

LA MORFOMETRIA FLUVIAL EN EL ESTUDIO DE LOS ESTADOS EROSIVOS  
DEL TERRITORIO. APLICACION A LA CUENCA DEL RIO ALMACHAR  
(PRO. DE MALAGA).

JOSE M<sup>a</sup> SENCIALES GONZÁLEZ  
EMILIO FERRE BUENO

RESUMEN

Se trata de aplicar un análisis de morfometría fluvial a una pequeña cuenca, la del río Almachar, situada en el extremo NE. de Los Montes de Málaga, para valorar la información que dan los resultados de este análisis sobre el estado erosivo de dicha cuenca.

ABSTRACT

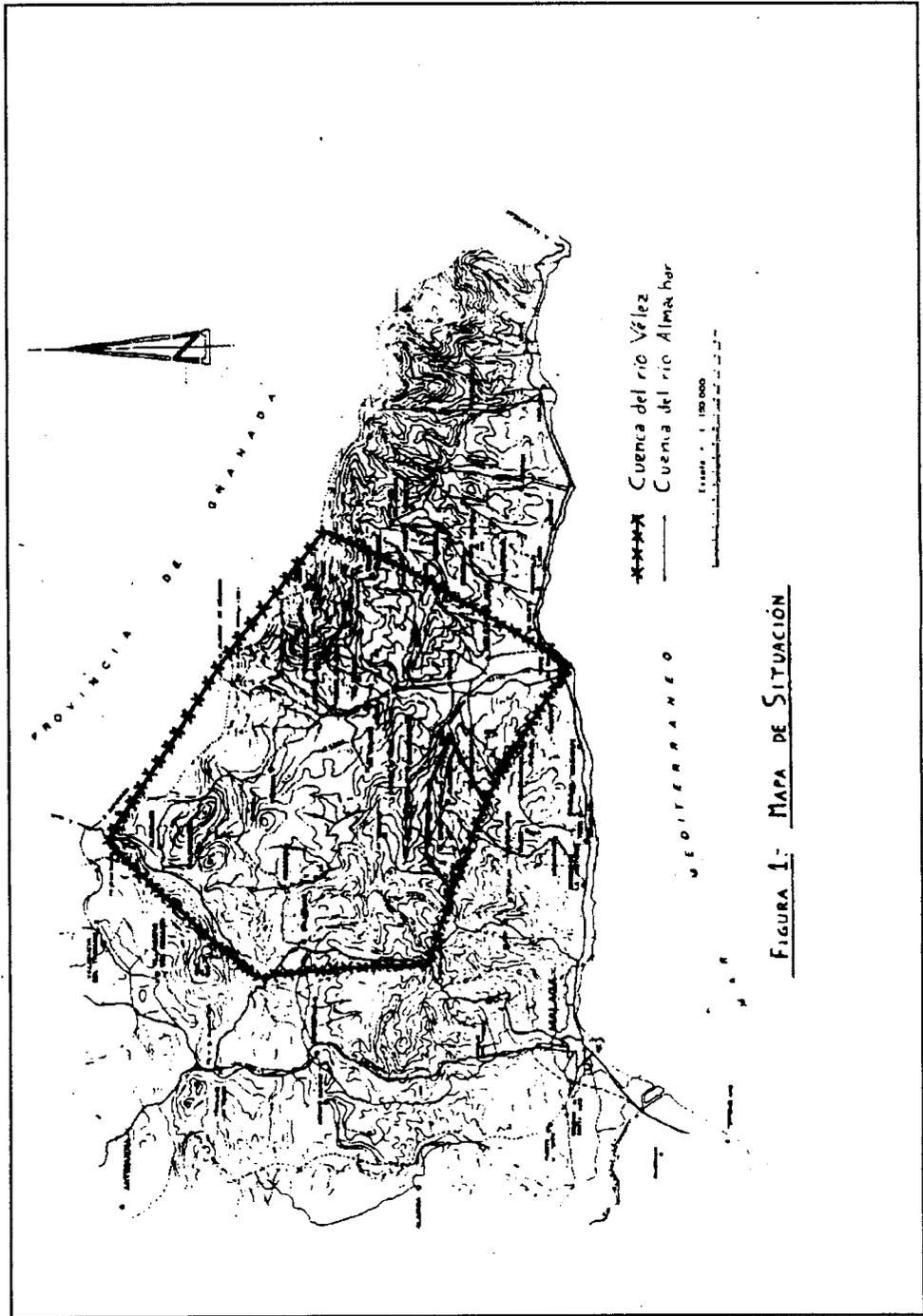
We try to apply a fluvial morphometric analysis in a small network, the Almachar river, in the north-east end of the «Montes de Málaga», in order to assess the results of this analysis over the erosive state of that network.

**LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.**

La cuenca del río Almachar forma parte de la cuenca hidrográfica del río Vélez, la cual se localiza en la zona oriental de la provincia de Málaga drenando, de un lado, el extremo nororiental de los Montes de Málaga, y de otro, el flanco meridional de las sierras de Tejeda y Almijara (Axarquía malagueña) (Figura 1).

Tanto los Montes de Málaga como la Axarquía han experimentado históricamente fuertes procesos erosivos que explican la construcción, al pie de estas zonas montañosas, de pequeños deltas (el más importante es el del río Vélez) y de una estrecha llanura litoral discontinua a lo largo de la costa oriental de la provincia.

La importancia de la erosión se explica, de una parte, por los fuertes desniveles que introducen los potentes relieves de las sierras litorales de las Cordilleras Béticas (Sierra de Almijara, Tejeda, Montes de Málaga), cuyas laderas presentan pendientes con valores



casi siempre superiores al 21% y, con frecuencia, por encima del 60-80% . De otro lado está el factor humano, ya que, a pesar de estas fuertes pendientes, las laderas de estas comarcas han sido intensamente aprovechadas por la agricultura, con cultivos generalizados de viñedo, olivar, almendro, higueras y otros; lo que significó la roturación casi por completo de estas vertientes, así como la remoción de amplias áreas para la construcción de terrazas de cultivo.

De esta manera, fuertes pendientes, roturaciones y labores de cultivo se conjugan para impulsar procesos erosivos importantes, entre los que destacan los de origen hídrico.

Ello nos ha movido el interés de realizar un primer estudio de la erosión fluvial aplicando el análisis morfométrico de una subcuenca del río Vélez, la cuenca del río Almáchar, con 34 km<sup>2</sup> de superficie (los 610 km<sup>2</sup> que ocupan la cuenca del Vélez son difícilmente abordables en un estudio de este tipo), como primera aproximación. Además, otra razón de su elección, no menos importante, es que se trata de una de las cuencas con mayores riesgos de erosión de la zona oriental de la provincia (1). Finalmente, su relativa homogeneidad litológica posibilita conclusiones más generales a cerca del comportamiento erosivo de la cuenca.

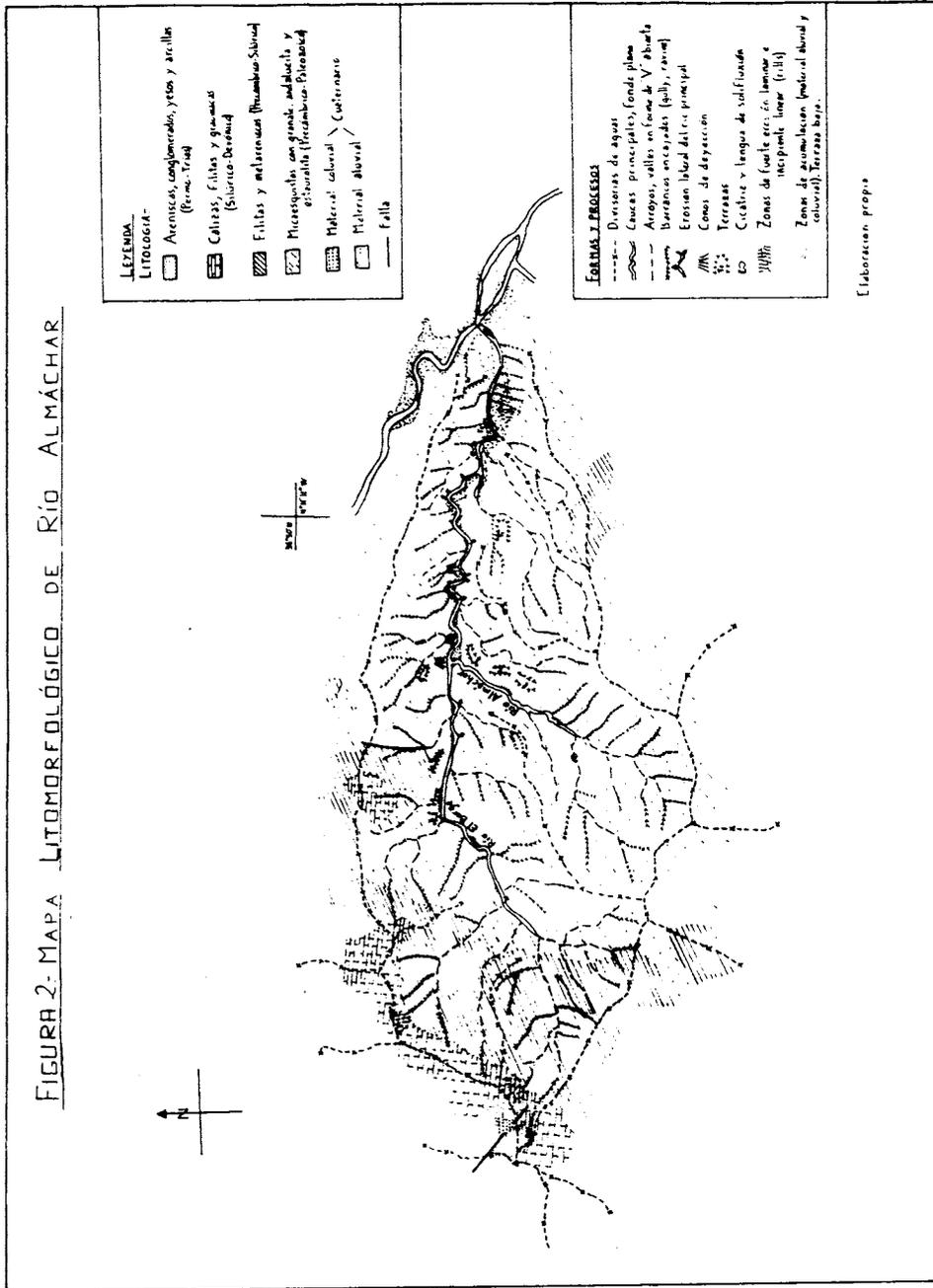
El río Almáchar, que se inscribe en la zona nororiental de los Montes de Málaga, tiene una cuenca de poco más de 34 km<sup>2</sup>, de los que casi la mitad pertenecen al río El Borge, principal tributario del anterior y con categoría casi similar (Figura 2).

Por ello, con frecuencia, nos referiremos a la cuenca del Almáchar-Borge para hacer referencia del área de estudio. Las principales corrientes que forman la cuenca son:

- *El río El Borge*. Ocupa 16'4 km<sup>2</sup>, tiene origen en el monte Santopitar, a 990 m., con un desnivel de 825 m. en 8'76 km. (desde 990 m. de altitud, en el Santopitar, a 165 m. en su confluencia con el Almáchar), o bien de 942 m. en 15'36 km. (990 a 48 m. en su confluencia con el Benamargosa), considerando este río como la principal corriente de la cuenca. Toma en general una dirección NNE. . Está formado, entre otros, por: arroyo de El Borge, por WSW.; arroyo de Córdoba, por el S.; arroyo de Luís, por el NW.; y arroyo de Charata, también por el NW, aguas poco más abajo. La forma de la red de este río es claramente dendrítica.

(1) Mapas Temáticos de la Excma. Diputación Provincial de Málaga.

FIGURA 2. MAPA LITOMORFOLÓGICO DE RÍO ALMÁCHAR



- *El río Almáchar*, propiamente dicho. Sin considerar el río El Borge y teniendo al Almáchar como principal corriente, ocupa 17'6 km<sup>2</sup>. Tiene origen en el monte Vallejo, a 560 m., con un desnivel de 395 m. en 5'13 km. (desde 560 m. de altitud en monte Vallejo, hasta 165 m. en su confluencia con El Borge), o bien, de 512 m. en 11'73 km. (560 a 48 m. en su confluencia con el Benamargosa), tomando en este caso al río Almáchar como principal corriente (2). Tiene una dirección, en general, NE., para tomar dirección E. hasta Benamargosa. Está formado por los arroyos Almáchar, por el SSW., y Villanueva, por el W.; y, tras su confluencia con el río El Borge, por los arroyos de Mataduras, por el WSW, y Capellanía, por el SW. . La forma de la red es, igualmente, dendrítica o subdendrítica.

Los Montes de Málaga presentan un relieve muy compartimentado, en el que predominan, por un lado, vertientes de forma convexa separadas por cauces con gran número de meandros encajados en estrechos valles. También es frecuente la existencia de cauces de corto recorrido y fuerte pendiente. En general, se trata de un territorio en el que se encaja una red fluvial mal jerarquizada, con importante acción erosiva a causa de las fuertes pendientes. Dicho territorio presenta unas alturas máximas en torno a los 1.000 m., en la zona central, y unos desniveles relativos que suelen rondar a menudo los 400-500 m.

