

MORFOMETRIA DE CUENCAS EN LA VERTIENTE SUDORIENTAL DE MALLORCA.

Miquel GRIMALT
Antoni RODRIGUEZ-PEREA
Raquel RODRIGUEZ-GOMILA

Departament de Ciències de la Terra
Universitat de les Illes Balears
Ctra. Valldemossa, km. 7.5
E-07071 Palma (Mallorca)

1. INTRODUCCION. AMBITO DE ESTUDIO.

El ámbito de estudio es una área de 312 km² situada al levante de la Isla de Mallorca. Se halla comprendida entre las Serres de Llevant y la costa sudoriental mallorquina. El límite meridional viene determinado por el cap de ses Salines y el septentrional por la cuenca del torrent de ca N'Amer (fig. 1). Al norte de este último accidente las Serres de Llevant adquieren un mayor desarrollo en cuanto a su altitud y cambian la disposición de sus relieves principales, que dejan de ser paralelos a la costa. Debido a esta última causa algunos autores (JANSA 1951) han querido diferenciar dos vertientes: la que se estudia en el presente trabajo, denominada como "Vertiente Sudoriental" y la situada más al norte, conocida como "Vertiente de Artà".

Las ramblas objeto de estudio (denominadas en Mallorca con el término *torrents*) presentan una esorrentía no permanente, casi esporádica, hasta el punto que solamente aportan algún caudal hasta la desembocadura unos pocos días (u horas) en cada década, manteniéndose secas durante ciclos hidrológicos completos. Debido a este hecho, la mayor parte de los tramos no presentan un cauce perfectamente

definido. Incluso en más de una ocasión se cultiva en el propio lecho mediante la utilización de muros transversales de piedra seca (parats) que tienen como fin evitar la concentración de la escorrentía e impedir el acarreamiento.

Ocasionalmente se producen violentas avenidas de agua, con puntas de caudal momentáneo notablemente elevadas. Estas perturbaciones vienen provocadas por precipitaciones de gran intensidad horaria, que estadísticamente tienen una recurrencia de unas pocas décadas (GRIMALT, 1989).

Para seguir estos acontecimientos extremos, y ante la falta de una red de aforos, se han utilizado las fuentes orales y la prensa; con ello se han podido recomponer las secuencias cronológicas de riadas de las últimas décadas para los dos cursos principales de la vertiente:

-el torrent de ca N'Amer ha presentado avenidas en nov. 1943, oct. 1959, oct 1973, sept. 1982, ago. 1983, oct. 1985 y sept. 1989, que han afectado de manera importante a los núcleos urbanos de Sant Llorenç des Cardassar, son Carrió y s'Illot.

-el torrent de ses Talaioles también muestra una larga relación de riadas en oct 1932, nov 1943, oct. 1959, ago. 1983 y sept 1989, con daños diversos en el Port de Manacor.

El día 6 de septiembre de 1989 se registró el último período de inundaciones, que fueron generalizadas en toda la vertiente, y durante las que se alcanzaron considerables puntas de caudal, que llegaron a 670 m³/s en el torrent de ca N'Amer, 520 m³/s en el Barranc de Cala Magraner, 429 m³/s en el torrent de sa Mola, 707 m³/s en el barranc de Cala Murada, y 859 m³/s en el torrent de Portopetre (GRIMALT/RODRIGUEZ-PEREA, 1990)

