, ninguna bifurcación). Existe además una tendencia a aumen-

<sup>32</sup>  $Re = \text{diámetro del círculo de igual área que la cuenca} / \text{diámetro mayor de la cuenca considerada}$ . CHRISTOFOLETTI, «Análise...», *op. cit.*

<sup>33</sup> Citado por STRAHLER, «Quantitative Geomorphology», apud *The Encyclopedia of Geomorphology*, de FAIRBRIDGE, New York, 1968, pp. 898-912.

<sup>34</sup> GHOSE, B.; PANDEY, S.; SINGH, S.; LAL, G., «Quantitative Geomorphology of the drainage basins in the Central Luni Basin in Western Rajasthan», *Z. Geomorph.*, N. F. Bd. 11, 1967, pp. 146-160. Establecen una relación directa entre dureza del roquedo y elongación desde granito a aluviones. En nuestro caso, las diferencias litológicas no son tan contrastadas como para marcar una tendencia acusada.

<sup>35</sup> El índice de circularidad es igual que el de elongación, variando sólo en el proceso de obtención, por lo que no lo hemos utilizado (el coeficiente de correlación entre ambos para toda la cuenca es de 0'91).

<sup>36</sup> STRAHLER, 1974, *op. cit.* Muchos son los autores que utilizan este criterio, entre ellos: CHORLEY, R. J., «The drainage basin as the fundamental Geomorphic unit», apud *Introduction to Physical Hydrology*, de RICHARD y CHORLEY, London, Methuen, 1971, páginas 37-59.

<sup>37</sup> GHOSE *et al.*, *op. cit.*

<sup>38</sup> MEKEL, J. F. M., *El empleo de la fotografía aérea en el levantamiento geológico*, Delft, Inst. for Aerial Survey, 1970, 169 pp. El índice Rb que correlacionamos aquí es el valor medio de los coeficientes de cada orden de cauces.

tar el índice  $Rb$  inversamente al orden de los cauces, como sucede en otros lugares<sup>39</sup>.

GHOSE (1967) y FRANÇA (1968) han establecido la relación bifurcación-roquedo en función inversa al grado de permeabilidad y, por el contrario, SHREVE (1966) cree que esta variable es bastante independiente de factores geomórficos e hídricos<sup>40</sup>, cosa ésta que no puede afirmarse en nuestro caso. Así, las calizas del grupo 8.º tienen un elevado  $Rb$ , pero no sólo por sus características litológicas, sino también debido a la presencia de laderas escarpadas, circunstancia destacada por STRAHLER<sup>41</sup>. Es por ello que las arcillas «facies de Requena» sustentan distintos valores de ramificación, pero más altos en las cabeceras de *badlands* que en los glacis, algunos bordeados en parte de calizas preorogénicas alimentadoras de detritos más gruesos (cuencas 4, 5, 18 y 21)<sup>42</sup>. En el área occidental de la zona parece existir una anomalía, porque, siendo arcillas y conglomerados, poseen altos coeficientes de bifurcación (cuencas 1 y 2). La explicación parece estar en la presencia de cañadas ramificadas, fósiles unas veces, pero caminos fáciles para la erosión actual en otras.

CUADRO III

Razón de bifurcación por categorías de segmentos en las cuencas de mayor elongación

$Rb$ entre órdenes	Cuencas							Total Cuenca de Caballero
	8	13	3	10	1	2	Media	
1/2 . . . . .	2'50	8'00	4'57	4'70	6'25	5'67	5'28	4'46
2/3 . . . . .	2'00	4'00	3'50	3'33	4'00	3'00	3'31	5'27
3/4 . . . . .		4'00	2'00	3'00			3'00	3'25
Media . . . . .	2'25	6'00	3'36	3'68	5'12	4'33	4'12	4'33

Parece lógica una relación directa entre la irregularidad del perímetro y la bifurcación (coeficiente  $Rb \cdot K = 0'16$ ), y, por el contrario, el índice de correlación para  $Rb$  y  $Re$  es sólo de 0'09, es decir, ninguna dependencia prácticamente, cuando STRAHLER y CHORLEY piensan que la hay<sup>43</sup>. Evidentemente las posibilidades de confluencias deben aumentar con la elongación de la cuenca y, si

<sup>39</sup> El  $Rb$  entre los distintos órdenes para toda la cuenca son: 1.º-2.º = 4'46, 2.º-3.º = 5'27, 3.º-4.º = 3'25, 4.º-5.º = 2'67, 5.º-6.º = 3'00 (media = 3'73). Existen dos «anomalías»: una, la disminución en el grupo 1.º-2.º, lógica, porque no se han tomado todos los segmentos primeros, sino sólo a partir de 100 m. La segunda, más difícil de explicar, afecta al  $Rb$  4.º-5.º. Algo similar a este último caso ocurre en una cuenca castellonense. Vid. MATEU BELLÉS, J., «La Rambla de la Viuda. Clima e hidrología», *Cuadernos de Geografía*, núm. 15, Valencia, 1974, pp. 47-68.

<sup>40</sup> FRANÇA y SHREVE, mencionados por CHRISTOFOLETTI, «Análise...», *op. cit.* Los valores averiguados por GHOSE *et al.*, *op. cit.*, son: granito, 3'2-4'8; riolita, 2'4-3'0; aluviones, arenas y otros, 1'25.

<sup>41</sup> STRAHLER, «Quantitative...», *op. cit.*

<sup>42</sup> Las cuencas 10 y 13, sobre todo esta última, tienen valores más altos que otros glacis, porque las cabeceras están formadas de *badlands* y cañadas.

<sup>43</sup> STRAHLER, «Quantitative...», y CHORLEY, «The drainage...».

en nuestro caso el coeficiente no es más alto, se debe a un predominio de desembocaduras de segmentos de primer orden y en menor magnitud de los siguientes, hecho que repercute en la *Rb* media de cada cuenca.

3. *Longitud media de los cauces (Lm)*.—El recorrido total de los segmentos considerados en la zona supera los 465 Km, con una media de 592 m y variaciones entre cuencas de 3.910 a 316 m. Al relacionar las longitudes acumulativas con cada orden de los cauces (fig. 16-b), resulta una desviación de la recta propuesta en el modelo de HORTON, porque se reducen las longitudes de las dos primeras categorías. Tal «anormalidad» se ha encontrado en otros lugares<sup>44</sup>, y si en el caso estudiado los cauces de cabecera son más pequeños de «lo debido» puede ser por la abundancia de *badlands* y barranquillos que atacan a los glaciares modelados en materiales blandos. En cuanto a la razón de longitud media, triplicada en cada orden según STRAHLER (1974), aparece en progresión logarítmica lineal con sólo una pequeña desviación negativa, apenas perceptible, en el índice  $5.^\circ/4.^\circ$ <sup>45</sup>.

Algunos autores, como STRAHLER y FRANÇA, observaron la relación *Lm-ro* queda, e incluso GHOSE<sup>46</sup> determinó que este parámetro aumentaba con la dureza de la roca, al menos en los tipos que él analizó (granito, riolita y aluviones), comprensible, porque la incisión de pequeños cauces se ve favorecida por determinados materiales. Sin embargo, las características litológicas no lo explican todo, sino que es necesario atender a topografía y formas.

En la figura 13-a puede observarse que la cuenca 15, arcillas del Keuper en su mayoría, ostenta poca longitud media, pero también está en el mismo caso la 14, donde coinciden esos terrenos y laderas calizas escarpadas. Las calizas tabulares tienen más longitud media y, además, valores muy uniformes en toda el área litológica, lo que evidencia la correlación. La misma homogeneidad se marca en la parte occidental arcillo-conglomerática de *Lm* muy alto, debido más a la existencia de cañadas que al roquedo. Otro tanto puede decirse de la zona «arcillas de Requena», con distintos índices, según se trate de *badlands* o glaciares<sup>47</sup>.

Agrupando las 28 cuencas en tres, como hemos hecho para otras variables (fig. 12-a), se aprecian dos tipos diferentes en lo que al factor *Lm* se refiere. La zona A tiene tres áreas bien diferenciadas, con disminución de longitudes medias hacia los cursos bajos, y, en cambio, las cuencas B y C poseen *Lm* reducidos en cabecera (*badlands*) y elevados en el curso medio (glaciares). Estas distintas estructuras y la uniformidad dentro de cada orden en A, contrastando con las otras dos, quizás tenga relación con las diferentes edades de ambas cuencas.