Estructuralmente, los Montes de Málaga pertenecen a la serie de mantos de corrimiento de gran envergadura que conforman el Complejo Maláguide, que presenta dos conjuntos estratigráficos bien definidos:

- un zócalo inferior, compuesto por micasquistos, filitas, calizas alabeadas, grauwacas y conglomerados de edad paleozoica.

- una cobertera superior, mesozoica y paleógena, constituida por yesos, arcillas, areniscas, calizas y margas.

La cuenca del río Almáchar está inscrita, en más de sus tres cuartas partes, sobre los micasquistos del zócalo (Unidad de Benamocarra), altamente diaclasados por tectonización, que, en su superficie se alteran en forma de «astillas». Ambas características, diaclasamiento y «astillado», le dan a la litología de la cuenca un grado de cohesión medio e inciden en los índices de porosidad y permeabilidad. En la zona alta de la cuenca afloran filitas y metaareniscas, tectonizadas igualmente, que producen formaciones superficiales por alteración en forma de «lajas». Esta litología ofrece una porosidad alta y una permeabilidad de tipo medio, que junto a la baja cohesión interna dan lugar a un grado de erodibilidad alto.

(2) Si consideramos como río principal el que cita la cartografía, éste es el río Almáchar. Si lo consideramos desde el punto de vista de aquél que nace en el punto más alejado de la confluencia, así como en el punto más elevado de la cuenca, éste es el río El Borge.

Finalmente, en la divisoria de aguas, de la zona alta, aparecen pequeños afloramientos de calizas alabeadas, filitas y grauwacas. Las formaciones superficiales también tienen aspecto de lajas, pero la mayor cohesión interna de las calizas alabeadas hace que el grado de erodibilidad sea menor.

En cuanto a las circunstancias climáticas, la cuenca del río Almáchar se encuentra en una zona con precipitaciones medias anuales de 540 l., repartidos en 37 días de lluvia al año, lo que da un índice de torrencialidad de 14'5 l./día. Además, la probabilidad de que se produzcan precipitaciones superiores a 30 l. en 24 horas es alta (más de 50 veces en 10 años) e incluso los valores por encima de 100 l./24 horas se alcanzan al menos una vez cada diez años.

## **METODOLOGÍA**

El término de morfometría fluvial se refiere a la medida de las propiedades geométricas de la superficie sólida de un sistema de erosión fluvial (STRAHLER, 1.968) y el análisis morfométrico de una cuenca se aplica a medir la erosión de los cursos de agua interpretando las características geométricas (valores de longitud, superficie, etc.) de los elementos de las redes de drenaje.

El análisis morfométrico se lleva a cabo considerando la cuenca de drenaje como un sistema geométrico plano, esto es, en principio, no se considera el relieve; aunque, posteriormente, se tengan en cuenta algunos aspectos morfológicos, ya sean topográficos (pendientes) o estructurales (litología). En este sistema geométrico plano, al comienzo, se consideran las longitudes de los cauces (valor unidimensional) y, luego, las superficies de las cuencas (valor bidimensional). Al final, el análisis morfométrico de una cuenca de drenaje conduce a cuantificar los cambios en el paisaje fluvial y a definir el estadio de evolución en que se encuentra y, con ello, a valorar su estado erosivo.

Los estudios de morfometría fluvial son abordados por distintos autores desde mediados de siglo. Es HORTON, en 1.945, quien formula las primeras leyes sobre comportamientos fluviales; si bien no es el primero que aborda el tema. Éste es retomado y modificados los sistemas de análisis, especialmente en cuanto se refiere a las leyes de bifurcación de la red de drenaje, por autores como SHREVE (1.967), STRAHLER (1.968), o SCHEIDEGGER (1.968) y, posteriormente, tratado y ampliado por otra serie de investigadores, de entre los que destacamos a: MORISAWA (1.968), CHORLEY (1.969), GREGORY y WALLING (1.973), WEYMAN (1.975), DURY (1.981), KNIGHTON (1.984), o, ya en España, autores como ROMERO DÍAZ (1.985) y LÓPEZ BERMÚDEZ (1.983), entre otros.

En este estudio seguimos el método de STRAHLER (STRAHLER, 1.968), pero, además, utilizamos el modelo de FOURNIER (1.960) (3), que se aplica para determinar la degradación específica de la cuenca fluvial y que nos ha servido de complemento.

Se ha escogido la cuenca del río Almachar porque con sus 34 km<sup>2</sup> tiene el tamaño idóneo para aplicar el análisis de morfometría fluvial, ya que las áreas más convenientes para aplicar este método oscilan entre 10 y 100 km<sup>2</sup> (SALA, 1.983).

El sistema de análisis utilizado por STRAHLER sigue una serie de pautas que se describen a continuación:

- estudio de la jerarquización de los cauces.
- cálculo de la longitud de dichos cauces y de las respectivas relaciones de bifurcación que experimenta la red de drenaje.
- análisis similar referente a las áreas parciales de las subcuencas jerarquizadas que forman la cuenca estudiada.
- relación del área total de la cuenca con el caudal, para lo cual se estima el caudal medio de la cuenca.
- cálculo de las pendientes medias de los cauces, tanto longitudinales como transversales.
- cálculo de la densidad de drenaje, en cuanto que se considera que es uno de los factores principales de degradación de la cuenca.
- cálculo del «índice de frecuencia» y «coeficiente de torrencialidad».

De las numerosas fórmulas que se pueden utilizar en el análisis morfométrico fluvial, hemos seleccionado los más útiles, no sólo para la descripción del modelo fluvial que caracteriza a la cuenca del río Almachar, la definición del tipo de cuenca y su estadio de evolución, sino también para que las conclusiones obtenidas puedan ser comparadas con otras cuencas.

La escala de trabajo utilizada ha sido la de 1: 10.000, tanto en la representación de los elementos fluviales de la cuenca, como para el cálculo de las pendientes, análisis litológico, etc. Sin embargo, la fotografía aérea empleada, imprescindible para determinar la jerarquía de los cauces (sobre todo de primer orden) y determinar la red de drenaje,

(3) Hemos utilizado bibliografía de:

- FOURNIER, F., 1.960, en UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, *Análisis de los modelos matemáticos para la determinación de la Erosión Hídrica: Metodología para su utilización en áreas con esa problemática en España*. Dirección General del Medio Ambiente, Madrid, Octubre 1.984, pp. 37-38.
- ICONA, *La erosión de la cuenca (río Almanzora)*. Policopiado.

ha sido de escala aproximada 1:18.000; pero su traslado a 1:10.000 no ofrece mayores dificultades.

Los puntos fundamentales abordados en este estudio morfométrico de la cuenca del río Almáchar son:

- Tipología:
  - | Tipos de cuencas.
  - | Formas de los cauces.
  - | Tipos de lechos.
- Jerarquización de los cauces.
- Longitudes de los cauces.
- Areas de las subcuencas: Razón de elongación.
- Densidad, frecuencia y torrencialidad.
- Pendientes de los cauces y razón de relieve.
- Relaciones con el caudal.
- Estado erosivo: aportes de sedimentos y degradación específica.

### TIPOLOGÍA DE LOS CAUCES.

Utilizando la tipología de HOWARD (HOWARD, 1.967) (4), el río Almáchar presenta una red de tipo **dendrítico**, con pequeños casos de red subparalela o, incluso, paralela, en algún tributario de tercero o, a lo sumo, cuarto orden (5). Sin embargo, alrededor del monte Santopitar, en la cabecera del río El Borge, un conjunto de arroyos forman una red de tipo **radial**, típica de los elementos fluviales que drenan las laderas de cerros aislados que resaltan sobre el relieve circundante, como es el caso de Santopitar, que hace de divisoria de aguas.

También podría tipificarse el conjunto de la cuenca Almáchar-Borge como una red «en lengüeta» (LÓPEZ BERMÚDEZ y otros, 1.988).

Las redes de drenaje dendríticas son generales en materiales de tipo esquistoso (WAY, 1.973), en rocas ígneas bajo clima seco y en rocas sedimentarias bajo clima húmedo y estratos finos. En el caso de la cuenca que nos ocupa, el tipo de red dendrítica coincide con los micasquistos del zócalo.

Otro elemento a tener en cuenta es la forma de los cauces principales y aquí nos

(4) Esta tipología es seguida en muchos trabajos: GREGORY y WALLING (1.973), CHORLEY (1.969), van ZUIDAM (1.978), C.E.O.T.M.A. (1.984), ROMERO DÍAZ Y LÓPEZ BERMÚDEZ (1.988).

(5) Ver más adelante el significado de los órdenes de jerarquización.

referimos a la «sinuosidad», que es el desarrollo de meandros en el cauce principal de un río. Su cálculo se obtiene poniendo en relación la longitud de dicho cauce con la longitud máxima del valle que forma, medido en línea recta.

Pues bien, atendiendo a su sinuosidad, tenemos un cauce de tipo regular (sinuosidad media) en el caso del río El Borge, y un cauce irregular (sinuosidad media-alta), en el caso del río Almáchar, considerando éste hasta la confluencia con el río Benamargosa.

El valor de la sinuosidad, que forma en ocasiones meandros de gran radio de curvatura de tipo regular, se obtiene mediante la siguiente fórmula (SCHUMM, 1.963):

$$S = \frac{\text{longitud del canal}}{\text{longitud del valle (línea recta)}}$$

lo que sería, en el caso del río El Borge

$$S = \frac{15.360 \text{ m.}}{11.950 \text{ m.}}$$

ó de

$$S = \frac{11.710 \text{ m.}}{7.700 \text{ m.}}$$

en el caso del río Almáchar. Esto nos da unos valores de sinuosidad de **1'28**, en el primer caso, y **1'52** en el segundo, lo que nos muestra una mayor sinuosidad del río Almáchar sobre el río El Borge.

Atendiendo a la clasificación de SCHUMM, según el cuadro nº 1:

la definición para el Río El Borge es de: cauce de «**transición**», y para el río Almáchar: cauce «**regular**».

La mayor sinuosidad suele ser frecuente en cauces de poca pendiente, frente a una baja sinuosidad representativa de un cauce de mayor pendiente y, por ello,

**Cuadro nº 1.****Tipología según valor de sinuosidad.**

Valor de sinuosidad	Tipo de cauce
= 2'1	«Canal tortuoso»
1'7 - 2'1	«Canal irregular»
1'5 - 1'7	«Canal regular»
1'2 - 1'5	«Canal transicional»
1'0 - 1'2	«Canal recto»

con mayor fuerza erosiva. También se origina una alta sinuosidad cuando existe una red de fallas que modifica el trazado del cauce, aunque éste no es el caso; y también lo puede originar un sustrato rocoso muy resistente que condicione el trazado del cauce en función de pequeñas fracturas que puedan existir. En el caso que nos ocupa la diferente sinuosidad es debida a las pendientes, que inciden en la capacidad de erosión.

Otro factor que incide en el tipo de canal de drenaje es su litología. KNIGHTON (KNIGHTON, 1.984) hace un estudio de las características de los diferentes lechos que se producen según el sustrato por el que discurren (ver cuadro I en el Apéndice) y, atendiendo a las tipologías resultantes la cuenca del Almáchar-Borge presenta, principalmente, unos cauces de **lecho rocoso y lecho de cantos**, en la cuenca alta, y **lecho de grava** en la cuenca baja.

Ello significa que la cuenca experimenta procesos erosivos diferentes: en la zona alta dominan los procesos de excavado (con mayor intensidad en el río El Borge que en el río Almáchar), mientras que en la cuenca baja predominan los procesos de transporte de sedimentos; si bien los de tipo medio (gravas) son acumulados temporalmente hasta que la próxima avenida los acarree más abajo. No existen lechos arenosos, en los que predominan los procesos de acumulación, por tratarse de una cuenca tributaria de un río mayor, el río Vélez. La acumulación y el transporte temporal de los sedimentos de tipo medio nos indica la estacionalidad de los caudales de la cuenca.



## JERARQUIZACIÓN DE LOS CAUCES.

Siguiendo a STRAHLER (STRAHLER, 1.968), se ha procedido a establecer la jerarquía de los cauces de la cuenca, subdividiéndola en «segmentos de cauces» de diverso orden. Se entiende que un «segmento de cauce» es de primer orden cuando es uno de los extremos de la red que no recibe ningún cauce tributario. Se han considerado dentro de este orden los últimos cauces observables en fotogramas a 1:18.000 y que en el terreno tiene más de 150 cm. de anchura. Coinciden con lo que en terminología anglosajona se denominan «gullies» y son el resultado de la primera jerarquización de las aguas de escorrentía superficial que circulan en surcos con anchura generalmente inferior a 50 cm. («rills»).