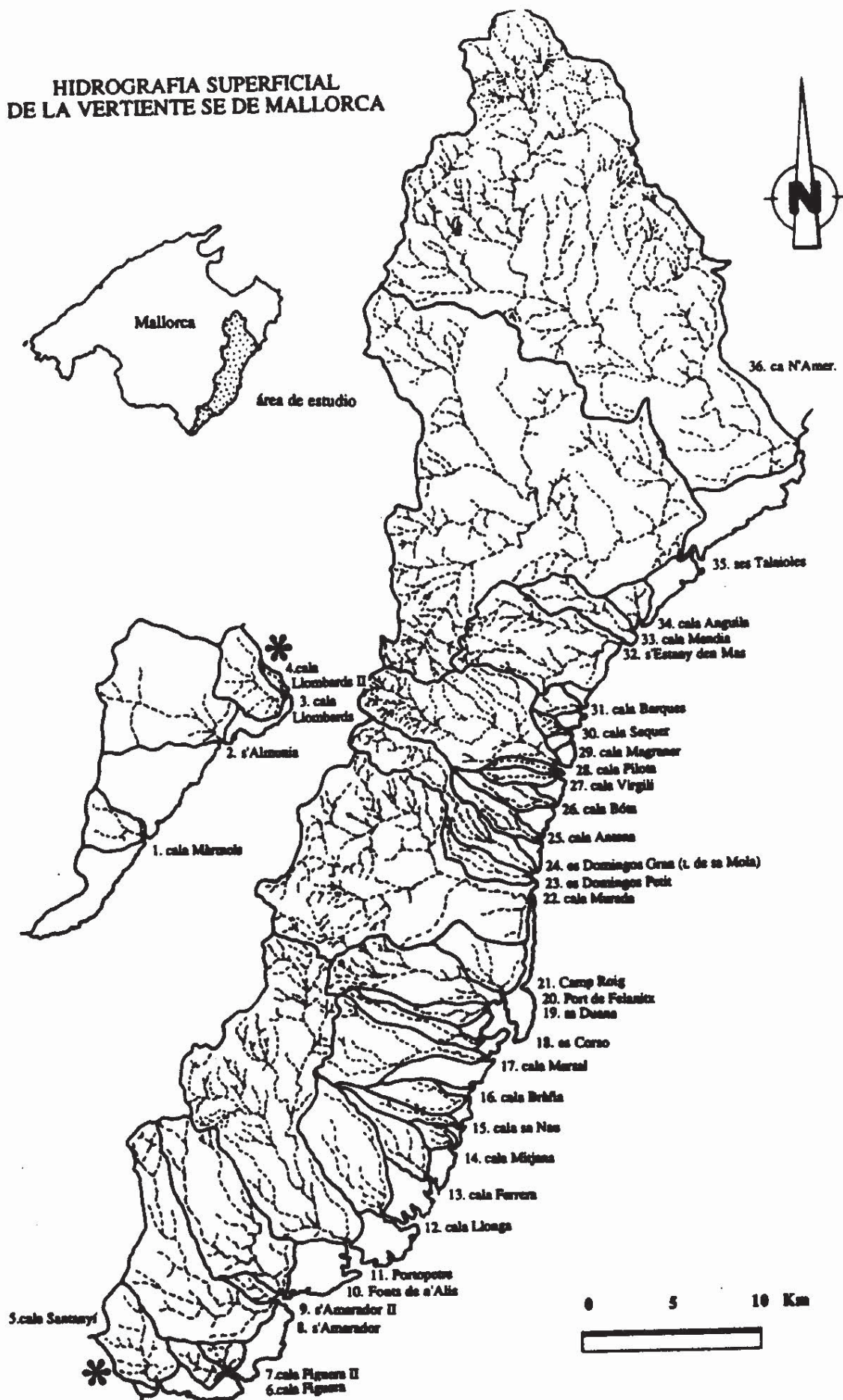
Morfológicamente la red de drenaje se encuentra asentada sobre dos estructuras diferenciadas:

- una plataforma calcarenítica miocena -*sa Marina*- paralela e inmediata a la costa, con una anchura de pocos kilómetros.

- una zona interior plegada: las *Serres de Llevant*, de cierta complejidad litológica y estructural, en las que predominan los materiales carbonatados, aunque puntualmente aparecen margas y conglomerados, que pueden suponer la fuente de aporte de gran cantidad de materia sólida en caso de avenida. La dirección de sus relieves es aproximadamente paralela al litoral, y sus alturas son modestas: en el sector estudiado únicamente se superan los 500 m. en Sant Salvador de Felanitx, con una media de 250-300 m. para la línea de cumbres.

