

Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen

por **MONTSERRAT JARDÍ**

Palabras clave:

Área de una cuenca, cuenca de drenaje; elongación, lobulación; morfometría fluvial; perímetro de una cuenca.

1. INTRODUCCIÓN

Desde hace ya algunos años, los estudios de morfometría fluvial han adquirido en nuestro país un gran auge, así como también en muchos trabajos de Hidrología se utilizan los cálculos morfométricos con el fin de caracterizar las cuencas hidrográficas. A dichas cuencas se les asigna una serie de parámetros sin profundizar en su estudio, o incluso, a veces, desconociendo su significado real.

Al objeto de clarificar toda una serie de conceptos, confusos en ocasiones debido a la utilización, por parte del autor, de nombres y símbolos distintos para designar una misma variable, en este artículo nos ocuparemos exclusivamente del análisis detallado de las distintas variables morfométricas que caracterizan la forma de una cuenca de drenaje, indicando finalmente cuáles de estas variables son estrictamente necesarias para realizar dicho estudio.

De entre todas las variables definidas, hemos escogido para su análisis once de ellas, por ser las de mayor uso. Son las siguientes:

1. Superficie de la cuenca
2. Longitud del perímetro
3. Centro de gravedad
4. Distancia al centro de gravedad
5. Longitud de la cuenca
6. Razón de elongación
7. Factor de forma
8. Amplitud
9. Coeficiente de redondez
10. Índice de forma
11. Razón de circularidad

a las que englobaremos en cuatro apartados que nos definirán las cuatro características

fundamentales que deberán tenerse en cuenta al estudiar la forma de una cuenca de drenaje:

1. Tamaño de la cuenca.
2. Simetría de la cuenca.
3. Elongación de la cuenca.
4. Forma del contorno o perímetro de la cuenca.

Creemos, a priori, que tal cantidad de variables es excesiva y que sólo cuatro o cinco de ellas serían suficientes para caracterizar correctamente la forma de una cuenca.

2. MÉTODO DE TRABAJO

En primer lugar vamos a efectuar un análisis de cada una de las variables englobadas en los cuatro apartados enunciados en la introducción, con el fin de determinar las relaciones existentes entre ellas y su verdadera significación.

En una segunda etapa, efectuaremos el cálculo de las variables seleccionadas en una serie de cuencas reales (40 en total) para comprobar la bondad de su significado, pasando a continuación al cálculo de las mismas variables para una serie de cuencas tipo (17) de formas geométricas bien definidas.

Finalmente, el cuarto apartado del artículo estará dedicado al análisis de los resultados obtenidos en los apartados 3 y 4, tratando de relacionar las cuencas reales con las cuencas tipo mediante la analogía del valor obtenido para cada una de las variables morfométricas.

Las 17 cuencas tipo estarán caracterizadas por tener todas ellas la misma superficie, al objeto de interpretar mejor los valores conseguidos en las demás variables. Por tanto, el cálculo de variables morfométricas para cuencas reales (40 en nuestro caso) se efectuará primero con los parámetros medidos en el mapa topográfico, y, posteriormente, con los parámetros reducidos, de tal forma que todas las cuencas tengan igual superficie.

3. ANÁLISIS DE LAS VARIABLES

Hemos ya indicado que podemos agrupar las variables morfométricas en cuatro grupos o apartados teniendo en cuenta la característica que cuantifican, es decir: tamaño, simetría, elongación y forma del contorno. Ahora bien, atendiendo a su cálculo, podemos distinguir dos tipos de variables morfométricas: las de medición directa, o independientes, y las elaboradas a partir de las primeras, o dependientes.

Las variables que denominamos independientes o de medición directa son las calculadas directamente sobre la base del mapa topográfico, sin operaciones matemáticas ni ninguna elaboración previa. En este grupo incluimos el *área* o medida de la superficie de la cuenca, el *perímetro* y la *longitud*.

En una fase intermedia, ya que se precisa cierta elaboración, pero aun siendo independiente de las otras variables, hallamos el *centro de gravedad* de la cuenca y la *distancia* entre dicho centro y el punto de salida de la misma.

Finalmente, tenemos el grupo de las variables dependientes, que precisan ya de operaciones matemáticas, aunque éstas sean sencillas. Aquí incluimos la *razón de elongación*, el *índice de forma*, el *factor de forma*, la *amplitud de la cuenca*, la *razón de circularidad* y el *coeficiente de redondez*.

3.1. Variables que definen el tamaño de la cuenca

Las dos variables que cuantifican el tamaño de la cuenca son de medición directa. La primera, la superficie, nos dará la idea exacta del tamaño de la misma, mientras que la longitud del perímetro, a la vez que nos dará una idea del tamaño, vendrá condicionada por la forma del mismo, por lo que no existirá una relación directa entre área y perímetro de una cuenca de drenaje.

3.1.1. *Área de la cuenca de drenaje (A)*. A la medida de la superficie de una cuenca de drenaje se la denomina *área*, y es la variable más utilizada para el cálculo de otras que, consecuentemente, serán dependientes de ella.