<sup>44</sup> GHOSE *et al.*, *op. cit.*

<sup>45</sup> Longitudes medias acumulativas en cada orden (Km) y razón de *Lm*:

1.º		2.º		3.º		4.º		5.º		6.º	
0'308	4'3	1'25	3'1	4'118	2'3	9'707	1'7	17'041	1'4	24'28	

<sup>46</sup> Publicaciones citadas.

<sup>47</sup> De nuevo la cuenca 13 destaca en las medias. Vid. nota 42.

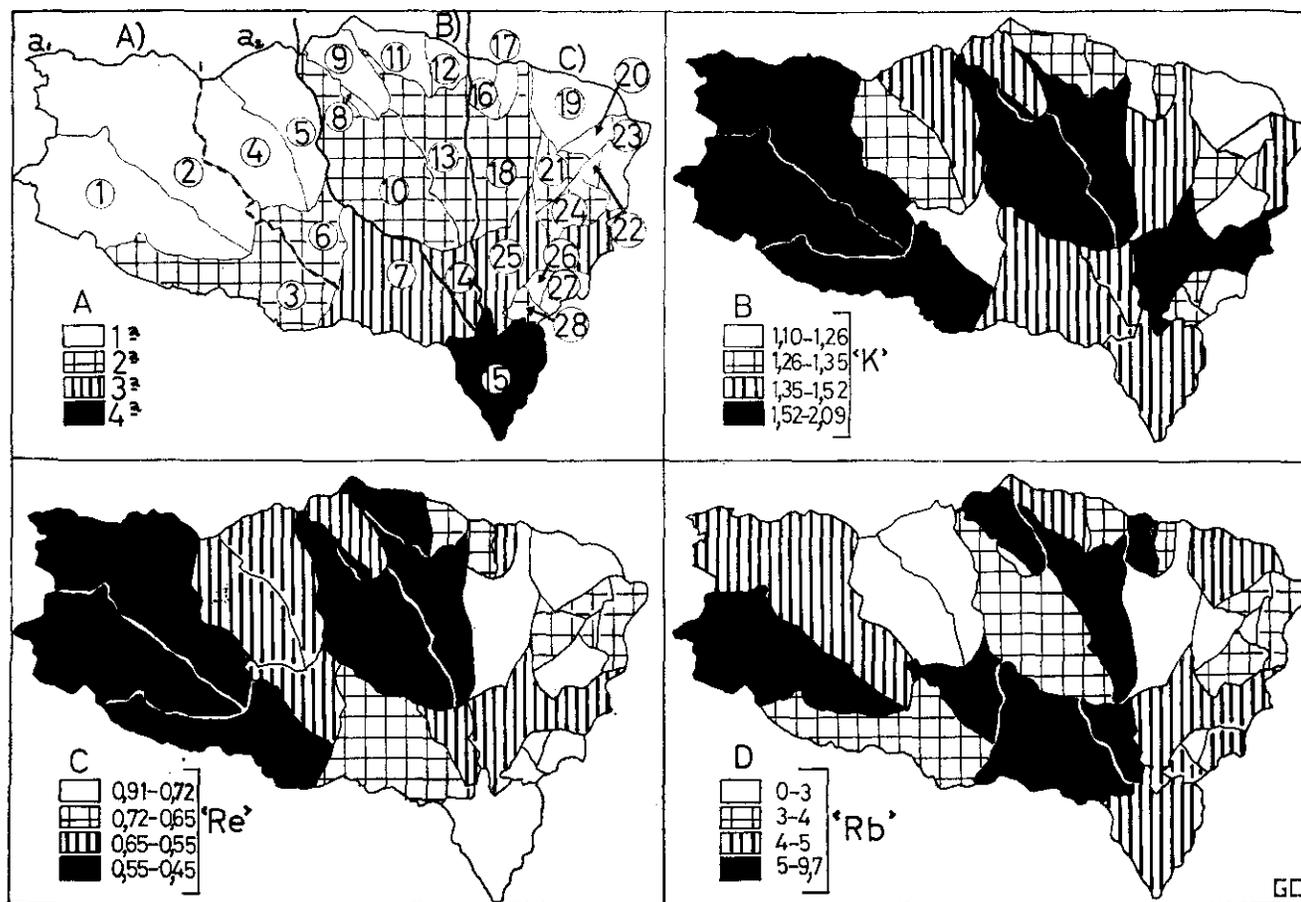


Fig. 12.—Distribución de cuencas, variables de forma y  $Rb$ : A. Distribución de cuencas por categorías, numeración de cada una de ellas y subdivisión en grupos: A ( $a_1$  y  $a_2$ ), B y C.—B. Índice de forma.—C. Relación de elongación.—D. Razón de bifurcación.

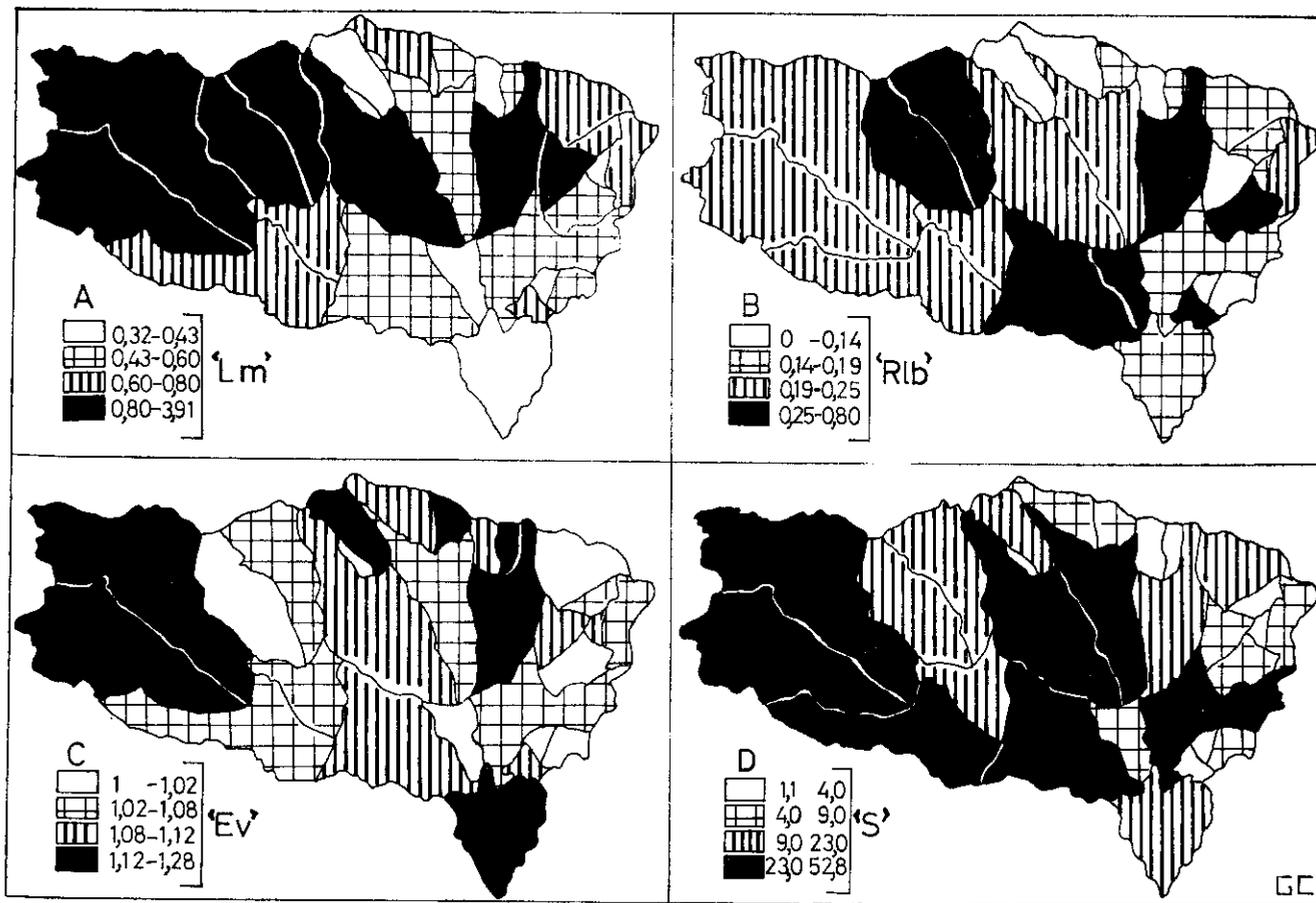


Fig. 13.—Parámetros lineales y tamaño de las cuencas: A. Longitud media de los cauces (Km).—B.  $Lm/Rb$ .—C. Equivalente vectorial.—D. Tamaño de las cuencas ( $Km^2$ ).