El clima de la zona resulta relativamente homogéneo, aunque cabe remarcar un gradiente por el que aumentan las precipitaciones desde el litoral hacia el interior y de sur a norte. Las precipitaciones medias oscilan entre los 287,1 mm. del cap de ses Salines (extremo meridional) a los 456 mm. de Port de Manacor (estación costera más septentrional). En las zonas montañosas interiores se alcanzan hasta 600 mm. (GUIJARRO, 1986)

**HIDROGRAFIA SUPERFICIAL
DE LA VERTIENTE SE DE MALLORCA**



2. OBJETIVOS Y MÉTODO

En el presente estudio se pretende llegar a una clasificación de las diversas cuencas hidrográficas y redes de drenaje del Llevant de Mallorca. Para ello se ha utilizado la técnica del análisis multivariante aplicado a las diversas características morfométricas de la red y cuencas.

Para poder llevar a término los objetivos propuestos se ha tomado como fuente básica la topografía de los mapas 1:25.000 realizada por el IGN en 1985.

Hay que tener en cuenta que en la cartografía existente se da una falta casi total de información que haga referencia explícita a la hidrografía superficial de la zona. Por esta causa la mapificación de las redes de drenaje ha tenido que ser elaborada ex-novo para el presente análisis. Los cursos se han trazado mayoritariamente mediante el método de seguir las inflexiones de las curvas de nivel. Complementariamente se ha recurrido a la fotografía aérea escala 1:14500 (vuelo 1973) o al trabajo de campo.

Los resultados de esta fase del trabajo se pueden apreciar en la cartografía que se presenta adjunta. Se han delimitado hasta 36 cuencas principales, quedando unas 14 áreas "indiferenciadas" drenadas por cursos de muy pequeña entidad para la escala de trabajo definida.

Para caracterizar cada una de los torrents estudiados se han utilizado 31 variables. A fin de evitar el uso de un excesivo número de parámetros se ha partido de los considerados como apropiados en estudios precedentes referidos a otras zonas mediterráneas. (ROMERO DIAZ, 1989; VIDAL-ABARCA y otros 1987).

A continuación se presentan las variables utilizadas, agrupadas en tres categorías principales: variables de relieve, variables topológicas, variables superficiales de cuenca y longitudinales de red. En la relación se hace mención de la unidad de medida de cada una de ellas.

Variables de relieve:

- *Desnivel absoluto* de la cuenca que, al tratarse de cuencas que desembocan en el mar, coincide con la altura máxima de la cuenca. En todas las cuencas analizadas la cota más elevada se encuentra en el perímetro(m)

- *Pendiente media* de la cuenca, elaborada mediante la superposición de una malla cuadrangular de 1 cm de lado al mapa 1:25.000. Se ha evaluado la pendiente de cada cuadrícula a partir de la diferencia de altura entre los dos puntos extremos de la diagonal cuya dirección coincide con la del drenaje; finalmente se ha calculado la media aritmética para el conjunto de la cuenca. (%)

- *Altura máxima del canal principal.* (m)

- *Longitud del canal principal.* (km)

- *Pendiente del canal principal*, entendida como la relación entre su desnivel (que coincide con su altura máxima) y su longitud. (%)

- *Longitud del relieve:* longitud de la cuenca medida en una dirección paralela al tálveg principal. (km)

- *Relación de relieve.:* relación entre la altura máxima del perímetro de la cuenca (que en nuestro caso

coincide con el desnivel) y la longitud del relieve.

- *Número de rugosidad*: resultado de multiplicar el desnivel absoluto de una cuenca por su densidad de drenaje.

- *Factor topográfico*: es el resultado de multiplicar la altura máxima del canal principal por la raíz cuadrada de la pendiente del propio canal.

Variables topológicas:

Se han analizado siguiendo el método de orden de cuencas establecido por Strahler (1976) , que considera como de orden 1 a los cursos sin ningún afluente, los cursos de orden 2 están constituídos por la unión de dos cursos de orden 1, los de orden 3 son la confluencia de dos segmentos de orden 2 y así sucesivamente.