Cada unión de un segmento de primer orden con otro de igual orden formará un segmento de segundo orden y cada unión de un segmento de orden «u» con otro de orden «u» formará un segmento de orden «u+1», pero no cambiará el orden del segmento si se le incorpora un segmento de orden inferior. A la proporción existente entre el número de segmentos de un orden dado y los del orden inmediato superior se la denomina **relación de bifurcación** (STRAHLER, 1.968), (también llamada razón de bifurcación), definible como:

$$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}}$$

Esta relación tiende a seguir una progresión geométrica: «El número de segmentos de órdenes sucesivamente inferiores de una cuenca dada tiende a formar una progresión geométrica que comienza con el único segmento de orden más elevado y crece según una relación constante de bifurcación» (HORTON, 1.945). Esto suele tener mayor certeza cuanto mayor sea la uniformidad del clima y litología de la región a estudiar.

Para comprobar la validez de las «Leyes de HORTON», se ha trazado la red hidrográfica de la cuenca sobre planos a escala 1:10.000, previa rectificación mediante fotogramas a escala 1:18.000 aprox. (Figura 3). Por las características de la red que estudiamos, queremos distinguir la cuenca Almáchar-Borge completa de las cuencas de los ríos Almáchar y El Borge por separado. Así, tenemos los siguientes cuadros de valores (cuadros nº 2 , 3 y 4):

**Cuadro nº 2.****Red del Almáchar-Borge**

ORDEN ( $u$ )	Nº de Segmentos ( $N_u$ )	$R_b$
1	3.345	5'31
2	630	4'57
3	138	4'31
4	32	6'4
5	5	2'5
6	2	2
7	1	
$\Sigma N_u = 4.153$		$R_b = 4'18$ D. tipo= 1'52

D. tipo= Desviación tipo.  $R_b$ = Relación de bifurcación.  
(Elaboración propia)

**Cuadro nº 3.****Red del Almáchar.**

ORDEN ( $u$ )	Nº de segmentos ( $N_u$ )	$R_b$
1	658	5'26
2	125	4'81
3	26	3'71
4	7	3'5
5	2	2
6	1	
$\Sigma N_u = 819$		$R_b = 3'856$ D. tipo= 1'14

D. tipo= Desviación tipo.  $R_b$ = Relación de bifurcación.  
(Elaboración propia)

**Cuadro n<sup>o</sup> 4.****Red del Almáchar-Borge.**

ORDEN ( $N_u$ )	N <sup>o</sup> de segmentos ( $N_u$ )	$R_b$
1	1.338	5'67
2	236	4'45
3	53	4'08
4	13	6'5
5	2	2
6	1	
$\Sigma N_u = 1.643$		$R_b = 4'54$
D. tipo= 1'54		

D. tipo= Desviación tipo.  $R_b$ = Relación de bifurcación.  
(Elaboración propia)

Como anteriormente se han observado diferentes formas en la tipología entre los cauces del río Almáchar y el río El Borge, así como también una posible mayor acción erosiva en las zonas más elevadas de la cuenca (drenadas en buena parte por tributarios del río El Borge), se ha optado por dividir la cuenca del río Almáchar, cuenca de 7<sup>o</sup> orden, en dos subcuencas: la del Almáchar, de 6<sup>o</sup> orden, antes de su confluencia con El Borge, y la de El Borge, de idéntico orden pero de mayor número de cauces, longitud, área, etc., como podemos ver en los cuadros. Por esta razón, se ha denominado durante todo este trabajo a la cuenca total como Almáchar-Borge (6), cuando en realidad, si atendemos a la razón de «cauce de mayor longitud» (LÓPEZ BERMÚDEZ y otros, 1.988), aduciendo razones hidráulicas, es el río El Borge el que mayor longitud presenta.

Pero además, esta división en dos subcuencas posibilita analizar la causa de la ligeramente deficitaria jerarquización que nos presenta la cuenca completa, ya que, si la razón de bifurcación es 4'18, al utilizar la fórmula de las leyes de HORTON

(6) Algo parecido apuntan G<sup>a</sup> ROSELL y VEGA DE PEDRO sobre los ríos Genil y Aguas Blancas al estudiar las corrientes de Sierra Nevada. Este mismo planteamiento podría considerarse en otros ríos de la cuenca del Vélez, como ocurre con los ríos Sabar y Guaro.

$$\Sigma N_u = \frac{R_b^k - 1}{R_b - 1}$$

$R_b^k$  = Relación de bifurcación elevada al número de órdenes

$R_b$  = Relación de bifurcación

$\Sigma N_u$  = Número total de segmentos,

en la cuenca del río Almáchar-Borge debería haber un número total de 7.011 cauces, frente a los **4.153** que existen realmente. Ello nos está indicando ciertas anomalías que se producen en los cauces de orden superior (en especial 5º orden), donde la relación de bifurcación es mucho mayor entre los cauces de 4º y 5º orden (existen pocos cauces de 5º orden), es decir, existe una jerarquización deficitaria, puesto que un corto número de cauces de orden superior permite la salida de las aguas procedentes de órdenes inferiores.

Al estudiar el río Almáchar por separado, su razón de bifurcación nos indica que deberían haber 1.151 cauces totales frente a los **819** existentes; diferencia relativamente corta que nos indica que es un río medianamente bien jerarquizado, lo que relacionamos con su gran homogeneidad litológica (micasquistos del zócalo). Mientras que en la subcuenca del río El Borge, debería haber 2.474 cauces, frente a los **1.643** existentes. Ello indica una menor jerarquización que relacionamos con la mayor variedad litológica de su cuenca.

Pero, sobre todo, el mayor déficit de jerarquización se presenta en tributarios de la parte baja de la cuenca del Almáchar-Borge, donde, según las Leyes de HORTON, debería haber 3.386 cauces, frente a los **1.691** existentes. Aquí es su menor pendiente la razón de la deficitaria existencia real de cauces, aunque esto es muy discutible (SALA y GAY, 1.981).

La mayor razón de bifurcación del río El Borge indica mayor intensidad potencial de los procesos de erosión lineal, que tenderán a equilibrar la razón de bifurcación y se manifestarán en la evolución de la red que progresivamente ensanchará su área de drenaje.

En el cuadro nº 5 y en la figura 4 se pueden comparar las relaciones de bifurcación de las dos subcuencas, y de dicha comparación se deduce que la causa de la relativamente deficitaria jerarquización de la cuenca conjunta del río Almáchar-Borge ha de ser buscada fundamentalmente en el río El Borge.

Cuadro N<sup>o</sup> 5.

## Relaciones de bifurcación comparadas.

Orden	R <sub>b</sub> del Almáchar-Borge	R <sub>b</sub> del Almáchar	R <sub>b</sub> de El Borge
1-2	5'31	5'26	5'67
2-3	4'57	4'81	4'45
3-4	4'31	3'71	4'08
4-5	6'4	3'5	6'5
5-6	2'5	2'0	2'0
6-7	2'0	—	—
R <sub>b</sub>	4'18	3'856	4'54

(Elaboración propia)

Así pues, volvemos a incidir en las diferencias apuntadas al hablar de la tipología de los cauces, donde se hacía referencia a que la mayor sinuosidad del cauce del río Almáchar nos estaba indicando un menor potencial erosivo. El río El Borge, por el contrario, presenta no sólo una menor sinuosidad, que indica unos mayores procesos erosivos, sino, además una mala jerarquización, lo cual apunta hacia una peor evolución. Se trata de un río, El Borge, cuyo potencial erosivo aún ha de efectuar más cambios en la red de drenaje, frente a otro, el Almáchar, más evolucionado y, posiblemente, más estable.

Los valores de bifurcación próximos a 2 nos indican una cuenca con escaso relieve; valores entre 3 y 5 corresponden a zonas de montaña sin demasiada dependencia de la estructura geológica; finalmente, valores superiores a 5, sobre todo a 10, nos indican una fuerte dependencia estructural, caracterizada generalmente por cuencas estrechas y alargadas (ROMERO DÍAZ y LÓPEZ BERMÚDEZ, 1.987). Así, podemos definir tanto la cuenca general como las dos subcuencas que conforman el Almáchar-Borge como **cuencas de montaña sin dependencia estructural**. Sin embargo, de las comparaciones establecidas en el cuadro nº 5 se observa que las razones de bifurcación entre los órdenes 1-2 y 4-5 de la cuenca total (Almáchar-Borge), así como de la cuenca del El Borge, sobrepasan los valores de 5, lo que indica una mayor dependencia estructural que se manifiesta en pendientes más pronunciadas en las cabeceras de las dos subcuencas y en la subcuenca del río El Borge, en particular. Mientras que las razones de bifurcación

entre los órdenes 5-6 y 6-7, en todas las cuencas, presentan valores muy bajos, lo que es indicativo de una disminución considerable de las pendientes. Estos valores bajos en las razones de bifurcación indican mayores riesgos de inundación por concentración rápida de aguas de escorrentía en las áreas drenadas por cauces poco bifurcados (SALA y GAY, 1.981), lo que ocurre en nuestro caso en las zonas drenadas por los cauces de orden superior (6-7) de la cuenca.

### LONGITUD DE LOS CAUCES.

La relación o razón de longitud, de manera similar a la razón de bifurcación, se define como la proporción existente entre la longitud media de los segmentos de un orden dado y la de los segmentos del orden inmediato inferior. La longitud media acumulada de segmentos de órdenes sucesivos tiende a formar una progresión geométrica según una relación de longitud constante.

Realizada la medición de cada uno de los segmentos de cauce que forman la cuenca, obtenemos sus respectivas longitudes medias y longitudes medias acumuladas (cuadro nº 6).

**Cuadro nº 6.**

**Razón de longitud.** (Valores en metros)

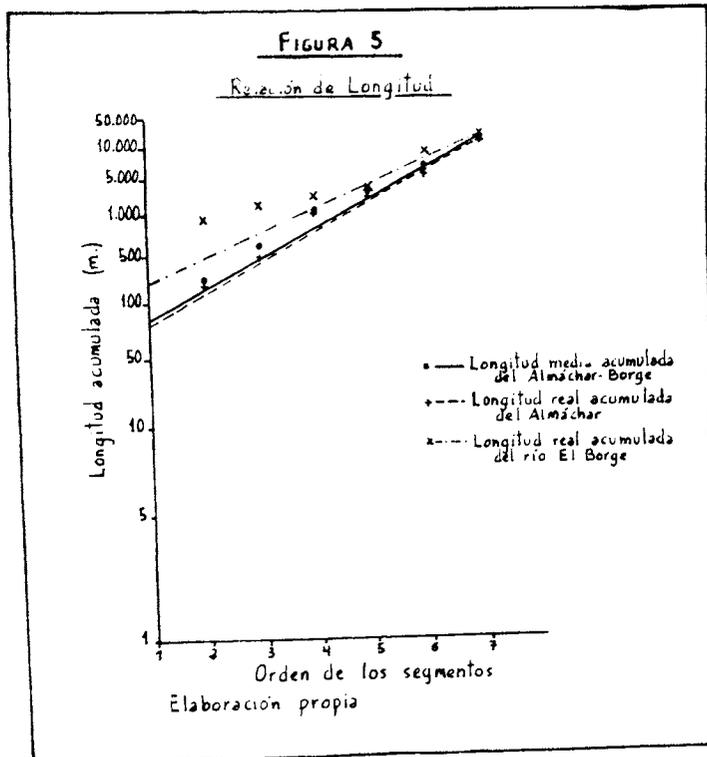
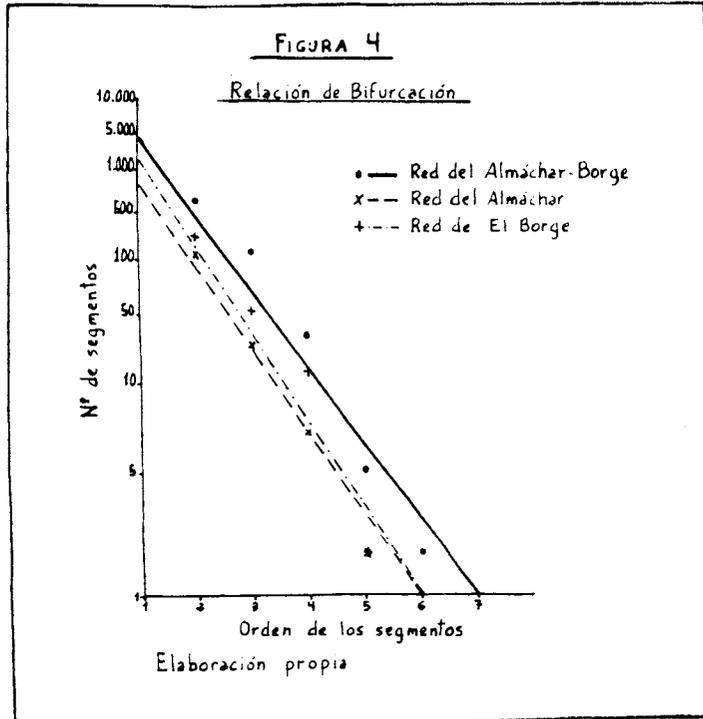
	Almáchar-Borge		Almáchar		El Borge	
ORDEN	L.MED.	LM.ACUM.	L.REAL	L.ACUM	L.REAL	L.ACUM.
1	84	84	80	80	200	200
2	161	245	110	190	760	960
3	357	602	300	490	700	1.600
4	757	1.359	520	1.010	600	2.200
5	1.400	2.759	1.400	2.410	1.150	3.350
6	4.025	6.784	2.700	5.110	5.350	8.700
7	6.600	13.384	L.REAL 7º ORDEN:		6.600 m.	
			ACUMULADA: 11.710 ó 15.360 m.			
	$R_1 = 2'1$ Dt.= 0'39		$R_1 = 2'15$ Dt.= 0'51		$R_1 = 2'23$ Dt.= 1'47	

(Elaboración propia)

$R_1$ = Relación de longitud; Dt.= Desviación tipo.