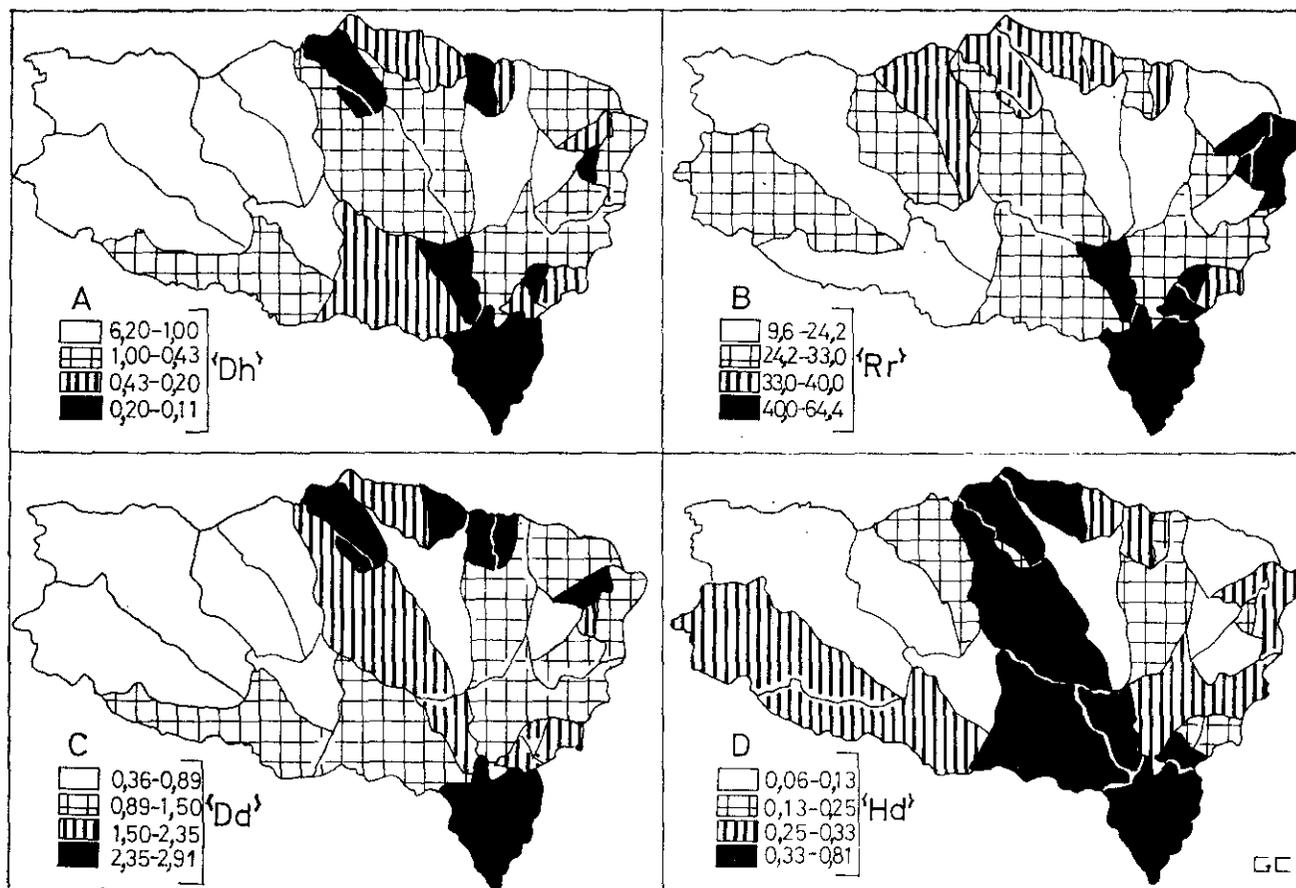


Fig. 14.—Factores de relieve: A. Densidad hidrográfica (los índices corresponden a la fórmula área cuenca/número total de cauces, pero la gradación de tramas se ha hecho según la modificación expresada en el texto).—B. Razón de relieve.—C. Densidad de drenaje.—D. Índice de rugosidad.

La forma irregular del perímetro favorece la longitud, o al revés, y así la correlación  $Lm-K$  es positiva, aunque no muy acentuada (0'17). Más alto es el coeficiente con la bifurcación (-0'50), pero también menos significativo por lógico: cuanto más ramificación de los cauces, menos longitud media. Asimismo es normal que la variable  $Lm$  se relacione positivamente con la superficie (0'11), ya que las cuencas mayores indican superior importancia de los cauces y una red desarrollada<sup>48</sup>. El índice  $Lm/Rb$  ( $Rlb$ ), aunque no añade mucho a lo que indican ambos factores por separado, fue utilizado por HORTON y otros autores. En la figura 13-b se observa que la longitud predomina sobre la bifurcación en glaciares, cañadas y calizas subhorizontales.

4. *Equivalente vectorial (Ev)*.—Es el cociente entre la longitud real de un cauce y la medida en línea recta desde el nacimiento a la desembocadura del mismo<sup>49</sup>, por lo que se trata de valorar la sinuosidad de los segmentos. Una aplicación importante de este índice es su relación con la litología, especialmente por lo que implica de control estructural, que se asocia a cauces rectilíneos y, por lo tanto, equivalentes vectoriales bajos. A primera vista, la figura 13-c no es precisamente un calco del mapa geológico, pero, si se combina el roquedo con el relieve, los resultados son más significativos.

La zona occidental de arcillas y conglomerados presenta una gran uniformidad, con altos índices de  $Ev$ ; es también, como sabemos, el área de cañadas, resultando, pues, interrelacionable ambos elementos: en los fondos planos de los valles los cauces actuales hacen curvas favorecidas por los materiales blandos, pero también por la topografía. Al contrario, la parte arcillosa del grupo 14 (facies de Requena) es menos uniforme, aunque, por lo general, de  $Ev$  acusados, tal y como corresponde a esta litología. No obstante, conviene matizar: las cabeceras de *badlands* tienen valores más elevados porque, como veremos después, los segmentos de primer orden son bastante rectos, pero los siguientes dibujan frecuentes curvas, hecho que puede extenderse a la cuenca 15 del Keuper. Los glaciares modelados en el mismo grupo 14 ostentan menores  $Ev$ , cosa normal, porque los cauces pequeños meandrizan poco, mientras los mayores discurren encajados y rectilíneos cuando la pendiente es suficiente; así, la cuenca 18 (glaciares sin apenas declive) tiene mayor sinuosidad. Finalmente las calizas de «páramos» poseen  $Ev$  bajos en general, o sea, más control estructural, como era de esperar.

El índice de correlación entre el equivalente vectorial y la forma es positivo (0'27) o, lo que es igual, relación directa entre sinuosidad del perímetro y de los cauces, probablemente, no porque ambas variables sean interdependientes, sino más bien por obedecer las dos a similares circunstancias de litología y relieve. El coeficiente  $Ev-Re$  (0'16) indica que la sinuosidad aumenta con el alargamiento de la cuenca, ambos hechos relacionados con el roquedo y el

<sup>48</sup> TANDON, D., «Litho-control of some geomorphic properties: an illustration from the Kumaun Himalaya, India», *Z. Geomorph.*, dez. 1974, pp. 460-471.

<sup>49</sup> CRISTOFOLETTI, «Análise...», *op. cit.*

modelado, pues las dos variables alcanzan altos valores en detritos finos, pero sólo cuando la pendiente es capaz de facilitar la escorrentía.

La sinuosidad y la bifurcación de los cauces se relacionan con más fuerza (0'24), pero ¿cuál de ellas depende de la otra? Parece aceptable que las confluencias favorezcan las curvas según qué pendientes, pero no se aprecia la relación contraria, si bien la sinuosidad puede ocasionar un cambio local en el declive con avances y ramificaciones de las cabeceras. De cualquier forma, ambos parámetros dependen en parte de unas determinadas condiciones litológicas y topográficas.

Que la correlación equivalente vectorial —tamaño de la cuenca— sea positiva y algo elevada (0'40) era presumible, puesto que la amplitud se ve favorecida por los mismos factores que repercuten en una mayor sinuosidad de los cauces. La comparación con la longitud media de los segmentos da un coeficiente de 0'07, prácticamente ninguna relación, pero, si se desglosa el *Ev* medio de cada cuenca en los distintos órdenes de segmentos, es más significativo.