Dentro de este grupo se han tenido en cuenta:

- *número de orden* máximo del canal principal la cuenca.

- *el número de cauces de cada orden* (habiéndose encontrado órdenes desde 1 hasta 5).

- *el número total de cauces* distinguidos

- *la razón de bifurcación*, es decir, el número de cauces de orden inferior que hay para cada uno orden inmediatamente mayor.

- *la razón de bifurcación media*

Variables de longitud de los cauces:

- *longitud* de todos los tramos *de cada orden* de corriente, distinguidos según el método de Strahler (km)
- *longitud total* de la red (km)
- *densidad de drenaje*, entendida como cociente entre la longitud total de la red y el área de la cuenca. (km/km²)

Variables de superficie :

- *área total* de la cuenca (km²)
- *perímetro* de la cuenca (km)
- *relación de cuenca*. Entendida como el cociente entre el área multiplicada por 4 P y el perímetro de la cuenca. De hecho viene a cuantificar su mayor o menor circularidad.

De este modo se obtiene una matriz de información geográfica constituida por las 36 cuencas y un total de 31 variables.

3. RESULTADOS.

3.1. Factores.

Una vez se han realizado las diversas fases del análisis factorial para el conjunto de las variables, nos encontramos ante 4 factores principales, que explican conjuntamente el 89,9 % de la varianza (vid. tabla 1)

TABLA I. COEFICIENTES DE SATURACION DE LOS DIVERSOS FACTORES PARA CADA UNA DE LAS VARIABLES

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
orden	.866	.134	.351	-.066
pendiente me...	.372	.703	-.058	-.024
altura c.p.	.843	.392	.072	-.07
long. c.p.	.974	-.027	.023	-.158
pendiente c.p.	-.378	.447	-.259	.684
alt. perímetro	.878	.379	.17	-.159
long. relieve	.925	1.384E-3	.064	-.296
rel. relieve	.268	.767	.225	.173
long. total	.974	-.17	-.114	.075
área	.958	-.24	-.101	.045
dens. drenaje	-1.264E-3	.475	-.489	.286
núm. rugosid..	.831	.492	.119	-.075
factor top.	.703	.552	.078	-6.001E-3
núm. 2	.956	-.181	-.147	.124
núm. total	.968	-.155	-.115	.119
r.b. 1/2	.204	-.119	.894	.127
r.b. 2/3	.764	.193	.369	-.174
rb. 3/4	.911	.168	.055	.125
r.b. 4/5	.928	-.215	-.194	.102
r.b. media	.23	-.208	.799	.26
long. 1	.971	-.181	-.116	.074
long. 2	.955	-.202	-.1	.046
long. media	.976	-.159	-.09	.041
perímetro	.961	-.111	.052	-.159
rel. cuenca	-.17	-.288	.425	.616
núm. 3	.964	-.134	-.116	.111
núm. 4	.972	-.051	-.075	.112
núm. 5	.874	-.099	-.118	.071
long. 3	.955	-.074	-.078	.073
long. 4	.931	.036	-.047	.108
long. 5	.893	-.305	-.249	.127

El primer factor explica hasta un 66,6 % de la varianza.

Presenta coeficientes de saturación muy positiva para diversos grupos de variables:

- las relacionadas con el número de segmentos de cada orden y con su longitud, así como la longitud del canal principal (en todos los casos con valores superiores al 0,900).
- los que hacen referencia a la dimensión superficial de la cuenca: el área (0,958) o el perímetro (0,961).
- los valores absolutos del relieve : altura máxima, altura del canal principal (con saturaciones por encima del 0,800 aunque sin llegar al 0,900), así como algunas relaciones de carácter topográfico (número de rugosidad y factor topográfico).
- las relaciones de bifurcación entre los cursos de órdenes superiores (2/3, 3/4, 4/5).

Las otras variables aparecen con valores de saturación bajos, tanto en sentido positivo como negativo.