L.MED.= Longitud media. LM.ACUM.= Longitud media acumulada

L.REAL= Longitud real



La relación de longitud se halla haciendo la media de los valores resultantes de dividir la longitud de un cauce de orden  $u$  ( $L_u$ ) por otro de orden  $u-1$  ( $L_{u-1}$ ), es decir:

$$R_l = \frac{L_u}{L_{u-1}}$$

Las longitudes reales que detallamos tanto en el río Almáchar como en el Borge son pertenecientes a un sólo cauce, el de mayor longitud de cada orden (son longitudes absolutas y no longitudes medias como las expresadas para la cuenca Almáchar-Borge), lo que indica que sólo vemos la relación de longitud del cauce principal, no de la media de los cauces de toda la cuenca o subcuenca. En el caso de la cuenca total del Almáchar-Borge detallamos las longitudes medias de todos los cauces.

Ello nos sirve para comparar con la media de la cuenca. Si consideramos como cauce principal el del río El Borge, que tiene origen en el monte Santopitar (punto más alto y máxima longitud de la cuenca), su longitud es de **15.360 m.**; mientras que si consideramos el del río Almáchar, la longitud que presenta desde el nacimiento (7) es de **11.760 m.** . La longitud media acumulada de la cuenca del Almáchar-Borge es de **13.384 m.** . Ello nos indica una mayor longitud del cauce de El Borge, lo cual es observable también en todos sus tributarios; por el contrario, el cauce del río Almáchar presenta un longitud más corta, algo más próximo a la media de la cuenca.

En la figura 5 observamos la relación de longitud del cauce principal del río Almáchar, del cauce principal del río El Borge y de las longitudes medias de cada cauce de la cuenca del Almáchar-Borge mediante una gráfica semilogarítmica. En ella se confirma que la relación de longitud del río El Borge es superior a las que presentan el río Almáchar y la cuenca completa del Almáchar-Borge; por otra parte, los cauces de órdenes inferiores del río El Borge presentan unas longitudes superiores a la media de la cuenca y al río Almáchar, que tienen rectas similares en la gráfica.

En general, las mayores longitudes de los cauces del río El Borge son el resultado, nuevamente, de las mayores pendientes que han de salvar los arroyos procedentes de las inmediaciones del monte Santopitar, entre ellos el cauce principal de El Borge. Ello incide igualmente en su peor jerarquización y menor sinuosidad frente al río Almáchar, ya que los mayores desniveles y las largas laderas de aquél provocan cauces alargados,

(7) Hablamos de 'nacimiento' u origen para referirnos al punto de origen del cauce de primer orden más representativo, pues no podemos referirnos a acuífero principal del río, ya que en los escasos lugares donde existen están a nivel de cauces de 4º orden.

rectilíneos y mal jerarquizados, es decir, con menos cauces de órdenes superiores de lo que debería haber para una correcta jerarquización y por consiguiente altas relaciones de bifurcación.

### **RAZÓN DE SUPERFICIE.**

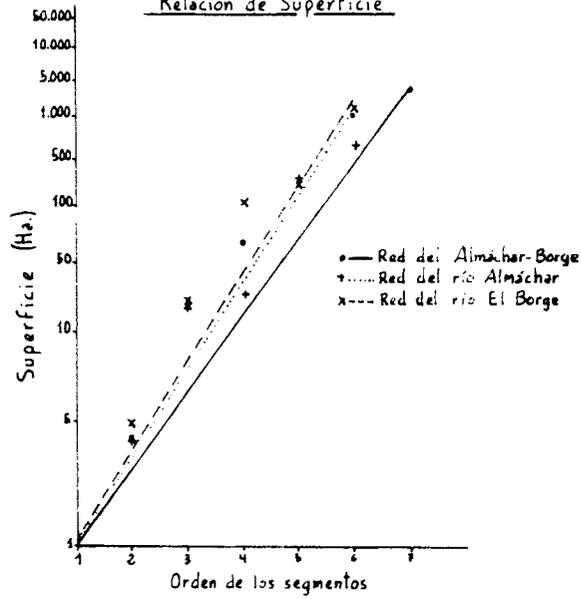
La superficie ocupada por los segmentos de cauce de cada orden presenta las mismas propiedades que la relación de longitud, es decir, el área media acumulada de segmentos de órdenes sucesivos tiende a formar una progresión geométrica según una relación de incremento de área constante. De esta forma, la relación de superficie se calcula mediante:

$$R_a = \frac{\bar{A}_u}{A_{u-1}} \quad R_a = \text{Relación de superficie}$$

Con objeto de comparar las áreas medias con los números de segmentos de cada orden, diferenciamos entre área media y área total de cada orden, con lo cual se puede estudiar la superficie que cubre cada orden con respecto a la cuenca. Igualmente, diferenciamos entre los valores medios que presentan las dos subcuencas principales para observar sus respectivas características. Los valores calculados quedan reflejados en el cuadro nº 7 y la figura 6.

**FIGURA 6**

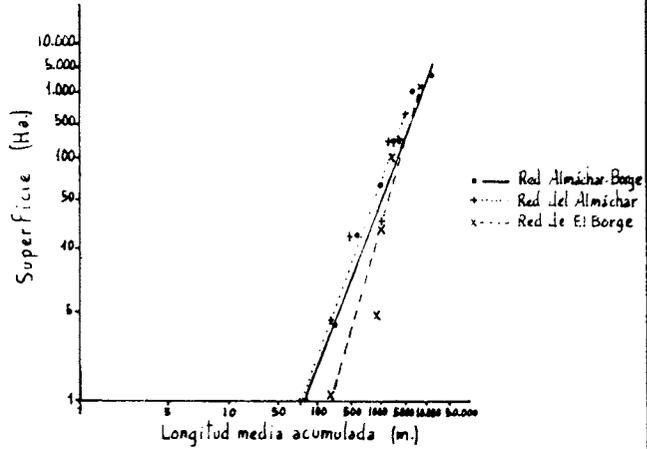
Relación de Superficie



Elaboración propia

**FIGURA 7**

Relación Superficie-Longitud Acumulada



Elaboración propia

**Cuadro n<sup>o</sup> 7.****Razón de superficie.** Valores en km<sup>2</sup>.

ORDEN	Red Almáchar-Borge			Red Almáchar	Red El Borge
	Area Media	A.TOTAL	R <sub>a</sub>	Area Media	Area Media
1	0'01	33'45	4'2	0'0097	0'012
2	0'042	26'46	4'05	0'043	0'049
3	0'17	23'46	3'88	0'16	0'2
4	0'66	21'12	3'48	0'25	1'04
5	2'3	11'5	5	2'39	2'26
6	11'5	23	2'96	6'55	16'46
7	34'076	34'08		34'076 km <sup>2</sup>	
	R <sub>a</sub> = 3'93 Dt.= 0'63			R <sub>a</sub> = 4'4 Dt.= 2'75	R <sub>a</sub> = 4'56 Dt.= 1'67

R<sub>a</sub> = Relación de superficie; Dt.= Desviación tipo.  
(Elaboración propia)

Es de destacar que el área total drenada por los segmentos de primer orden significa un 98'2% de la cuenca, mientras que el 1'8% restante de la superficie son los fondos de cauces y pequeñas áreas circundantes de los restantes órdenes: un 98% de las aguas recogidas en la cuenca son jerarquizadas a partir de los cauces de primer orden. Sin embargo, la jerarquización a nivel de cuencas mayores, es menor, de forma que tan sólo un 33'7% del área de estudio está jerarquizado en cuencas de 5<sup>o</sup> orden, con un 36'5% en el río Almáchar y sólo un 13'7% en El Borge. Con ello, se obtienen las siguientes conclusiones:

- Existe un alto número de cauces de primer orden que permiten un perfecto drenaje (quizá excesivo) del 98'2% de la cuenca.

- A nivel de áreas de órdenes mayores se hace clara una deficitaria jerarquización en cauces de 5<sup>o</sup> orden, siendo especialmente acusada la mala jerarquización del río El

Borge. Este mismo déficit se observa a nivel de 4º orden en la red del río Almáchar.

- El resto de las áreas de ambas subcuencas presentan unos valores similares a los generales de la cuenca. No obstante, ambas subcuencas tienen una relación de superficie superior a la media, lo que indica que la parte baja de la cuenca del Almáchar-Borge (no drenada ni por el Almáchar ni por El Borge, sino por los dos conjuntamente) presenta áreas, en general, más reducidas (lo que hace bajar la media).

- La existencia de unas superficies de mayor dimensión nos señala la mayor concentración en unos pocos cauces (un sólo cauce drena un gran área). Ello vuelve a indicar la mala jerarquización, marcada, especialmente, en el río El Borge, cuyos valores de relación de superficie son superiores. Por el contrario, atendiendo a esta observación, los cauces de la cuenca baja del Almáchar-Borge han de presentar una buena jerarquización y, con ello, una red más evolucionada, aunque, existen menos cauces de lo que debería haber. Todo ello nos indica que, sobre todo, el río El Borge presenta una red poco evolucionada, hecho que vuelve a ser destacado en el estudio de sus áreas medias.

También se han relacionado las áreas medias de cada orden de la cuenca con su respectiva longitud media acumulada, de forma que trazan también una línea, que representada en papel de tipo logarítmico se aproxima bastante a una recta. La mayor verticalidad de la recta nos indica una cuenca de longitud menor y amplia superficie; por el contrario, su menor verticalidad apunta hacia cuencas de tipo alargado, caracterizadas por largos y estrechos cauces (áreas cortas).

En el caso que nos ocupa, mientras la red general del Almáchar-Borge y el río Almáchar en concreto, muestran un comportamiento similar en la gráfica (figura 7). Sin embargo, la red del río El Borge presenta un relativo acortamiento de los cauces de órdenes mayores respecto a las otras cuencas, mientras que, por el contrario, los cauces de órdenes inferiores son de mayor longitud, pese a tener áreas similares. Ello vuelve a indicar fuertes procesos erosivos en las áreas de órdenes menores de la cuenca del río El Borge.

En relación con la forma de la cuenca, es de gran interés el cálculo de la **razón de elongación** o factor de forma, consistente en «...la razón entre el diámetro de un círculo con la misma área que la de la cuenca y la longitud del cauce principal de la misma. Cuanto más se acerca la razón al valor 1, más se aproxima la forma de la cuenca al círculo..., cuanto mayor sea el valor hallado en esta relación, menos elongada será la cuenca» (SALA y GAY, 1.981).

Es frecuente que las cuencas más elongadas se desarrollen sobre una litología más impermeable; por otra parte, las cuencas menos elongadas (más circulares) presentan

mayores riesgos de súbitas crecidas e inundaciones, pues retardan el aporte de las precipitaciones al cauce principal (SALA y GAY, 1.981).

También existe relación entre la razón de elongación y razón de bifurcación, de forma que, como hemos señalado antes, las cuencas con peor jerarquización suelen presentar unas áreas mayores en un corto número de cauces.

La razón de elongación se calcula más directamente mediante la fórmula

$$R_e = \frac{1'129A^{0'5}}{L}$$

donde A es el área y L la longitud del cauce principal.

Aplicado directamente sobre la cuenca del río Almáchar, la relación de elongación, con un área de 34 km<sup>2</sup> y una longitud del cauce principal de 15'360 km. (si consideramos el cauce del río El Borge) o de 11'710 (con el río Almáchar), da unos valores de **0'43**, para el primer caso, y **0'56** considerando el segundo caso, lo que, en ambos casos, significa unos altos valores de elongación, es decir, valores lejanos a 1 ó circularidad total.

Así que, según lo antes apuntado, las crecidas del río Almáchar-Borge vendrán en directa relación con las precipitaciones, de forma que los cauces de distinto orden incorporan su caudal a los órdenes superiores en tiempos diferentes, sin que lleguen todos los caudales a la vez, de forma súbita, al cauce de orden superior, lo que significa un menor riesgo de crecidas bruscas, salvo en casos de aguaceros generalizados de gran intensidad. Ello insiste en lo apuntado al final del apartado de relación de bifurcación, donde indicábamos cómo, ante las relaciones de bifurcación existentes en la cuenca, sólo las áreas con bajas relaciones de bifurcación (cauces de 6<sup>o</sup> orden) presentan riesgos de inundación por rápida concentración de la escorrentía.