La figura 15 representa los *Ev* compuestos, esto es los valores medios en cada orden de segmentos dentro de las diferentes cuencas, de donde pueden extraerse ciertas consideraciones, aunque existen algunos obstáculos, como la escasez de cuencas con modelado uniforme, abundando, por el contrario, la combinación de varios, especialmente con los glaciais. De todas formas, a escala general, se nota un predominio del tipo II (aumento de la sinuosidad con la categoría de los cauces) localizado sobre todo en laderas de calizas tabulares y cuencas con parte de glaciais. En ambos casos los segmentos drenan pendientes cada vez menores al aumentar la longitud, con lo que la meandrización es mayor en glaciais y partes bajas de las laderas, no obstante haber algunas «anormalidades», principalmente en los órdenes 3.º y 4.º, visibles también en el Keuper<sup>50</sup>.

El tipo IV, segundo en frecuencia, corresponde a las cañadas, y consiste en un primer orden recto (cosa «normal» para cualquier modelo, ya que son los cauces de cabecera y más cortos), un segundo sinuoso y el tercero de *Ev* bajo. La explicación de la categoría dos vendría dada por su instalación en los fondos planos de los valles, lo que facilita las ondulaciones, pero también parte del tercer orden posee igual localización, siendo más difícil su justificación. El modelo que comentamos predomina en *badlands* y laderas de calizas (las partes más pendientes en este último caso), aunque el *Ev* de la segunda categoría es mucho menor que el de las cañadas. El tipo I se asocia a cuencas con predominio de calizas plegadas, de tal modo que el carácter rectilíneo de todos los órdenes es perfectamente lógico, tanto por la pendiente como por la litología. En los demás hay cierta dispersión y sólo con el estudio de un mayor número de cuencas podría intentarse una aproximación al establecimiento de tipologías.

<sup>50</sup> CHRISTOFOLETTI, «A relação do equivalente vectorial aplicada ao planalto de Poço de Caldas», *Not. Geomorf.*, dez. 1971, pp. 9-19. Encuentra la misma excepción entre el 3.º y 4.º orden en cuencas completas.

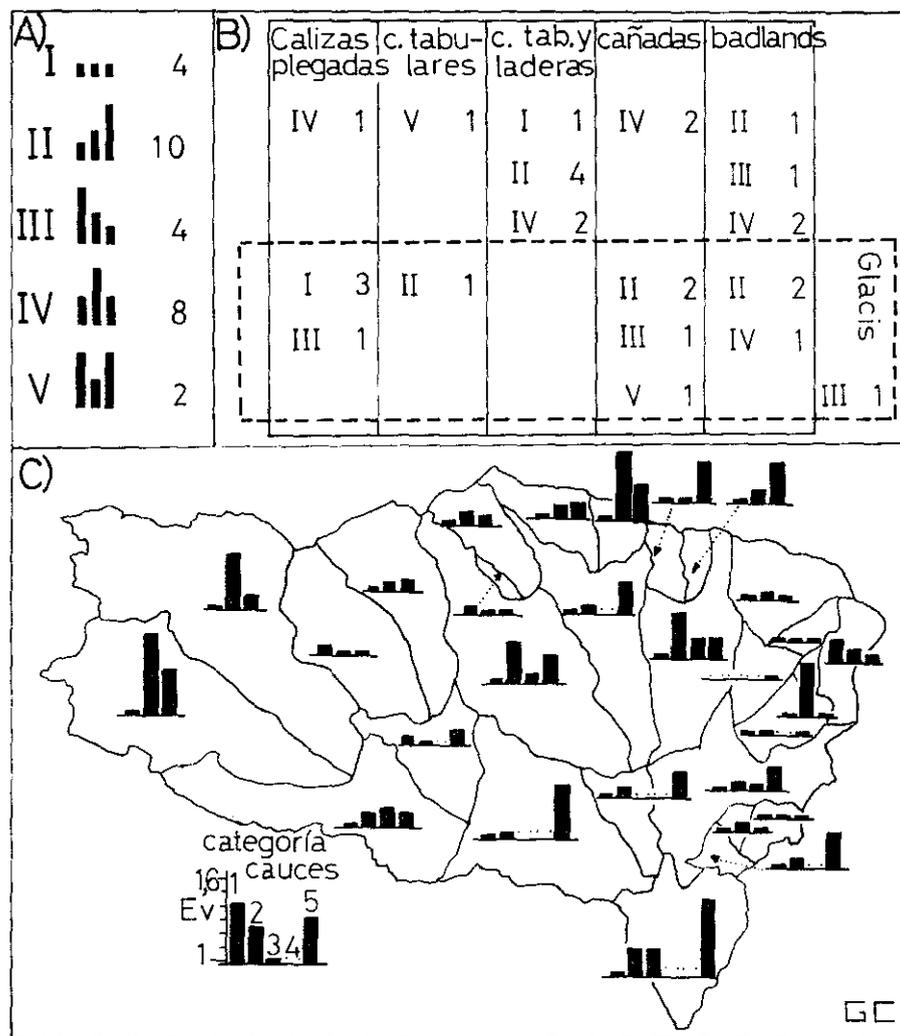


Fig. 15.—Equivalente vectorial compuesto: C. Distribución por cuencas.—A. Tipología simplificada y frecuencia.—B. Distribución de modelos según distintos relieves.

*Estudio de superficies*

1. *Tamaño de las cuencas (S).*—La de Caballero tiene una superficie de 408'1 Km<sup>2</sup>, oscilando las dimensiones de las 28 «subcuencas» que la integran entre 1'09 y 52'82 Km<sup>2</sup>, por lo que, a la hora del comentario, hay que tener presente la categoría de cada una (3.º, 4.º ó 5.º orden mientras el conjunto es de rango 6.º). Comparando las figuras 12-a y 13-d se reafirma algo señalado ya en otros factores: la diferencia entre las áreas A, B y C (orden 5.º todas ellas y, por lo tanto, comparables), reveladora del distinto grado evolutivo.

Las cuencas de tercera categoría disminuyen progresivamente en tamaño de W a E; las de cuarta tienen mayores dimensiones en la red B, a la vez que el grupo C es bastante heterogéneo. Parece lógico admitir entonces que, en igualdad de condiciones litológicas, topográficas y morfológicas, las superficies superiores, dentro de un mismo orden, indiquen mayor proceso de evolución. Si esto es así, la cuenca A se confirma como más antigua, incluso con una matización: la A<sub>1</sub> sería la rama principal y primera, hecho que concuerda con otros datos morfológicos y morfométricos y obedece, sobre todo, a la estructura sinclinal.

Asimismo pueden rastrearse relaciones entre este parámetro y las condiciones de roquedo y modelado. GHOSH (1967) establece medias de superficies en los tres tipos de materiales que él analizó, con el resultado de un menor tamaño en las rocas más blandas. Si esto se hace teniendo en cuenta la categoría de cada cuenca, es normal, porque, cuantas más posibilidades espaciales haya de excavar cauces, antes se alcanza un orden determinado. Por eso las calizas lacustres han «necesitado» más extensión para llegar a la 5.ª categoría en la cuenca 7 que en las laderas con parte arcillosa de Keuper en la numerada con el 14.

Pero una vez más no basta con la litología, sino que en los mismos materiales las formas introducen cambios. Aquí las cuencas mayores se instalan en cañadas, glacis y calizas subhorizontales; por el contrario, las más pequeñas,

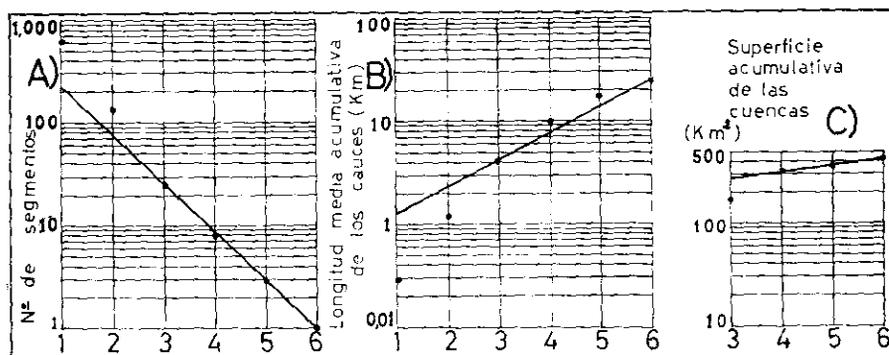


Fig. 16.—Relación entre los órdenes de segmentos (ejes de abscisas) y el número de los mismos (A), la longitud media (B) y el tamaño de las cuencas (C).

en laderas y calizas cretácicas sobresalientes del relleno. Todo ello es perfectamente normal y no precisa otros comentarios. Por lo que respecta a la ley de las áreas definida por HORTON<sup>51</sup>, no parece cumplirse en la zona estudiada (fig. 16-c).