Se trata, por tanto del factor dimensión, tanto de la cuenca como de la red.

El segundo factor explica únicamente un 9,7% de la varianza.

Tiene coeficientes de saturación positivos para las variables relacionadas con el relieve, especialmente con la pendiente: pendiente media de la cuenca (0,703), relación de relieve (0,767), factor topográfico (0,552) y pendiente del canal principal (0,447)

Igualmente son coeficientes para otros parámetros

como la altura del canal principal (0.392) o la altura máxima de la cuenca (0,379)

A este segundo factor se le puede identificar como relieve vigoroso.

El tercer factor , que explica un 8,2% de la varianza, manifiesta valores elevados para la relación de bifurcación entre ordenes 1/2 (0,894), 2/3 (0,369), así como la media (0,799) y el orden (0.351).

También es significativo el coeficiente de saturación que adquiere la relación de cuenca (0,425).

Como saturaciones negativas se destacan las que aparecen referidas a la densidad de drenaje (-0,485) y la pendiente del canal principal (-0.259)

En este caso el factor discrimina básicamente la forma de la cuenca: la circularidad queda remarcada por valores positivos para el factor y linealidad por los negativos.

El cuarto factor resulta más marginal, ya que únicamente explica un 4,5% de la varianza.

Presenta saturaciones elevadas en algunas variables como pendiente del canal principal (0,684), densidad de drenaje (0,286) y relación de cuenca (0,616). Como valor negativo se remarca el de la longitud de relieve (0.296)

3.2. Tipologías de las cuencas

Para realizar una clasificación tipológica de las diversos cursos de agua se han considerado como factores principales el I y el II, ya que de hecho conjuntamente explican el 76,3 % de la varianza.

El factor III también se tiene en cuenta como discriminante dentro de las agrupaciones definidas a partir del estudio de los anteriores.

El factor IV no ha sido considerado.

En la tabla II se pueden apreciar la presencia de los diversos factores para cada una de las cuencas.

TABLA II PUNTUACIONES FACTORIALES POR CUENCAS.

NOMBRE DE LA CUENCA	FACTOR I	FACTOR II	FACTOR III	FACTOR IV
CALA	.547	-.701	2.008	1.626
MARMOLS				
S'ALMUNIA	-.231	-1.652	.736	-1.872
CALA	-6.206E-3	-1.161	.445	-.67
LLOMBARDS				
CALA	.448	-.538	-2.048	.911
LLOMBARDS II				
CALA	-.032	-1.031	.431	-.688
SANTANYI				
CALA FIGUERA	.087	-.763	2.274	.729
CALA FIGUERA II	.551	-.149	1.309	2.302
S'AMARADOR	-.909	.849	.147	-1.326
S'AMARADOR II	.18	-.664	-.448	.449
FONTS DE N'ALIS	-1.185	.526	.591	-1.598
PORTOPETRE	.663	1.858	.135	.36
CALA LLONGA	-.625	-.291	.101	-1.09
CALA FERRERA	-.343	-1.058	5.085E-3	-1.144
CALA MITJANA	.716	-.621	.141	1.78
CALA SA NAU	-.675	-.614	-1.413	-1.517
CALA BRAFIA	.108	-1.138	-.25	-.322
CALA MARSAL	-1.574	1.638	-.441	-.878
ES CORSO	-1.048	.598	-1.412	-1.006
SA DUANA	-.786	-.034	-1.276	-1.019
PORT DE FELANTIX	-.87	2.556	.646	1.299
ES CAMP ROIG	-.028	-1.233	.751	-.473
CALA MURADA	.445	1.498	.298	-.095
ES DOMINGOS PETIT	-.43	-.457	-1.298	-.874
ES DOMINGOS GRAN	-2.421	2.962	-.083	-1.317
CALA ANTENA	-.318	.237	-.699	.348
CALA BOTA	-.526	.018	-.962	-.347
CALA VIRGILI	-.191	.302	-1.132	.706
CALA PILOTA	.12	.177	-2.314	.973
CALA MAGRANER	-.919	2.223	.638	-.131
CALA SEQUER	.75	-.302	.943	2.374
CALA BARQUES	.398	-.217	.24	1.628
S'ESTANY DEN MAS	-1.121	2.106	1.081	.104
CALA MENDIA	-.242	-1.077	.704	-.89
CALA ANGUILA	.26	-.395	.943	1.318
SES TALAIOLES	3.245	-1.867	-.431	-1.071
CA N'AMER	5.96	-1.585	-.36	1.418