### **DENSIDAD DE DRENAJE.**

La densidad de drenaje se puede medir mediante la fórmula (STRAHLER, 1.968):

$$D = \frac{\sum L_k}{A_k}$$

D = densidad de drenaje expresada en Km<sup>2</sup>,

$\sum L_k$  = suma de la longitud total de los cauces de todos los órdenes

$A_k$  = área total de la cuenca.

Esta fórmula nos puede dar valores entre 0 y 500. El resultado estará referido a kilómetros de cauces por km<sup>2</sup>. Los valores inferiores a 10 nos indicarán una baja densidad de drenaje y una textura grosera, lo que se suele dar en zonas de gran masividad litológica y espesa cobertura vegetal, así como en materiales muy permeables y con alta infiltración. Hasta 16 nos indica una densidad de drenaje media y textura media, típica de zonas erosionables y con una cobertura vegetal de bosque poco denso. Sobre 30 y 40 nos puede estar indicando una alta densidad de drenaje o textura fina, lo que suele aparecer en zonas de débiles estratos erosionables, con débil cobertura vegetal. Finalmente, zonas de cárcavas, muy erosionables y sin cobertura vegetal, nos pueden llegar a mostrar valores de entre 200 y 500 km/km<sup>2</sup>, o incluso más, lo que se denomina como textura ultra-fina.

GREGORY y WALLING (GREGORY y WALLING, 1.973), en cambio, apuntan las mismas denominaciones, si bien, los valores se establecen en: menor de 3'1 km/km<sup>2</sup>, textura gruesa; de 3'1 a 8'5, textura media; de 8'5 a 96'5, fina; y, mayor de 96'5, ultra-fina, lo que varía sustancialmente. Otras fuentes (LÓPEZ BERMÚDEZ y otros, 1.988), establecen la gradación:

#### Cuadro nº 8.

##### Relación densidad-clima-vegetación-textura

Dd.	Suelo/Permeabilidad	Clima	Vegetación	Textura
< 8	Permeable	Húmedo	Abundante	Gruesa
8-20	Permeable	Lluvioso	Buena	Media
20-200	Impermeable	Poca lluvia	Escasa	Fina
> 200	Impermeable débil	Poca lluvia	Escasa	Ultra-fina

(Dd. = Densidad de Drenaje).

Hay claras discrepancias en las cuales no entramos.

Existe una gran correlación entre cobertura vegetal y densidad de drenaje (KIRKBY 1.969), de forma que las áreas más desprotegidas de vegetación suelen presentar las mayores densidades de drenaje. Además, este factor es interdependiente con las precipitaciones; éstas provocan una mayor densidad de drenaje en climas semiáridos, donde la torrencialidad es mayor, decreciendo esta densidad en climas secos y húmedos a causa de la reducida escorrentía en los primeros y la cobertura vegetal en los segundos (KNIGHTON, 1.984). Sin embargo, esta densidad de drenaje vuelve nuevamente a aumentar en los climas templado-húmedos y tropicales húmedos en que se supere los 1.500 mm./año, puesto que, en estos casos, un aumento de las precipitaciones no va a ser seguido por un aumento de la vegetación. Los climas con una estacionalidad de

las precipitaciones más marcada y, con ello, una mayor intensidad de las precipitaciones que se registran a lo largo del año, producen igualmente una mayor densidad de drenaje.

En el caso que nos ocupa, la red del río Almáchar-Borge, los valores de longitud total de los cauces nos indican un total de **477'55 km.**, lo que, dividido por los 34'076 km<sup>2</sup> de área de la cuenca, nos da un valor de **14'01 km de cauce por km<sup>2</sup>**. Esto nos muestra una densidad de drenaje media, o lo que es lo mismo, una textura media; si bien GREGORY y WALLING, como ya citamos, clasificarían esta textura como fina. Ello se produce, según creemos, tanto por la pendiente como por el predominio de litología de tipo impermeable en la cuenca. La cobertura vegetal, casi siempre es inferior al 50%, especialmente cuando en otoño-invierno, que es la estación lluviosa, los viñedos y almendros carecen de hojas y apenas llegan a cubrir con sus troncos un 10% del suelo.

Para el análisis de la densidad de drenaje es necesario el uso de fotografías aéreas, además del empleo de una escala adecuada, tanto en fotogramas como en cartografía. Existen grandes diferencias según se apliquen fotografías aéreas o simplemente mapas. GREGORY (8) señala diferencias de más de 2 puntos en la densidad en algunos estudios; las fotografías aéreas, más precisas, señalan una mayor densidad al detallar mayor longitud en los cauces trazados en los planos, además de cauces no visibles en los mapas a causa de su escasa incisión en el relieve. Por otra parte, este mismo autor señala que la escala utilizada tanto en mapas como en fotografías aéreas nos da unas frecuencias de drenaje (número de cauces por km<sup>2</sup>) también distintas; en escalas de menor detalle habrá un número mucho menor de cauces, con lo que la frecuencia será también menor.

La exactitud, pues, no está siempre presente en este sistema de análisis, dependiendo en gran medida de la escala utilizada (así como también de la agudeza visual). Consideramos, pues, la necesidad del empleo de escalas de gran detalle en los planos (1: 10.000) y en fotografías aéreas (1: 18.000, al menos).

Hemos de insistir mucho en este punto, ya que un buen número de publicaciones españolas sobre el tema nos aportan unos valores muy inferiores. En el cuadro nº 9 se exponen algunos de estos estudios sobre densidad de drenaje (Dd) con sus respectivos autores:

Se aprecia que, la mayoría de los valores son inferiores al valor obtenido para la cuenca del río Almáchar. Tan sólo alguno de los valores obtenido por SALA en la Riera de Fuirosos (Cataluña), con 25 km/km<sup>2</sup> y el Proyecto LUCDEME en las parcelas 55, 64

(8) GREGORY, K.J. y WALLING, D.E., 1.973, op. cit., pp. 45-49.

## Cuadro nº 9.

Algunas densidades de drenaje en España (Km/Km<sup>2</sup>)

Cuenca	Autor	Valores Dd
Alto Guadalquivir	ROMERO DÍAZ y LÓPEZ BERMÚDEZ	1'17- 2'55
Alto Guadalentín	LÓPEZ BERMÚDEZ y otros	1'77- 3'36
Arroyos del Tajo	TELLO RIPA	1'06- 1'78
Alto Vinalopó	MATARREDONA COLL	2'30- 3'26
Sierra Nevada	G <sup>a</sup> ROSSELL y VEGA DE PEDRO	2'20- 10'0
Riera de Fuirosos	SALA	0'59- 25'0
Río Tordera	SALA	0'54- 1'48
Río Isábena	SALA y GAY	0'67- 1'02
Varias Mediterr.	Proyecto LUCDEME	0'28- 17'1

(Dd= Densidad de drenaje)

y 90 (río Andarax, Campo de Tabernas y Albox, respectivamente) con valores entre 14'3 y 17'1 km/km<sup>2</sup>, son próximos o ligeramente superiores. No tenemos constancia de valores cercanos o superiores a 100 obtenidos en España.

Así, si comparamos con el amplio número de parcelas estudiadas en el S.E. español (ICONA, Proyecto LUCDEME, 1.982) e incluimos la cuenca del Almáchar, ésta se sitúa dentro de las parcelas con densidades de drenajes más altas, lo cual nos está indicando unos fuertes procesos erosivos.

Como dijimos más arriba, existe una clara dependencia de la densidad de drenaje, no sólo con la litología, sino también con el clima. Existe una relación inversa entre la densidad de drenaje y el índice P-E de THORNTHWAITE (índice de «precipitación efectiva») (9).

Mediante este sistema obtenemos un valor de **559'4 mm.** como precipitación efectiva de la cuenca a una altitud de 357 m., lo que nos define el área dentro de un clima semiárido.

(9) Su cálculo se obtiene mediante:

$$P-E = 11'5 \Sigma_{12} \left[ \frac{P}{T-10} \right] 1'11$$

siendo P la precipitación mensual en cm., y T la temperatura media mensual en °C.

Este valor, por sí sólo, no indica nada práctico a la hora del análisis de morfometría fluvial; sin embargo, es posible compararlo con otras densidades de drenaje e índices P-E de la zona (cuena del Vélez), con lo cual podemos obtener, según señalan GREGORY y WALLING, correlaciones muy altas entre densidad de drenaje e índice P-E (precipitación efectiva), representables en un papel logarítmico; es decir, existe una relación exponencial inversa entre densidad de drenaje y precipitación efectiva.

Así pues, conociendo las precipitaciones y temperaturas de una zona dada, al calcular los respectivos índices de precipitación efectiva, los mayores valores se deben corresponder con las densidades de drenaje más bajas de la zona, y viceversa, de forma que una zona con una alta densidad de drenaje, esto es, con existencia de fuertes procesos erosivos, debe presentar un bajo índice de precipitación efectiva (P-E).

### **FRECUENCIA DE DRENAJE.**

Es la relación existente entre el número de cauces y el área de la cuena. Se expresa en número de cauces por kilómetro cuadrado. En la cuena del Almáchar-Borge, con 4.153 cauces y 34'076 km<sup>2</sup> de extensión, ésta es de **121'87 cauces/km<sup>2</sup>**. Tal valor es muy superior a otros estudios consultados, como es el caso del ya citado, de G<sup>a</sup> ROSSELL y VEGA DE PEDRO en ríos de Sierra Nevada. En tal estudio los valores de índices de frecuencia son parecidos a la densidad de drenaje obtenida en el río Almáchar (índices de 5'8 a 28'2). Otro tanto ocurre con los valores que en el proyecto LUCDEME se calculan para la cuena del río Guadalentín (LÓPEZ BERMÚDEZ y otros, 1.988) y para el río Adra (ICONA, 1.986), aportando valores máximos de frecuencia de 9'8 y 12'9, respectivamente. Consideramos la posibilidad de que tal diferencia se base en dos probables argumentos:

- a) Diferencia de escala en los mapas utilizados (con lo cual existe un mayor número de cauces en nuestro caso).
- b) Mayor vulnerabilidad a la erosión lineal en la litología del río Almáchar-Borge.

También es posible considerar la frecuencia de drenaje sólo como el número de cauces de primer orden dividido por el área. No obstante, el resultado sigue siendo muy elevado para la cuena del río Almáchar-Borge (98'16 cauces por Km<sup>2</sup>).

El producto del índice de frecuencia de los cauces de primer orden por la densidad de drenaje, nos da la «intensidad de drenaje» (FANIRAN, 1.969), que nos puede mostrar el grado de torrencialidad de la cuena frente a la intensidad de las precipitaciones de un área dada (también se llama «coeficiente de torrencialidad»). Este cálculo se realiza considerando sólo los cauces de primer orden, de forma que la fórmula es:

$Id = Dd \cdot If_1$  ( $Id$  = Intensidad de Drenaje;  $Dd$  = Densidad de Drenaje;  $If_1$  = índice de frecuencia de los cauces de primer orden).

Así, en nuestro caso, tenemos una intensidad de drenaje de **1.375'2**, excesiva para lo usual en los trabajos consultados (cuyos valores no son superiores a 21). Ello nos hace pensar en la posibilidad de que el coeficiente de torrencialidad carece de valor para la cuenca del río Almáchar-Borge, dado que la torrencialidad de nuestro área de estudio sólo alcanza altos valores en la cuenca alta del río Vélez, lejos del río Almáchar.

### **PENDIENTES LONGITUDINALES DE LOS CAUCES DE LA CUENCA.**

Otro análisis imprescindible en la morfometría fluvial es el de la pendiente del perfil longitudinal del río. Hallada la pendiente de cada cauce, en tanto por ciento y expuesta de forma inversa ( $1\% = 0'01$ ;  $10\% = 0'1$ ;  $100\% = 1...$ ), se relacionan con sus respectivos números de orden de acuerdo con la Ley de los Gradientes de HORTON, la cual indica que «los gradientes medios de segmentos de cauce de órdenes cada vez más elevados tienden a formar, en una misma cuenca, una progresión geométrica inversa que decrece de acuerdo con una relación de gradiente constante» (STRAHLER, 1.968).

Los valores más típicos, de la relación de gradiente ( $R_s$ ) suelen oscilar entre 0'3 y 0'6, de forma que en la cuenca del río Almáchar-Borge el valor de la relación de gradiente es **0'557** (figura 8), obtenido de las pendientes medias de cada orden:

#### **Cuadro nº 10.**

##### **Relación de gradiente de la cuenca.**

<u>Orden</u>	<u>Pendiente</u>	<u><math>R_s</math></u>
1	0'596	
2	0'42	0'7
3	0'199	0'47
4	0'103	0'52
5	0'0678	0'66
6	0'0316	0'47
7	0'0165	0'52
$R_s$		0'557

(Elaboración propia)

$R_s$  = Relación de Gradiente.

La comparación de las pendientes medias de la cuenca con la pendiente real del cauce principal (desde el nacimiento del río El Borge), nos revela unos cauces de primer, segundo y tercer orden muy alargados en la cabecera de éste, frente a las longitudes medias de estos órdenes en el resto de la cuenca. Por otra parte, los desniveles también son mayores en el río El Borge que en el resto de la cuenca.