2. *Densidad hidrográfica (Dh)*.—La fórmula es muy sencilla ( $Dh = \text{área de la cuenca} / \text{número total de cauces}$ ); lo discutible se refiere a la contabilidad de segmentos, porque generalmente lo que se hace es sumar los distintos órdenes, con lo cual un mismo canal queda descompuesto en varios cauces. No deja de ser un criterio aceptable y, sobre todo, aceptado, así que, para poder establecer comparaciones con otros estudios, lo hemos adoptado<sup>52</sup>.

De nuevo la relación se establece mejor con el roquedo combinado al modelado que sólo con aquél. La figura 14-a, así lo expresa: máximo de densidad en *badlands* arcillosos de cabecera en las cuencas B y C, al igual que el Keuper. Mínimo en cañadas y glaciés, de los que sobresalen algunos enclaves de valores mayores, correspondientes al Cretácico. Por su parte, las calizas del grupo 8 destacan también con densidad alta, especialmente en las roturas de pendiente y afloramientos diapíricos, resaltando una vez más la «anormalidad» de que aumente la densidad aguas abajo. El índice de correlación  $Dh-K$  es poco significativo (0'01), así como el  $Dh-Re$  (0'09). Es obvio que la relación con la longitud media ha de ser inversa y fuerte (-0'94), lo mismo que con  $Rb$  (0'48), aunque aquí, claro, en función directa.

3. *Otros parámetros*.—El coeficiente de manutención indica el área mínima necesaria para proveer un metro de escorrentía, resultando un valor de 880 m<sup>2</sup> en toda la cuenca (máximo de 2.817 y mínimo de 343). La extensión de curso superficial se obtiene por una fórmula similar a la anterior y señala la longitud del camino recorrido por las aguas de lluvia para fijarse en un canal. El índice de toda la cuenca es de 440 m, oscilando entre 176 y 1.408 m<sup>53</sup>.

#### *Índices de relieve*

1. *Razón de relieve (Rr)*.—Es el cociente entre la máxima diferencia de alturas y la longitud mayor de la cuenca<sup>54</sup>, es decir, la pendiente, que hemos averiguado para cada uno de los 28 sectores en m/Km. Como podía esperarse, la relación con materiales y modelado es muy clara: máximos de hasta 64 ‰ en

<sup>51</sup> Propuesta por SCHUMM, siguiendo a HORTON (vid. publicación reseñada en nota 29, donde se cita): La razón de las áreas es el cociente entre el área media de las cuencas de un orden determinado y las de categoría inmediatamente inferior. Según HORTON se ordenarían en progresión geométrica directa.

<sup>52</sup> Más lógico parece dividir el número de cauces entre el área, y, por otra parte, la denominación de densidad de canales sería más acertada que la de  $Dh$  en las zonas áridas. Este parámetro podía haberse incluido indistintamente en el apartado de aspectos lineales.

<sup>53</sup> No hemos establecido la correlación de estas variables con las demás, porque ambas están en función de la densidad de drenaje, que después veremos. Las fórmulas son las siguientes:  $Cm = 1/Dd \cdot 1.000$  y  $Eps = 1/2Dd$ .

<sup>54</sup> TANDON, *op. cit.*

laderas del Cretáceo (NE), escarpes de calizas y abarrancamientos del Keuper. Siguen *badlands* de los cursos altos, calizas subhorizontales y, con valores que sólo llegan a 9'6 ‰, los glacis. Las cuencas de mayor declive son también las más pequeñas (coeficiente de correlación = -0'55), menos alargadas (-0'23), de fuerte *Dh* (0'26) y de *Lm* reducido (-0'16). Muchas de estas relaciones han sido comprobadas en otros lugares<sup>55</sup> y son lógicas además, pudiendo señalarse la significativa dependencia inversa entre *Rr* y *Rb*: los declives fuertes parecen dificultar la ramificación cuando se trata de un roquedo resistente.

2. *Densidad de drenaje (Dd)*.—Resulta de dividir la longitud total de los cauces entre la superficie de la cuenca, constituyendo uno de los índices morfológicos más expresivos y por ello bastante utilizado. El conjunto tiene un coeficiente bajo (1'136 Km/Km<sup>2</sup>), oscilando las distintas subdivisiones entre 2'913 y 0'355<sup>56</sup>.

El máximo aparece en los abarrancamientos del Keuper y *badlands* de arcillas arenosas, materiales ambos que, en climas áridos con poca vegetación ocasionan drenajes apretados. Sin embargo, esos valores no son aquí tan altos como en otras zonas, probablemente porque las pendientes son menores y existe aún alguna cubierta vegetal. Ciertas zonas de caliza cretácica destacadas del relleno también tienen fuertes densidades.

A continuación siguen las laderas escarpadas por fraccionamiento de calizas tabulares, pero éstas ostentan coeficientes bajos debido a una concurrencia de factores: disposición subhorizontal, resistencia del roquedo, poco fraccionamiento, mayor abundancia de vegetación y áreas sin cultivar. Finalmente, los glacis y cañadas de fondo plano son las formas de menor densidad, como era de esperar. Una vez más, pues, la correlación se establece con el combinado roca-relieve y no con los datos geológicos solamente<sup>57</sup>.

Por lo que se refiere a la distribución de cuencas, se aprecia cierta tendencia a la uniformidad del drenaje conforme aumenta la categoría y, por otro lado, vuelve a marcarse las diferencias entre las cuencas A y B-C. Los índices de correlación de este parámetro con los que hemos analizado son interesantes, como el que compara con *Dh* (0'64) o *Rr* (0'57), cosa lógica, por lo demás, así como con *Lm* (-0'51). Las cuencas mayores son las menos densas (coeficiente -0'65)<sup>58</sup>

<sup>55</sup> STRAHLER, «Quantitative...», *op. cit.*

<sup>56</sup> Indicamos algunos índices de drenaje correspondientes a distintos lugares (todos ellos en Km/Km<sup>2</sup>): LÓPEZ BERMÚDEZ, *op. cit.*: 4-15; MATEU BELLÉS, *op. cit.*: 2'5-5'4; GANDOLFI, N., «Análise morfométrica de drenagem na bacia do rio Mogi-Guassu», *Not. Geomorf.*, jun. 1971, pp. 23-40: 0'63, 0'67, 0'80; TOLENTINO *et al.*, «Estudo morfométrico das bacias hidrográficas do Planalto de São Carlos», *Rev. Br. Geogr.*, 1968, núm. 4, pp. 42-50: 0'66, 0'71, 1'04.

<sup>57</sup> Aunque es frecuente relacionar materiales de grano fino con texturas densas no parece que deba generalizarse. Por ejemplo, en las arcillas del grupo 14 coexisten distintas densidades según la topografía y el modelado. Asimismo, las cañadas —de arcillas y conglomerados— tienen menos densidad que algunos glacis arcillosos.

<sup>58</sup> Esa misma relación extrae VERMA, V. K., con un índice de -0'41, «Drainage and slope characteristics of Lower Gondwana Terrain of Central India», *Not. Geomorf.*, dez. 1972, pp. 39-50.