Las tipologías que pueden establecerse son las siguientes (ver fig. 2)

a.- Grandes colectores: término aplicable a los torrents de ca N'Amer (36) y de ses Talaioles (35).

Se trata de cuencas de dimensiones superficiales grandes para nuestra escala de trabajo (más de 50 km²) y redes de drenaje muy desarrolladas. Ambas están situadas en el extremo norte de la vertiente.

b.- Cuencas de dimensión notable y pendientes considerables: torrents de Portopetre (11) y de Cala Murada (22).

Tienen cuencas superiores a los 20 km², cabecera en la zona montañosa con desarrollo de tipo circular. Corresponden a los cursos que llevaron los mayores cuadales-punta durante las inundaciones del septiembre de 1989.

c.- Cuencas de dimensión mediana y fuertes pendientes.

No sobrepasan los 10 km² y su red primaria arranca desde las Serres de Llevant, aunque sin el gran desarrollo que presentaban las cabeceras del tipo II.

Son los torrents de sa Mola (24), Port de Felanitx (20), Cala Marsal (17), Cala Magraner (29) y s'Estany den Mas (32).

El factor III permite diferenciar entre los que son de tipo circular-bífido (valor positivo) y los que manifiestan un carácter más lineal (valores negativos), en este último caso se incluyen los torrents de sa Mola y de Cala Marsal.

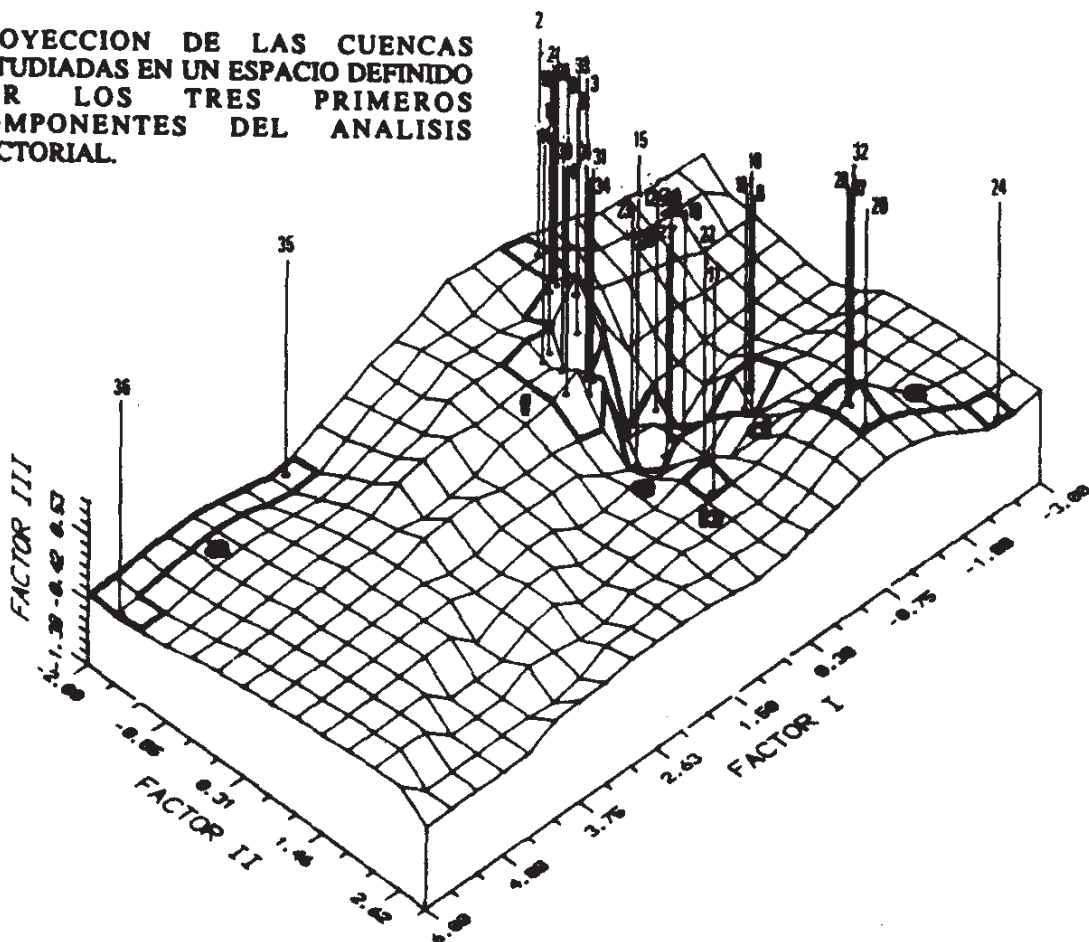
d.- Cuencas de dimensión mediana y pendiente moderada.