Ello nos indica que la cuenca presenta unos valores medios de gradiente que es el resultado de las pendientes medias de todos los cauces, pero hay que tener en cuenta que los cauces procedentes de las partes más elevadas de la cuenca (en general, cabecera del río el Borge) presentan unos gradientes mucho más elevados (0'656 es la media del río El Borge), característicos de torrenteras.

Al igual que en los anteriores análisis, éste también puede ser representado en un papel semilogarítmico al relacionarse la pendiente media con su respectivo orden de cauce, resultando, en este caso, una recta correspondiente a una función exponencial negativa. Si observamos la recta resultante de los valores del río Almáchar (figura 9) vemos como los cauces de primer orden se desvían bastante; esto se debe, según creemos, a que, dado que este orden se desarrolla, generalmente, en partes altas de las laderas, sus pendientes son algo menores de lo que cabría esperar, puesto que las laderas de la cuenca son de tipo convexo (forma general de las laderas de litología «pizarrosa») y presentan sus mayores pendientes en las zonas medias. No obstante, los cauces de primer orden son los que mayores pendientes presentan.

En general, se trata de una cuenca cuyos cauces siguen la misma estructura de las laderas, es decir, sus perfiles son también convexos. Por otra parte, si los valores medios, como hemos apuntado, suelen oscilar entre 0'3 y 0'6, la cuenca del Almáchar-Borge presenta una elevada relación de gradiente, 0'557, aunque dentro de estos márgenes.

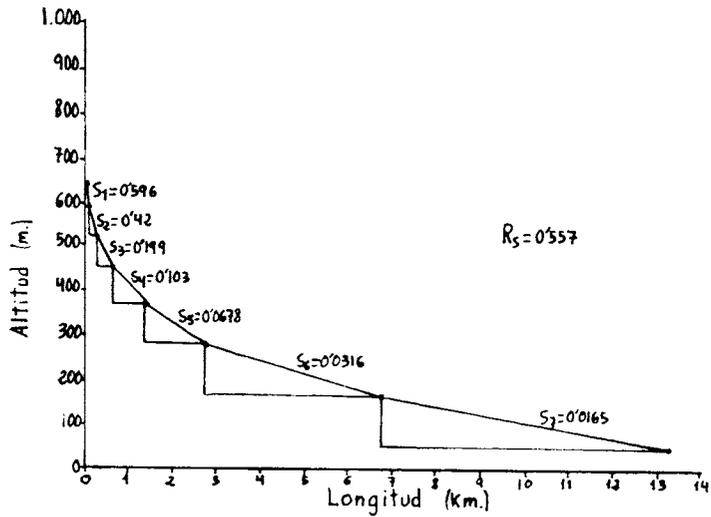
No obstante, se ha de tener en cuenta que estos valores medios se obtienen de valores absolutos entre 0'1, en las partes más bajas de la cuenca, y superiores a 1, en las torrenteras cercanas al monte Santopitar. Creemos que en zonas de relieve más escarpado que el de la cuenca del Almáchar-Borge (por ejemplo, en la Sierra Almirajara), estas relaciones de gradiente pueden ser muy superiores.

### **RAZÓN DE RELIEVE.**

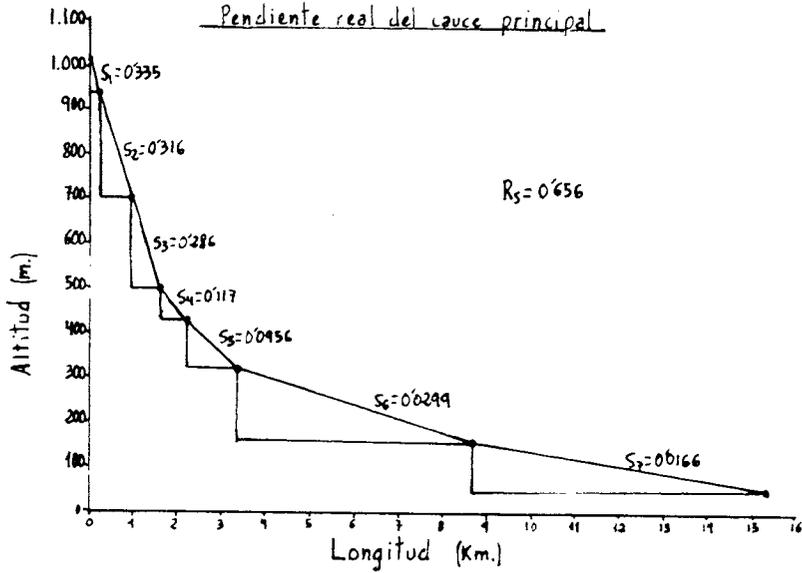
La relación entre el desnivel de la cuenca con la longitud máxima de la misma es la **razón de relieve**, la cual, a su vez, se puede relacionar con la densidad de drenaje. La importancia de la razón de relieve (desnivel máximo de la cuenca dividido por longitud máxima) radica en que tiene una relación directa con la pérdida anual de sedimento (SALA y GAY, 1.981).

**FIGURA 8**

Pendientes medias Almáchar-Berge



Pendiente real del cauce principal



Elaboración propia

Teniendo en cuenta que, en el caso del río Almáchar-Borge, el desnivel máximo de la cuenca es de **969** m. (entre los 1.017 m. de la «Estación de Radio» de Santopitar y los 48 m. de la confluencia con el río Benamargosa), y que es precisamente entre ambos puntos donde se encuentra la distancia máxima en línea recta, **11'95** km., la razón de relieve es de **0'081**, ( $969 / 11.950$ ), esto es, un 8'1% de pendiente considerado desde el monte Santopitar hasta la confluencia con el río Benamargosa, valor considerable que incide en la alta densidad de drenaje que presenta la cuenca (10).

Un incremento de la razón de relieve produce un incremento de la pérdida anual de sedimento. Este factor es posible compararlo con otras cuencas para determinar si la pérdida de suelo es alta o baja. Areas como las de los ríos procedentes de la Sierra de Almirajara, con fuertes pendientes de cauces y cortos recorridos han de tener mayores pérdidas de suelo, debido a sus razones de relieve superiores a la de la cuenca del río Almáchar-Borge.

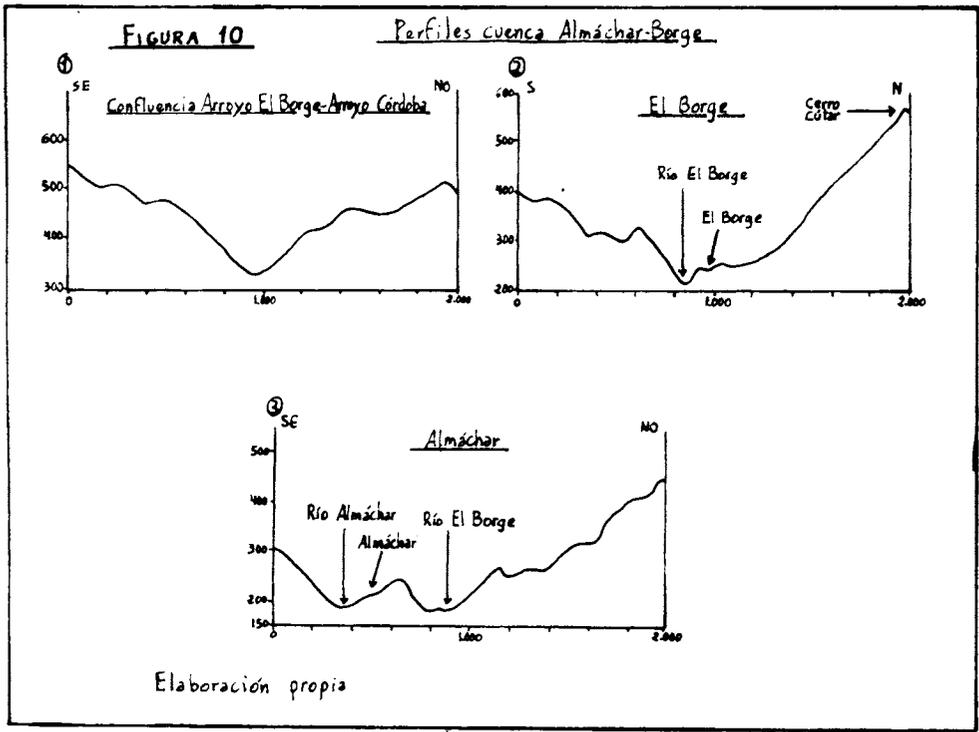
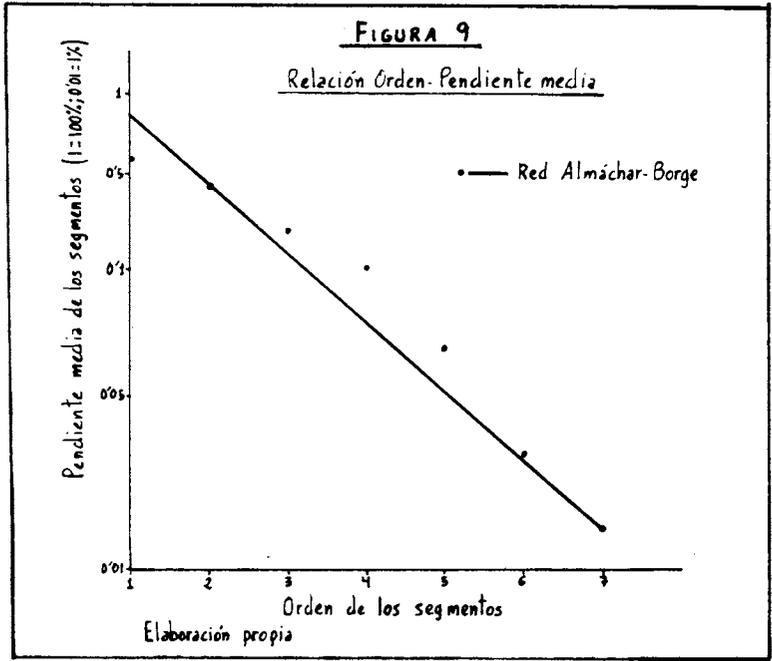
Otra fórmula que calcula la relación de relieve es la de MELTON (MELTON, 1.957), atendiendo al desnivel absoluto de la cuenca y al perímetro de la misma, en lugar de a la distancia máxima. Según ésta, la cuenca del río Almáchar, con un perímetro de **28 km.**, su razón de relieve es de **0'0346**.

Podemos considerar que con la primera fórmula, propuesta por SCHUMM en 1.956, se obtiene la pendiente máxima de la cuenca, mientras que con la segunda, propuesta por MELTON, se obtiene la pendiente media. Estos valores tienen utilidad por ser comparables con otras cuencas del entorno y sus respectivas pérdidas de suelo, con lo cual se puede estimar el efecto erosivo que introduce la razón de relieve en diferentes cuencas con características similares.

Se han obtenido, además otros parámetros interesantes con relación al relieve. Éstos son:

- Coeficiente de masividad de MARTONNE, consistente en dividir la altura media de la cuenca por la superficie de la misma, lo cual, en nuestro caso, es:  
 $357 \text{ m.} / 34'076 \text{ km}^2 = \mathbf{10'5}$ .

(10) Existen discrepancias al considerar si la relación entre densidad de drenaje y razón de relieve ha de ser inversa o directa. Según SALA y GAY, esta relación es inversa, es decir, a mayor razón de relieve la densidad ha de ser menor. No entramos en esta discusión.



- Coeficiente orográfico de MARTONNE, complementario del anterior y consistente en multiplicar la altura media de la cuenca por el coeficiente de masividad. En nuestro caso:

$$357 \text{ m.} \times 10'5 = \mathbf{3.748'5}$$

- Número de rugosidad, de STRAHLER, resultado de multiplicar el desnivel absoluto de la cuenca por su densidad de drenaje. El valor obtenido en la cuenca del Almáchar-Borge es:

$$969 \text{ m.} \times 14'01 = \mathbf{13.575'7}$$

Todo ello tiene utilidad, principalmente, a la hora de dar una definición cuantitativa de aspectos del relieve como la textura general (número de rugosidad) o las diferencias orográficas (coeficiente de masividad y orográfico); pero del mismo modo que la razón de relieve, carecen de valor si no se comparan con otros resultados de áreas cercanas.

Con relación a las pendientes medias de las laderas de la cuenca, el valor medio para el área de estudio es del 61'4% (27'63°). Resulta de gran complicación el estudio detallado de las pendientes de cada uno de los valles, lo cual sería relacionable con los valores de las pendientes medias de los cauces de cada orden y expresable en una gráfica logarítmica. Sin embargo, sí parece importante la observación de la gráfica resultante de las pendientes medias de los cauces de la cuenca del río Almáchar-Borge (figuras 8 y 9), así como también algunos perfiles transversales de los valles (figuras 10 y 11).

### **ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA EN EL RÍO ALMÁCHAR.**

Uno de los objetivos de este trabajo es llegar a estimar el caudal de una cuenca de drenaje sin datos foronómicos mediante la relación existente entre distintos parámetros obtenidos a través de su análisis morfométrico. Para ello, en primer lugar, se han analizado las relaciones existentes entre las superficies y los caudales reales de cuencas vecinas a la estudiada y que sí tienen estaciones de aforo (11).