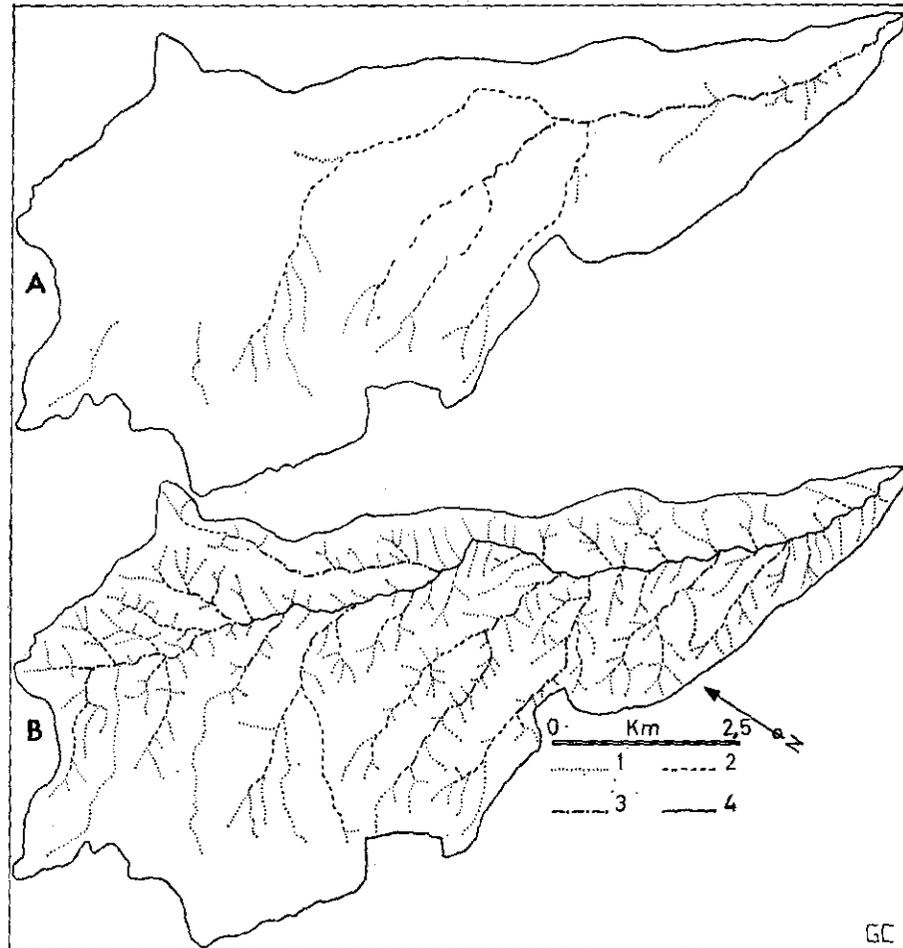


Fig. 17.—Comparación de dos sistemas de drenaje en una misma cuenca (núm. 1 de la fig. 12-a): A. Cauces actuales.—B. Red subactual. Los números corresponden a la categoría de los segmentos.

y el  $Dd-Rb$  expresa una función directa entre ambos, si bien el índice no es muy alto (0'21)<sup>59</sup>. Quizás porque en algunos *badlands* lo que existe es un fuerte predominio de cauces de primer orden confluyentes en categorías superiores, pero no se trata en realidad de una red excesivamente ramificada (véase en el cuadro IV cómo el  $Rb$  medio no es muy elevado, pues en la zona llega a un máximo de 9'72). Por último, la forma circular y el alargamiento de las cuencas favorecen asimismo el drenaje<sup>60</sup>.

CUADRO IV  
Razón de bifurcación de las cuencas con mayor  
densidad de drenaje

Número de cuenca	Modelado	$Dd$	$Rb$ medio
16		2'913	5'25
9	Badlands en arcillas arenosas.	2'833	3'88
20		2'630	3'50
17		2'446	3'25
15	Badlands en Keuper.	2'443	4'69

3. *Coefficiente de aspereza o rugosidad (Hd)*.—Es igual a la máxima diferencia de altura de cada cuenca por la densidad de drenaje<sup>61</sup>, expresadas ambas aquí en Km. Evidentemente, la correlación con estas dos variables es fuerte (0'62 con  $Dd$  y 0'46 con  $Rr$ ); sin embargo, es más independiente de la forma y el tamaño que cada una de ellas por separado, indicando, pues, la conveniencia de su utilización.

En efecto, la figura 14-d es algo distinta de la correspondiente a  $Dd$ , pues se marca una dorsal de máxima aspereza, que va desde los *badlands* del Keuper a los de cabecera en arcillas, pasando por laderas escarpadas y el espolón de calizas que separa dos glaciares, a la vez que señala la divisoria entre las cuencas A y C. En orden a otros factores, cabe mencionar que la bifurcación (0'43) y la siuosidad ( $Ev = 0'38$ ) contribuyen, junto con la pendiente y la densidad hidrográfica (0'44), a la rugosidad del modelado<sup>62</sup>.

<sup>59</sup> CUNHA, S.; MACHADO, M., y MOUSINHO, M., «Drainage basin morphometry on deeply weathered bedrocks», *Z. Geomorph.*, N. F. 19, junio 1975, pp. 125-139. Obtienen un coeficiente mayor, 0'99.

<sup>60</sup> El índice de correlación  $Dd-K$  es de -0'34, muy próximo al obtenido por VERMA, *op. cit.* (-0'29).

<sup>61</sup> MEKEL, *op. cit.*

<sup>62</sup> Otro índice que suele utilizarse es la textura de la topografía ( $Tt$ ), pero, como está en función de la densidad de drenaje, no hemos correlacionado con los demás parámetros. El valor para la cuenca es de 1'91, oscilando las 28 divisiones entre 5'46 y 0'98. Existen varias fórmulas (vid. CHRISTOFOLLETTI, «Análise...», y CHORLEY, «The drainage...»). Hemos utilizado:  $Tt = 0'219649 + 1'115 \log. Dd$ .

## Otras cuestiones

1. *Correlación entre variables.*—Aunque en este trabajo nos ha interesado más la relación de cada parámetro con litología, estructura, topografía y modelado que el análisis de las variables como tales, conviene hacer algunas precisiones acerca de cuáles son las más significativas. Existen dos grupos de factores fuertemente interrelacionados entre sí: uno está integrado por *K*, *S* y *Re*, indicando que forma, tamaño y elongación se afectan mutuamente. El otro lo constituyen densidad de drenaje, razón de relieve, tamaño y densidad hidrográfica <sup>63</sup>.

2. *Análisis morfométrico de una red subactual fósil.*—A base de fotografía aérea se ha llevado a cabo la reconstrucción de cauces anteriores a los actuales, que se encajan en los fondos planos de los antiguos. Tales formas aparecen en casi toda la cuenca, pero con más abundancia en el W, en una de cuyas áreas hemos realizado la morfometría con igual método que en la red actual.

CUADRO V

Valores comparados de la cuenca 1, correspondientes a dos fases de erosión

	<i>Lm</i>	<i>Rb</i>	<i>Dh</i>	<i>Dd</i>	<i>Hd</i>	<i>Cm</i>	<i>Tt</i>	<i>Eps</i>	<i>Rl</i>	<i>Rb</i>	1.º-2.º
Red actual . . . .	1'088	5'12	0'76	0'826	0'33	1.211	2'28	605	5'0	6'25	
Cauces fósiles . . .	0'375	6'69	8'02	3'006	1'20	332	5'66	143	5'5	4'77	

(*RL* = razón de longitud media acumulativa. Los valores de *K*, *Re* y *S*, iguales en ambas, por ser la misma cuenca, alcanzan respectivamente 1'586, 0'528 y 39'51.)

Como puede observarse, la comparación en una misma cuenca de las redes de dos épocas distintas, aunque sucesivas, revela la gran diferencia existente entre ambas, sobre todo los valores de densidad, rugosidad, bifurcación y textura, muy superiores en la anterior fase y, por lo tanto, de clima más húmedo, puesto que se han mantenido las mismas características litológicas.

En un modesto intento de averiguar cuáles podrían ser las condiciones ambientales durante la formación de aquella red utilizando los parámetros morfométricos, comparamos con otras cuencas. En concreto con las de Verdinho y Quartel, en el Planalto de Poço de Caldas <sup>64</sup>, observándose más semejanza entre

<sup>63</sup>	<i>Re</i>	<i>K</i>	<i>S</i>	<i>Hd</i>	<i>Dd</i>	<i>Rr</i>	<i>S</i>
<i>Re</i>	1'0			<i>Hd</i>	1'0		
<i>K</i>	0'66	1'0		<i>Dd</i>	0'62	1'0	
<i>S</i>	0'42	0'60	1'0	<i>Rr</i>	0'46	0'57	1'0
				<i>S</i>	—0'04	—0'65	—0'55
							1'0

CHRISTOFOLETTI, «Correlação de variáveis para o estudo comparativo de bacias hidrográficas», *Bol. Geogr.*, 1971, sept.-oct., pp. 101-106. Habla de una fuerte correlación entre *Dd-Hd-Rr*. Además de los dos grupos que señalábamos existen otros menos interesantes por obvios, como *Lm-Dh-Dd*.

<sup>64</sup> CHRISTOFOLETTI, «Correlação...», *op. cit.*

esas zonas brasileñas y la cuenca fósil estudiada que entre ésta y la red actual. El clima del Planalto es Cwb, es decir, templado, lluvioso, con estación seca y temperaturas medias del mes más cálido inferiores a 22° C<sup>65</sup>. De tal manera se confirmaría la hipótesis sobre la génesis de las cañadas y, sabiendo que durante el Pleistoceno superior mediterráneo hubo distintas fases climáticas, podría asignarse provisionalmente al período interglaciar húmedo (subpluvial), asociado a la transgresión tirreniense I<sup>66</sup>

<sup>65</sup> La densidad de drenaje en estas cuencas brasileñas es un poco inferior, probablemente por la existencia de un roquedo más resistente.