Se trata de redes de superficie igual o ligeramente inferior a los del tipo III. Se caracterizan por alcanzar sólo puntualmente el área montañosa interior.

Se presentan los casos de los torrents de ses Fonts de N'Alis (10), s'Amarador (8) y es Corso (18).

El factor III permite discriminar el carácter lineal del tercero de los cursos considerados.

PROYECCION DE LAS CUENCAS ESTUDIADAS EN UN ESPACIO DEFINIDO POR LOS TRES PRIMEROS COMPONENTES DEL ANALISIS FACTORIAL.



e.- Cuencas de dimensiones reducidas y pendiente moderada:

Coincide con cursos cuya cabecera ya no alcanza la zona montañosa interior, sino que arranca de la propia plataforma miocénica, aunque salvando desniveles considerables.

Una característica morfológica común a todos ellos es el que acaban por excavar barrancos de cierta entidad en su tramo final.

Es una tipología predominantemente lineal, lo que queda de manifiesto con los valores fuertemente negativos que alcanzan en el factor III, a excepción del torrent de Cala Llonga que es de carácter bífido.

La relación completa de cursos de tipo V sería: Cala Llonga (12), Cala sa Nau (15), sa Duana (19), es Domingos Petit (23), Cala Antena (25), Cala Bóta (26), Cala Virgili (27) y Cala Pilota (28).

f. Cuencas de escasa pendiente y poco desarrollo superficial. Categoría en la que quedarían incluidas las restantes cuencas, con su curso totalmente inscrito dentro de la plataforma de sa Marina sin que presenten un relieve especialmente vigoroso y cuencas de forma generalmente circular.

4. DISCUSION Y CONCLUSIONES:

Con posterioridad al primer análisis realizado, y con el objeto de valorar la adecuación de la técnica del análisis factorial a los fines previstos, se ha procedido a realizar sucesivos procesos estadísticos del mismo tipo, suprimiendo en cada uno de ellos las cuencas que más se apartaban de los valores medios así como las variables que singularizaban la matriz. Los resultados obtenidos en estos nuevos tratamientos multifactoriales no difieren de los que se habían conseguido al considerar todas las cuencas de la vertiente. De hecho, la definición de los factores principales no cambia sustancialmente cuando eliminamos las cuencas de mayor tamaño -tipo a-, ni tampoco si además de éstos suprimimos a los de dimensiones y pendiente elevados -tipo b- y así sucesivamente.

La jerarquía de dimensiones de cuenca (factor I), relieve (factor II) y subordinadamente la forma de cuenca (factor III) se mantienen durante todos los procesos analíticos, dejando patente su importancia fundamental en el comportamiento de las cuencas.