Al aplicar el coeficiente de correlación de Pearson se ha obtenido una correlación lineal positiva de 0'97 entre el área y el caudal de cada cuenca; lo que significa que existe una estrecha relación entre las superficies de las cuencas y su caudal. Por lo tanto, basándonos en esta correlación, para una cuenca de 34 km<sup>2</sup> como es la del río Almáchar, tendremos un caudal medio de **0'199 m<sup>3</sup>/s.** y un volumen anual de **6'2 Hm<sup>3</sup>.**

(11) Los aforos se refieren a los ríos: Benamargosa, Guaro, Salia, Robite, Sabar y Almáchar; los datos provienen de la Confederación Hidrográfica del Sur de España. (Cuadro nº 11).

**Cuadro nº 11.****Datos de Caudales de la cuenca del río Vélez.**

RIOS	AREA (km <sup>2</sup> )	VOL. ANUAL (Hm <sup>3</sup> /año)	VOL. MES (Hm <sup>3</sup> /mes)	CAUDAL (M <sup>3</sup> /s)
Benamargosa	182	28'13	2'37	0'897
Guaro	119	24'56	2'05	0'782
Salía	67	11'04	0'92	0'352
Robite	47	7'42	0'62	0'236
Sabar	39	6'26	0'52	0'203
Almachares	12	2'78	0'23	0'089

(Elaboración propia).

Sin embargo, si representamos la relación área-caudal en papel logarítmico (x = superficie, y = caudal) (STRAHLER, 1.968), en la recta de regresión positiva el río Almachar, con 34 km<sup>2</sup> de superficie de cuenca, se situaría en un punto equivalente a 0'175 m<sup>3</sup>/s de caudal medio y un volumen anual de 5'5 Hm<sup>3</sup> (figura 12).

Para considerar la fidelidad de la correlación área-caudal observada más arriba se han aplicado fórmulas directas para calcular el caudal. De entre ellas se ha escogido la de STRAHLER (STRAHLER, 1.968):

$$Q = aA^b,$$

donde:

Q = caudal medio,

A = área de la cuenca,

a = constante (12), y

b = exponente, normalmente próximo a 1.

(12) El valor de 'a' ha sido estimado a partir de la recta de regresión en papel logarítmico de los caudales de los ríos vecinos con estaciones de aforo y ha dado un valor de 0'00565, equivalente a 5'65 l/s.

Por este procedimiento se ha obtenido un caudal medio de 0'192 m<sup>3</sup>/s. para el río Almáchar, valor cercano al obtenido mediante el coeficiente de correlación de Pearson (0'199 m<sup>3</sup>/s.), pero bastante superior al obtenido mediante la representación logarítmica de la regresión.

MAC MATH (13) propone otra fórmula para calcular el caudal producido por una precipitación dada:

$$Q = K \cdot P \cdot A^{0'58} \cdot i^{0'42}$$

donde:

- Q = caudal estimado en litros por segundo,
- K = índice que varía según el período de retorno de la precipitación
- P: 0'43 para 50 años, 0'22 para 10 años, 0'11 para 5 años y, según hemos estimado, 0'02 para una precipitación de una o pocas veces al año;
- P = precipitación para la cual estimamos el caudal de avenida;
- A = superficie de la cuenca en Ha., e
- i = pendiente del cauce principal del río calculada en ‰

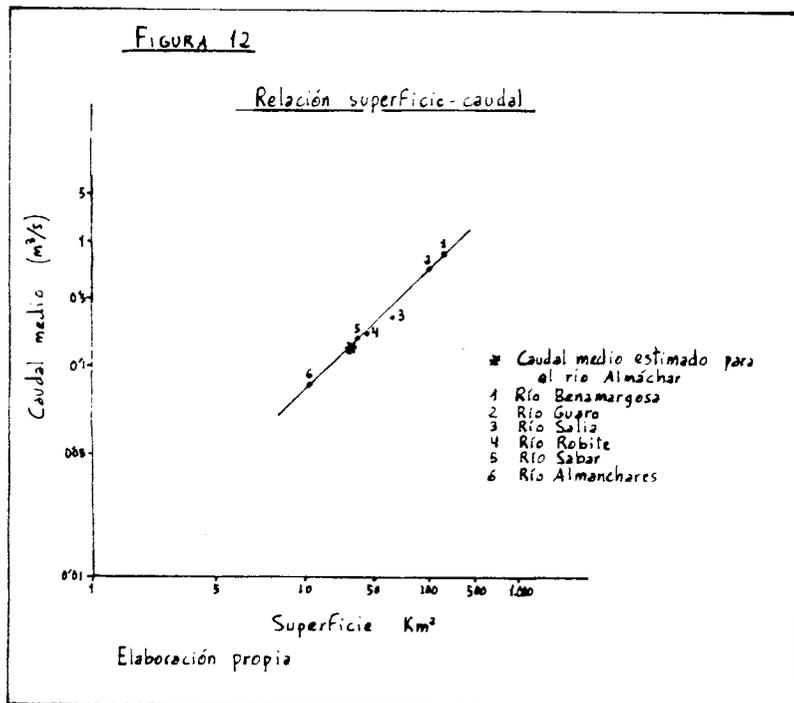
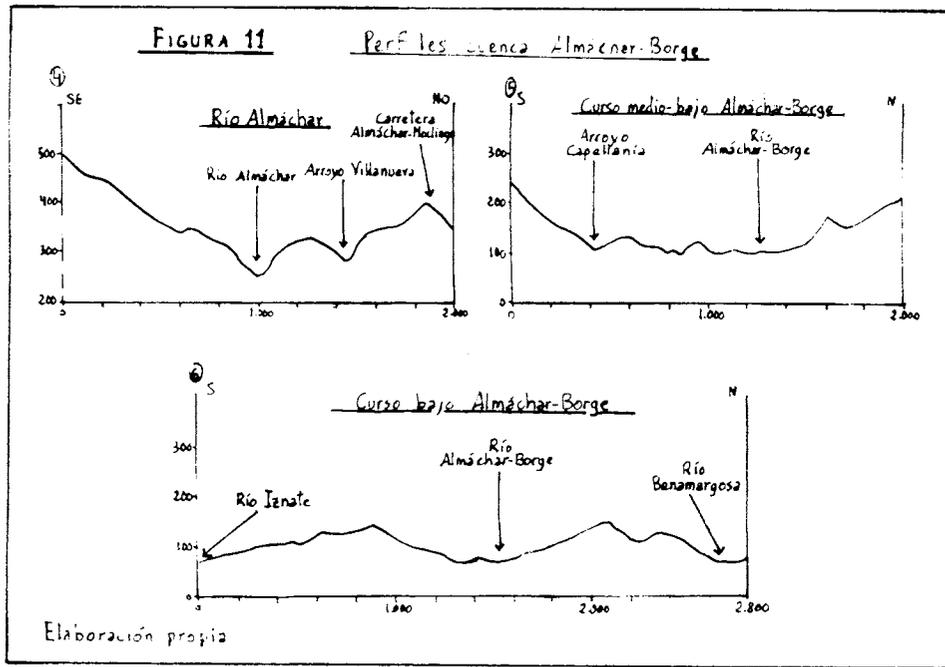
Aplicándolo a la precipitación media por día de lluvia que, según los cálculos de torrencialidad de la cuenca, se sitúa entre 12'5 y 15 mm., intentamos calcular el caudal medio de avenida según los siguientes valores:

$$\begin{aligned} K &= 0'02 \\ P &= 12'5 - 15 \text{ mm.} \\ A &= 3407'6 \text{ Ha.} \\ i &= 81\text{‰} \end{aligned}$$

por lo que Q oscila entre 177'14 l/s. y 212'6 l/s, que expresados en m<sup>3</sup>/s. son 0'177 m<sup>3</sup>/s. y 0'212 m<sup>3</sup>/s. respectivamente.

Estos valores están cercanos a los estimados mediante los procedimientos anteriores:

- recta de regresión (STRAHLER).....	0'175 m <sup>3</sup> /s.
- coeficiente de correlación de PEARSON.....	0'199 "
- fórmula de STRAHLER.....	0'192 "
- fórmula de Mac MATH.....	0'177 - 0'212.



Por lo tanto, como una primera aproximación y a la espera de resultados posteriores que nos den valores más ajustados, se puede estimar, para la cuenca estudiada, un valor redondeado de 0'2 m<sup>3</sup>/s. para el caudal medio.

Sabemos que el valor del caudal medio, para un río que la mayor parte del año tiene el cauce seco, es poco representativo. Más indicativo puede ser el cálculo del caudal punta (caudal de avenida), es decir el máximo caudal que produce un aguacero en un tiempo determinado.

Por ello, también como primera aproximación, se ha calculado el valor medio para caudales punta mediante la fórmula:

$$Q_p = 275 C_p / t_p \quad (14)$$

donde

$Q_p$  = caudal punta

$C_p$  = valor que oscila entre 0'56 y 0'59 y que se le ha asignado 0'57 (valor medio-bajo, correspondiente a una cuenca de escaso caudal).

$t_p$  = tiempo de respuesta del caudal a un aguacero.

que ha dado un resultado para  $Q_p$  de 34'3 l./s./km<sup>2</sup>, o lo que es lo mismo, un caudal punta medio de 1'168 m<sup>3</sup>/s. para una cuenca de 34 km<sup>2</sup>.

### **ESTADO EROSIVO DE LA CUENCA DEL RÍO ALMÁCHAR.**

El estado erosivo está en relación con el aporte de sedimentos y con la degradación específica de la cuenca.

Para calcular el aporte de sedimentos y la posible capacidad de arrastre de la cuenca hemos contado con complicadas fórmulas, de las que hemos extraído algunas sobre la descarga de sedimentos propuestas por GREGORY y WALLING (GREGORY y WALLING, 1.973) y que, no obstante, nos parecen incompletas y con posibilidad de una mala interpretación.

(14) BENITEZ, A., op. cit.

Una de las fórmulas que estos autores proponen (basándose en GUY y NORMAN, 1.970) es la siguiente:

$$Q_s = \frac{Q \cdot C_s}{1.000}$$

donde,  $Q_s$  es el aporte de sedimentos en Kg. por sección de cauce estudiada,  $Q$  el caudal en  $m^3/s$  y  $C_s$  la concentración de sedimentos en suspensión en  $mg./l.$

Como vemos, la fórmula tiene en cuenta los valores de distintos segmentos de cauce, es decir, admite datos de cuencas con varias estaciones de aforo emplazadas en distintas subcuencas; pero nosotros vamos a considerar la cuenca del Almáchar-Borge como un sólo segmento. El mayor obstáculo parte del valor  $C_s$ .

También utilizan otra fórmula que relaciona el aporte de sedimentos directamente con el caudal:  $Q_s = 0'6Q_2$ , es decir, se relaciona con el caudal producido en dos años. Este valor, dividido por el área de la cuenca nos da un coeficiente en toneladas al día por  $km$ . En nuestro caso, con un caudal medio anual de  $0'2 m^3/s$ , lo que supone un volumen medio anual de  $6'31 Hm^3$ , se obtiene un valor para  $Q_2$  de  $12'62$ , con lo que  $Q_s = 7'572$ , y dividido por el área de la cuenca, nos da un valor de  **$0'22 \text{ ton./día/km}^2$** . ( $80 \text{ ton./km}^2$  al año). Mantenemos nuestras reservas sobre este valor (15).

## DEGRADACIÓN ESPECÍFICA DE LA CUENCA.

Existen diversos sistemas de cálculo de pérdida de suelo y aporte de sedimentos; algunos de ellos, de gran complicación y sobre los que no entraremos en detalles de sus cálculos, son expuestos en la bibliografía consultada. Sí podemos destacar que mediante algunos de estos sistemas se puede comprobar cómo existe una relación inversa entre cobertura vegetal y pérdida de suelo (diferente según el clima), así como también entre cobertura vegetal y densidad de drenaje.

(15) Hay que señalar que existe una relación inversa entre tamaño de la cuenca y producción media anual de sedimentos (GREGORY y WALLING, 1.973).

Como sistema fácilmente aplicable en el estudio de la degradación específica de una cuenca podemos destacar **el modelo de FOURNIER** (1.960) (16), que se basa en dos elementos climáticos, precipitación y temperatura, y en el relieve.

Según este modelo, se ha de conocer el índice de agresividad del clima, consistente en la relación  $p^2/P$ ; donde  $p$  es la precipitación en mm. del mes más lluvioso y  $P$  el «módulo pluviométrico anual» o media anual de las precipitaciones expresada en mm./año. Mientras que para el factor relieve se utiliza el coeficiente orográfico  $htg^2$ , donde  $h$  es la altura media del relieve en metros y  $tg^2$  el coeficiente de masividad de MARTONNE:

$$tg\alpha = \frac{\bar{h}}{S}$$

siendo  $S$  la proyección horizontal de la cuenca en  $km^2$ .