<sup>66</sup> ROSSELLÓ VERGER, V. M., «Clima y morfología pleistocena en el litoral mediterráneo español», *Papeles del Dep. de Geografía*, 2, Murcia, 1970, pp. 79-108.

## RELACION BIBLIOGRAFICA \*

- |   |                                    |
|---|------------------------------------|
| AGUIRRE, E., 1973 (10).                             | MEKEL, J. F., 1970 (38).           |
| BERNABÉ MAESTRE, J. M., 1975 (26).                  | MERCATOR, 1632 (12).               |
| CAILLEUX, A., 1969 (21).                            | M. O. P., 1972 (13).               |
| CANO GARCÍA, G. M., 1975 (24).                      | MORALES GIL, A., 1972 (20).        |
| CUNHA, S., 1975 (59).                               | MOUSINHO, M., 1975 (59).           |
| CHORLEY, R. J., 1971 (36).                          | ORGANIZACIÓN SINDICAL, 1973 (4).   |
| CRISTOFOLETTI, A., 1971 ( <i>Análise...</i> ) (29). | ORTÍ CABO, F., 1973 (19).          |
| IBÍDEM, 1971 ( <i>A relação...</i> ) (50).          | PANDEY, S., 1967 (34).             |
| IBÍDEM, 1971 ( <i>Correlação...</i> ) (63).         | PIQUERAS HABA, J., 1975 (2).       |
| DUPUY DE LÔME, E., 1957 (8).                        | RIBA, O., 1973 (9).                |
| FRANÇA, G. V., 1968 (40).                           | ROBLES, F., 1973 (10).             |
| GANDOLFI, N., 1971 (56).                            | ROSSELLÓ VERGER, V. M., 1970 (66). |
| GHOSE, B., 1967 (34).                               | IBÍDEM, 1974 (17).                 |
| GLADFELTER, B. G., 1971 (17).                       | SHREVE, R. L., 1966 (40).          |
| HORTON, R. E., 1932 (51).                           | SINGH, S., 1967 (34).              |
| I. G. M., 1973 (6).                                 | STRAHLER, A. N., 1968 (33).        |
| I. N. Q. U. A., 1974 (7).                           | IBÍDEM, 1974 (27).                 |
| LAL, G., 1967 (34).                                 | TANDON, D., 1974 (48).             |
| LÓPEZ BERMÚDEZ, F., 1973 (20).                      | TOLENTINO, M., 1968 (56).          |
| MACHADO, M., 1975 (59).                             | TRICART, J., 1969 (21).            |
| MATEU BELLÉS, J., 1974 (39).                        | VERMA, V. K., 1972 (58).           |

\* En primer lugar figura el autor.; después, la fecha de publicación, y por último, la nota en la que puede consultarse la ficha bibliográfica completa.

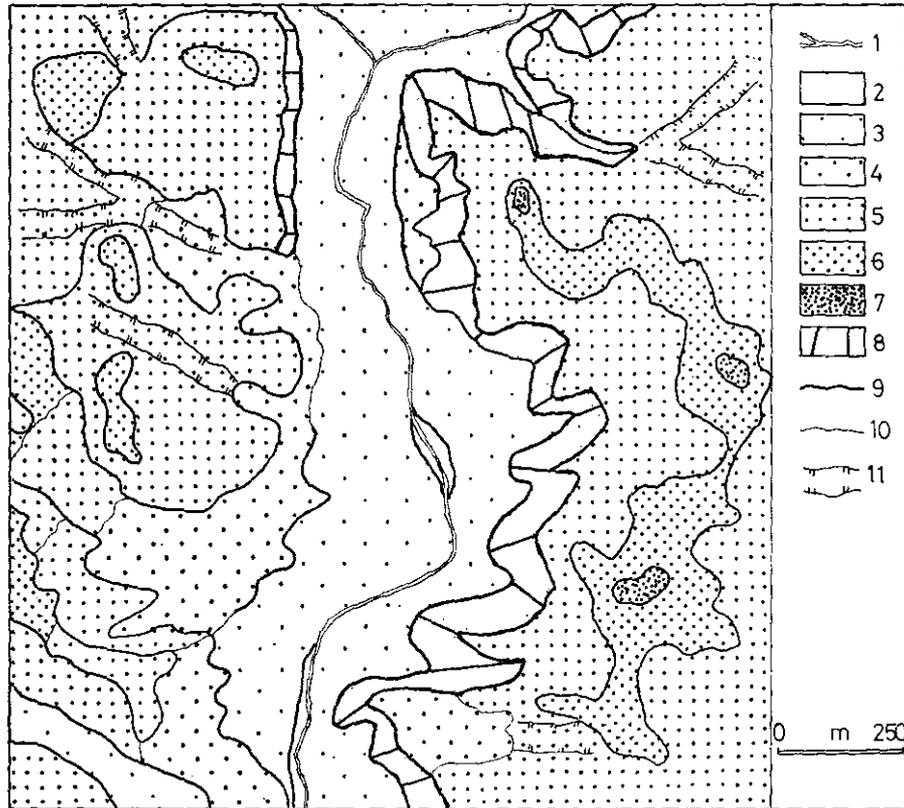


Fig. 18.—Croquis simplificado correspondiente a una fotografía aérea de la derecha, con expresión de superficies topográficas obtenidas con barra de paralaje: 1. Cauce actual.—2. Terraza + 3 m.—3. Terraza + 9 m.—4. Superficie a 25 m.—5. Topografía 45 m.—6. Superficie de 51 m.—7. Terrenos a 67 m.—8. Laderas escarpadas.—9. Escalón.—10. Contacto entre distintas topografías sin límite acusado.—11. Vaguada fósil. (La situación dentro de la cuenca puede verse en la fig. 4, coordenadas A-B.)



Fig. 1.—Par estereoscópico de escala aproximada 1:30.000. Véase ampliación en la fig. 18.

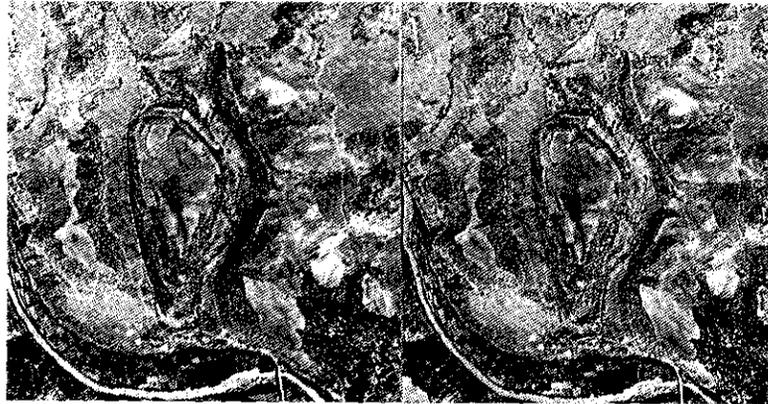


Fig. 2.—Meandro abandonado en el Cabriel, cerca de los Baños de Fuente Podrida (al margen de la zona estudiada), que confirma los distintos escalonamientos, debidos al progresivo cambio en el nivel de base local. Escala 1:31.000.