Si bien este resultado podría parecer obvio, es interesante compararlo con otras áreas geográficas no lejanas (CASTILLO/GONZALEZ, 1986), donde el orden de los mencionados factores se invierte, y así resulta que el relieve se constituye como factor principal al que se subordinan dimensión y tipo de drenaje.

Un estudio detallado de las características diferenciales de las diversas cuencas mediterráneas podría ayudar a definir las variables que controlan el orden de dichos factores entre los que habría que considerar el problema añadido de la escala.

Sería especialmente interesante la caracterización

de los factores de la cuenca, en la medida que condicionan el mayor o menor caudal punta en régimen de avenida. Desafortunadamente no disponemos de un registro suficientemente amplio de caudales punta en la desembocadura de los torrentes, que de existir hubiera permitido incluir la variable "punta de avenida" y "precipitación" para correlacionarlo con los demás estudiados.

No obstante, y si tenemos en cuenta estudios de caudales durante avenidas en la zona (GRIMALT/RODRIGUEZ-PEREA, 1990), puede apuntarse que el factor II (relieve) y el III (forma de cuenca) son fundamentales para entender las dimensiones del caudal máximo y lo són probablemente en la misma medida que el factor I (dimensión). De cualquier forma existe, sin duda, un tamaño crítico de cuenca que ha de relacionarse necesariamente con la distribución e intensidad de la precipitación, así como probablemente con otros componentes del medio físico (litologías, usos del suelo) y teniendo en cuenta la intervención humana sobre la red de drenaje.

De hecho, durante las inundaciones del septiembre de 1989, la zona con precipitaciones más intensas debido a factores topográficos, se centró en la parte montañosa, por lo que los caudales máximos se alcanzaron en cuencas del tipo b (fuerte pendiente y amplia cabecera en la sierra); en cambio en los grandes colectores (torrentes de tipo a) el área afectada por el aguacero no pasó de ser únicamente un sector de toda su cuenca y la punta de avenida en la desembocadura fue menor.

En definitiva, la clasificación en base al análisis factorial de los cursos del Llevant de Mallorca permite iconcretar los factores capitales que controlan el funcionamiento de los cursos. Se hace necesaria una

ajustada predicción de la peligrosidad natural de dichos torrents, la cual pasa, no sólo por conocer la morfología de las redes, sino también la probabilidad de precipitaciones intensas y el factor humano.

BIBLIOGRAFIA CITADA.

CASTILLO SANCHEZ, V./ GONZALEZ ALONSO, S. (1986): Caracterización morfológica de los paisajes fluviales madrileños.- Papeles de Geografía -Física- (Murcia), 11, 53-62.

GRIMALT GELABERT, M. (1989): Aproximació a la geografia del risc a Mallorca. Les inundacions. Tesis doctoral inédita. Departament de Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears.- 3 toms.

GRIMALT, M./ RODRIGUEZ-PEREA, A. (1990): Cabals màxims al Llevant i Migjorn de Mallorca durant les revingudes del setembre de 1989.- Treballs de Geografia (Palma), 42, 7-18.

GUIJARRO PASTOR, J.A. (1986): Contribución a la Bioclimatología de las Baleares. Tesis doctoral inédita. Facultat de Ciències. UIB.- 2 toms.

JANSA GUARDIOLA, J.M. (1951): Hidrografía superficial de la isla de Mallorca.- Revista de Geofísica (Madrid), 38, 4-21.

ROMERO DIAZ, M.A. (1989): Las cuencas de los ríos Castril y Guardal (Cabecera del Guadalquivir). Estudio hidrogeomorfológico.- Ayuntamiento de Huéscar-Universidad de Murcia.- 285 pp.

STRAHLER, A.N. (1976): Geografía Física.- Omega.- Barcelona.

VIDAL-ABARCA, M./ MONTES, C./ SUAREZ, M.L./ RAMIREZ-DIAZ, L (1987): Caracterización morfométrica de la cuenca del río Segura: Estudio cuantitativo de las formas de las subcuencas.- Papeles de Geografía -Física- (Murcia), 12, 19-31.