Podemos emplear las siguientes fórmulas para calcular la degradación específica (DE) de la cuenca:

$$1^{\circ}) DE = 0'0275 \left[ \frac{p^2}{P} \right]^{2'65} (htg\alpha)^{0'46} \text{ ton}/km^2/\text{año}.$$

también utilizable como: 
$$\frac{1}{12} \sum \frac{p^2}{P}$$

Calculando los valores requeridos para estas fórmulas, obtenemos los siguientes datos de la cuenca del río Almáchar:

- **$p = 90'4 \text{ mm.}$**  para el mes de noviembre en toda la cuenca, como mes más lluvioso;
- **$P = 541'2 \text{ mm.}$**  al año para toda la cuenca;
- **$\bar{h} = 357 \text{ m.}$** , como altitud media de la cuenca.

(16) Hemos utilizado bibliografía de:

- FOURNIER, F., 1.960, en UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, *Análisis de los modelos matemáticos para la determinación de la Erosión Hídrica: Metodología para su utilización en áreas con esa problemática en España.* Dirección General del Medio Ambiente, Madrid, Octubre 1.984, pp. 37-38.
- ICONA, *La erosión de la cuenca (río Almanzora).* Policopiado.

- y una proyección horizontal de la cuenca de **34 km<sup>2</sup>**.

de donde:

- agresividad del clima ( $p^2/P$ ): **15'1**.
- $\bar{htg\alpha}$  (h/S): **10'5**.

**2º)** Por otra parte, el modelo de FOURNIER propone también diferentes tipos de fórmulas según el tipo de clima:

Así, para  $\bar{htg\alpha} > 6$ , es decir, con relieve acentuado, se utilizan las siguientes ecuaciones:

con clima semiárido:  $X = 91'78Y - 737'62$ ,

y con clima no semiárido:  $X = 52'49Y - 513'12$

donde  $Y = p^2/P$  y  $X =$  Degradación específica en ton/km<sup>2</sup>.

Los valores para determinar el tipo de clima se basan en los siguientes factores:

- Para  $P > P_1$ , zona húmeda
- Para  $P_2 < P < P_1$ , zona semiárida
- Para  $P < P_2$ , zona árida,

siendo  $P =$  precipitación media anual en mm.;  $P_1 = 0'632L$ ;  $P_2 = 0'316L$ ;  $L = 300 + 25T + 0'05T^3$ ; y  $T =$  temperatura media anual.

Teniendo en cuenta que  $T$  registra un valor aproximado de **16'8º** para la cuenca del río Almáchar,

$$\begin{aligned} L &= 957'1; \text{ de donde} \\ P_1 &= 604'9 \text{ y} \\ P_2 &= 302'4. \end{aligned}$$

Con ello, dado que la precipitación media anual de la cuenca del río Almáchar es de 541'2 mm./año, según esta clasificación, este área estaría dentro de una zona semiárida (puesto que  $P = 541'2$  mm. es menor que  $P_1$ , 604'9 mm., y mayor que  $P_2$ , 302'4 mm.).

Según la segunda fórmula propuesta, tendríamos un valor de **648'26** toneladas de pérdida de suelo por kilómetro cuadrado al año en clima semiárido, o **279'48** ton/

Km<sup>2</sup>/año con clima no semiárido (valor que aplicaríamos sólo a las reducidas zonas, generalmente altas, de la cuenca donde la precipitación puede ser superior a 605 mm.).

Sin embargo, siguiendo la primera fórmula propuesta sobre la degradación específica, obtenemos un valor de **107'99** ton/km<sup>2</sup>/año, valor que consideramos más acertado por comparación con el cálculo de la capacidad de arrastre del río Almáchar (80 tm./km<sup>2</sup>/año) anteriormente expuesto.

Pero consultando los datos obtenidos para la Axarquía por ICONA y MOPU (17) vemos unos valores entre las 100 y 200 ton/ha./año. para un área que podríamos generalizar como la cuenca completa del río Benamargosa (donde, recordamos, se incluye el río Almáchar); valores que están obtenidos del cálculo del factor R de la USLE (erosionabilidad por la lluvia). Esto significa entre 10.000 y 20.000 ton/km<sup>2</sup> al año, valor que es considerado como erosión Alta, de forma que zonas al W. de Santopitar registran más de 20.000 ton/km<sup>2</sup>/año, y son consideradas como de erosión Muy Alta. Valores similares obtiene el Proyecto LUCDEME (ICONA, 1.982) en algunas zonas entre Granada y Murcia utilizando la USLE.

Por lo tanto, el modelo de FOURNIER presenta el problema de ser recomendable para cuencas de tamaño superior a 2.000 km<sup>2</sup>, por lo que cualquier dato obtenido aquí hemos de considerarlo con muchas reservas y nos limitamos a tenerlo en cuenta como un valor comparativo con otros modelos de cuantificación.

## CONCLUSIONES.

El análisis morfométrico de la cuenca del río Almáchar nos ha permitido destacar:

- Comparaciones entre las dos subcuencas que conforman el área de estudio (cuenca del río Almáchar y cuenca del río El Borge), que se encuentran en distinto estado de evolución, lo cual afecta a parámetros tales como la razón de bifurcación y la sinuosidad.

- La susceptibilidad de la subcuenca del río El Borge de aumentar su superficie al aumentar su razón de bifurcación, en cuanto que en el estado actual presenta anomalías entre los órdenes superiores, especialmente en el 5º orden.

- La estimación de caudales medios a través de los parámetros analizados en el análisis morfométrico.

(17) Datos de ICONA y de MOPU en JUSTICIA SEGOVIA, A., 1.984, *Evolución de las estructuras y el paisaje agrarios en la Axarquía y Montes de Málaga*. Tesis; Universidad de Málaga, pp 89-95. Málaga.

- La estimación de los arrastres de sedimentos y de la degradación específica de la cuenca.

Sin embargo, en estas dos últimas estimaciones los resultados no son muy satisfactorios y están a la espera de poder ser contrastados con los otros resultados de investigaciones en curso.

## APÉNDICE

**Cuadro I. Relación Sustrato-Tipo de lecho**

Tipo Primario	Tipo Secundario	Características
Roca cohesiva o coherente	Lecho rocoso	Cobertura no coherente de material inconsolidado; generalmente, cortos segmentos concentrados en escarpadas cabeceras alargadas.
	Lecho limo-arcilloso	Alto contenido de arcilla limosa, dando variables grados de cohesión; resistencia controlada por fuerzas interparticulares.
Roca no cohesiva o no coherente	Lecho arenoso	«Lecho vivo», compuesto de material arenoso transportados en diversos tipos de descargas.
	Lecho de grava	Canales «umbral» de gruesa grava o guijarros, sólo transportados en altas avenidas.
	Lecho de cantos	Compuesto por grandes partículas (>256 mm). que son movidas infrecuentemente. Cerca no al tipo de lecho rocoso.

(Fuente: D. KNIGHTON, 1.968)

### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

BENITEZ, A., *Captación de aguas subterráneas*. Policopiado. Pp. 110-123.

CEOTMA, 1.984, *Guía para la Elaboración de Estudios del Medio Físico: Contenido y Metodología*. MOPU., Madrid.

- CHORLEY, R. J. et al., 1.969, *Introduction to Fluvial Processes*. Suffolk, Methuen.
- FANIRAN, 1969, en MATARREDONA COLL, E., 1.984, (infra cit.), siguiendo a VIVAS, L.
- FOURNIER, F., 1.960, en UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID, *Análisis de los modelos matemáticos para la determinación de la Erosión Hídrica: Metodología para su utilización en áreas con esa problemática en España*. Dirección General del Medio Ambiente, Madrid, Octubre 1.984, pp. 37-38.
- GARCIA ROSSELL, L. y VEGA DE PEDRO, R., 1.985, *Caracterización e índices paramétricos de la red de drenaje de Sierra Nevada (España Meridional)*. Tecniterrae S-235. (policopiado), pag. 25. En este estudio se muestra como el río Genil posee un menor número de orden y de cauces que el Aguas Blancas, tribu tario del Genil.
- GREGORY, K. J. y WALLING, D. E., 1.973, *Drainage Basin. Form and Process: a geomorphological approach*. Londres, Edward Arnold.
- HOLEMAN tomado por STODDART, D.R., en CHORLEY, R.J., 1.969, op. cit. pag. 19.
- HORTON, R.E., 1.945, *Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morlogy*. Geol. Soc. Am. Bull., 56: 275-370. En STRAHLER, A. N., 1.968, op. cit. infra.
- ICONA, *La erosión en la cuenca (río Almanzora)*. Policopiado.
- ICONA, 1.982, *Paisajes erosivos del S.E. español: Ensayo de Metodología para su cualificación y cuantificación. Proyecto LUCDEME*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. ICONA, Monografías Nº 26..
- ICONA, 1.986, *Estudio integrado del Medio Físico de la Cuenca del río Adra. VII, Pérdidas de Suelos*. Proyecto LUCDEME. Granada. III parte, Geomorfología.
- JUSTICIA SEGOVIA, A., 1.984, *Evolución de las estructuras y el paisaje agrarios en la Axarquía y Montes de Málaga*. Tesis; Universidad de Málaga. Málaga.
- KNIGHTON, D., 1.984, *Fluvial Forms and Processes*. Londres, Edward Arnold.
- LÓPEZ BERMÚDEZ y otros, 1.988, *Geometría de las cuencas fluviales: las redes de drenaje del Alto Guadalentín*. Proyecto LUCDEME IV ICONA, Monografía 50 del Proyecto LUCDEME. Murcia. 225 pp., 2 mapas.

MATARREDONÁ COLL, E., 1.984, *Circulación de las aguas y dificultades de avenamiento en la cuenca alta del Vinalopó*, en Rev. Estudios Geográficos, nº 175, abril-junio, 1.984, pp. 193-213. (204-207).

MOPU, *DATOS FISICOS DE LAS CORRIENTES CLASIFICADAS POR EL C.E.H. (Centro de Estudios Hidrográficos). Cuenca Hidrográfica del Sur*. M.O.P., Sección de Clasificación.

ROMERO DÍAZ, M<sup>a</sup> A. y LÓPEZ BERMÚDEZ, F., 1.987, *Morfometría de Redes Fluviales: Revisión crítica de los parámetros más utilizados y aplicación al Alto Guadalquivir*. Papeles de Geografía (Física), Nº 12; pag. 55.

ROMERO DÍAZ, M<sup>a</sup> A. y LÓPEZ BERMÚDEZ, F., 1.989, *Avenidas Fluviales e Inundaciones en la cuenca del Mediterráneo. Relación entre escorrentias superficiales y características físicas y ambientales en pequeñas cuencas fluviales (Alto Guadalquivir)*. Instituto Universitario de Geografía de la Universidad de Alicante. Caja de Ahorros del Mediterráneo. Alicante. Pag.178.

SALA, M<sup>a</sup>, 1.980, *Análisis morfométrico de una cuenca de tamaño medio*. Aportación española al XXIV Congreso Geográfico Internacional, Tokio, 1.980., pp. 269-285 (pag. 285).

SALA, M. y GAY, R., 1.981, *Algunos datos morfométricos de la cuenca del Isábena*. Notes de Geografía Física. Departament de Geografia Universitat de Barcelona. Nº 4, Març 1.981, pag. 55. Barcelona.

SALA, M<sup>a</sup>, 1.982, *Datos cuantitativos de los procesos geomórficos fluviales actuales en la cuenca de la Riera de Fuirosos (Montnegre, Macizo Litoral Catalán)*. Cuadernos de Investigación Geográfica, Tomo VIII. Colegio Universitario de La Rioja, Logroño., pp. 51-68 (pag. 57).

SALA, M<sup>a</sup>, 1.982, *Metodología para el estudio y medición de los procesos de erosión actuales*. Notes de Geografía Física, Nº 8, pag. 53.

SALA, M<sup>a</sup>, 1.983, *Geoecología del paisaje en el macizo litoral catalán*. Rev. de Geografía Vol XVI-XVII. Dpto. de Geografía de la Universidad de Barcelona. Enero-Diciembre, 1.982-1.983. Barcelona.

SCHUMM, S.A., 1.963, en CHORLEY, R.J., 1.969, op. cit., pag. 34.

STRAHLER, A. N., 1.968, *Geografía Física*. Ed. Omega, Barcelona, 1.986, pp. 521-538.

TELLO RIPA, B., 1.983, *Estudio de Modelos erosionales de drenaje en la cuenca del río Tajo*. Policopiado, pag. 280.

VAN ZUIDAM, R. A. y VAN ZUIDAM CANCELADO, F. I., 1.978, *Terrain analysis and classification using aerial photographs. A geomorphological approach*. ITC Textbook of Photo-Interpretation VII-6. Enschede, The Netherlands, pp. 146-147.

WAY, D.S., 1.975, *Terrain Analysis*. Dowden, Hutchinson and Ross, Stroudsburg, Penns., 392 pp. WAY D.S. en VAN ZUIDAM, R.A. y VAN ZUIDAM CANCELADO, F.I., 1.978, op. cit. pp. 76-84.

WEYMAN, D.R., 1.975, *Runnof process and streamflow modelling*. Theory and practice in Geography. Oxford University press.

Málaga, diciembre 1992