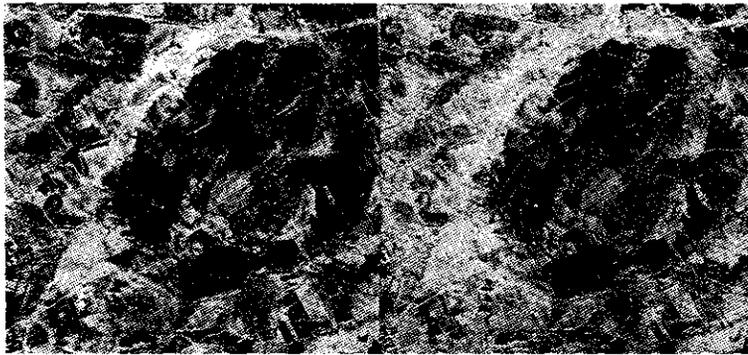
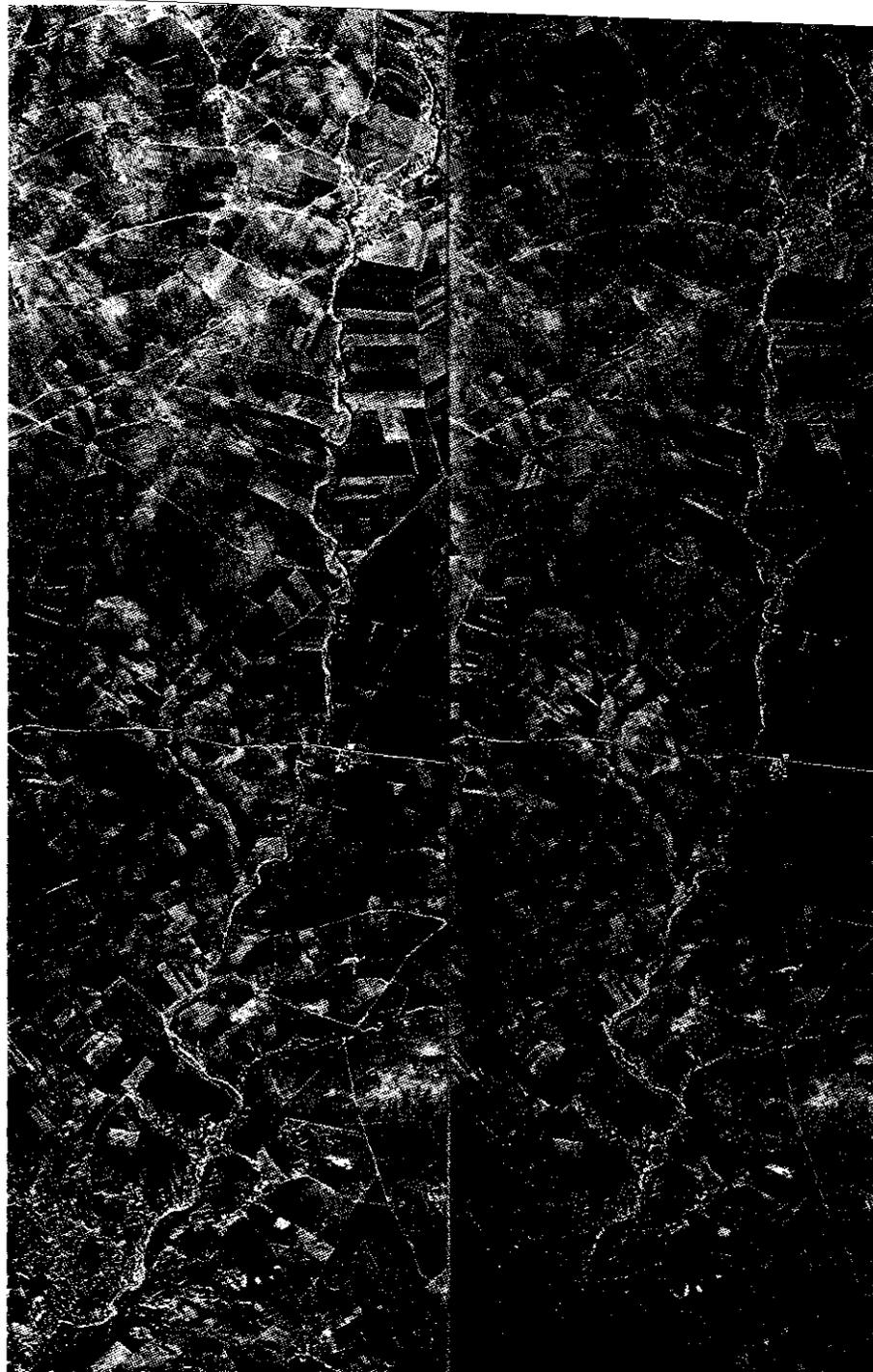


Fig. 3.—Diapiro de Jaraguas, escala 1:30.000. Comentarios en el texto



Par estereoscópico, de escala aproximada 1:30.000, en la zona de Los Duques: Los puntos indican el eje de una cañada de fondo plano, que aguas abajo pasa a superficie llana (1), surcada por una red divagante y sin encajar, reveladora de un proceso de planación no acabado del todo. Al este, el glacis es perfecto (2) y los cauces profundizan en una erosión lineal rápida (véanse algunas terrazas) y nítida, lo que no impide cierta tendencia al ensanchamiento de lechos en los meandros (3). Algunos barrancos, con numerosos y apretados *badlands*, atacan al glacis por erosión regresiva y cabeceras en fondo de saco, sobre todo al sur, donde quizás tengan su origen en el *karst* mecánico (obsérvese una torca en el punto 4). El número 5 señala un retazo de calizas lacustres, destacado por erosión diferencial.

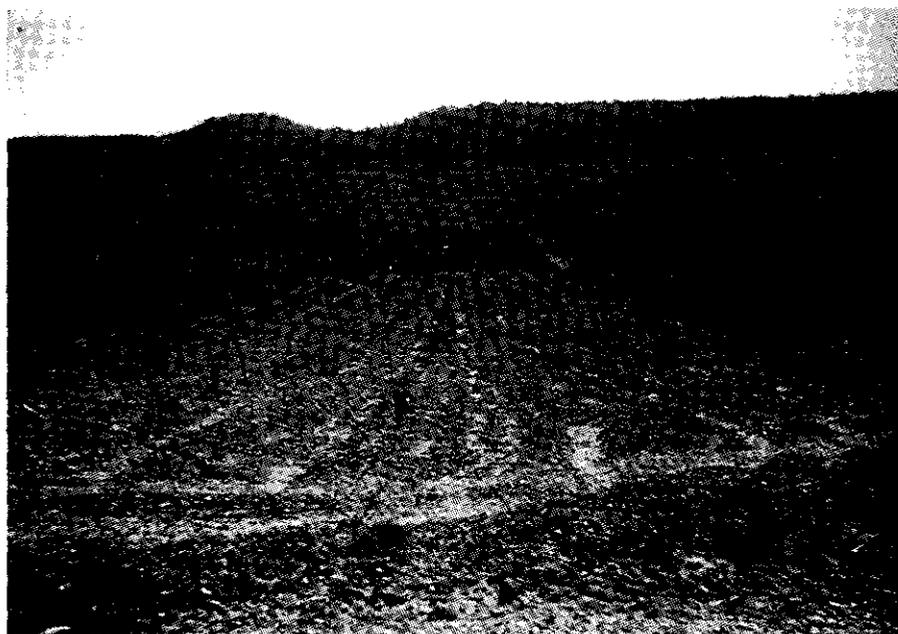


Fig. 1.—Glacis de Campo Arcis con elevaciones coronadas de calizas al fondo



Fig. 2.—Barranco de amplio lecho, sin apenas aluviones, encajado en una vaguada anterior, fósil ahora, con paredes afectadas por *karst* mecánico y *badlands*.



Fig. 1.—Banco de calizas lacustres en la carretera Requena-Casas Ibáñez. Puede observarse abajo el glacis de erosión.

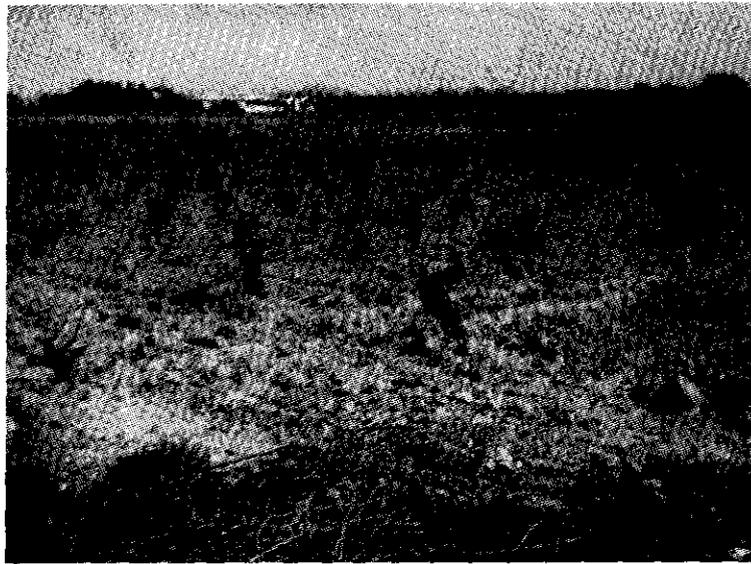


Fig. 2.—Superficie cultivada en la zona tabular próxima al lugar de la foto anterior, en el camino hacia Sardinero.