Se calcula a través de la representación a escala, sobre un mapa topográfico, de la cuenca. Por tanto, la medida calculada no coincidirá con la medida real, ya que se tratará del área de la proyección en el plano horizontal de la superficie de la cuenca. Cuanto mayor sea el relieve, entendiéndose por relieve las diferencias de nivel, mayor será el error cometido en la medida de la superficie. De todas formas, ante la complejidad que comporta el cálculo de la superficie real y la magnitud del error que se comete, se acepta como medida de la superficie la de su proyección.

Existen varios métodos para hallar la superficie de una cuenca de drenaje, obteniéndose una mayor o menor exactitud según sea el procedimiento utilizado o la habilidad de la persona que lo efectúe. La unidad de esta variable, al tratarse de una superficie, será normalmente el kilómetro cuadrado (km^2), pero debe tenerse en cuenta que los autores ingleses pueden utilizar como unidad de superficie la milla cuadrada, siendo el factor de correspondencia entre una y otra unidad 2,58998, de tal manera que una milla cuadrada equivale a $2,58998 \text{ km}^2$.

En general, se la simboliza tanto con la letra A como con la S, que coinciden con las iniciales de las palabras *área* y *superficie*. De todas formas, una gran mayoría de autores utilizan la letra A, por lo que es conveniente seguir designándola así, dejando la S para señalar otra variable morfométrica, como, por ejemplo, la sinuosidad del curso principal.

El conocimiento del parámetro A (*área de una cuenca*) nos permite, además del cálculo de otras variables morfométricas, establecer una primera clasificación entre diversas cuencas en orden a su tamaño, a la vez que conocer su valor nos permitirá escoger de antemano la escala del mapa más idónea según sea el tipo de estudio que se quiera realizar. Por lo general, en orden de magnitud, las escalas que se utilizan, en función de la superficie de la cuenca, son:

| <i>Superficie (km^2)</i> | <i>Escala</i> |
|--|---------------|
| 1 | 1:5.000 |
| 100 | 1:10.000 |
| 1.000 | 1:25.000 |
| 5.000 | 1:50.000 |
| 10.000 | 1:100.000 |
| 25.000 | 1:200.000 |
| 50.000 | 1:500.000 |
| 100.000 | 1:1.000.000 |

Pero el conocimiento del área de una cuenca no sólo debe utilizarse para realizar una clasificación por tamaños o decidir la escala del mapa a utilizar en posteriores estudios, sino que, al no ser una variable aleatoria, dependerá de otras variables de la

cuenca. La escorrentía superficial provoca un efecto erosivo que se traduce en un vaciado de material a través de los canales en que se jerarquiza la red fluvial; dicha jerarquización dependerá, entre otros factores, de la litología presente en la zona y del espacio que tenga para desarrollarse, deduciéndose de aquí que la litología tiene una intervención decisiva en el tamaño de la cuenca y, como veremos posteriormente, en la forma de la misma. Por todo ello será necesario, al efectuar el estudio completo de una cuenca de drenaje, la correlación área-litología y área-jerarquización; correlaciones de las que se podrán obtener importantes conclusiones sobre su evolución y funcionamiento.

La relación existente entre el área y la hidrología de la cuenca es fundamental, hasta tal punto que los datos proporcionados por una estación de aforos no tendrán utilidad práctica si no se tiene el dato de la superficie drenada hasta dicha estación, ni se podrá conocer la aportación de agua en un período determinado de tiempo. Igualmente, conocida la medida de la superficie, podremos saber la cantidad de agua de precipitación recogida en la cuenca en un momento o período concreto de tiempo, si es, naturalmente, conocida la pluviometría de la zona. De esta forma se podrá efectuar la correlación lluvia-caudal y calcular los parámetros hidrológicos de la cuenca, tan importantes como, por ejemplo, el coeficiente de escorrentía.

3.1.2. *Perímetro de la cuenca de drenaje (P)*. Al igual que en el caso de la superficie y de todas las medidas lineales que se puedan medir sobre la representación en un mapa topográfico, al calcular la longitud de la línea del perímetro lo que realmente estaremos midiendo será la de la proyección en el plano horizontal, medida que diferirá de la real, dependiendo del relieve o inclinación de dicha línea. De todas formas, el error que se comete es de una magnitud muy inferior a la de la medida en sí y, por tanto, totalmente despreciable.

Las unidades de dicha variable son las que corresponden a una longitud, y debido a las dimensiones de las cuencas de drenaje, suele utilizarse el kilómetro (km). Como en el caso del área, deberá tenerse en cuenta que los autores ingleses pueden medir dicha variable en millas, siendo el factor de conversión 1,609344; es decir, una milla equivale a 1,609344 km.

En la mayoría de los trabajos de morfometría fluvial, al perímetro de la cuenca se le designa con la letra P, que coincide con la inicial de la palabra «perímetro», tanto en castellano como en inglés (*perimeter*).

Este parámetro por sí solo no da ningún tipo de información respecto al tamaño o forma de la cuenca; sólo si comparamos cuencas de igual superficie, el valor del perímetro podrá darnos una idea de su forma.

Si definimos el círculo asociado como un círculo de igual superficie a la de la cuenca, entonces podremos comparar el perímetro de la misma con la longitud del círculo, obteniéndose unos índices que posteriormente serán analizados y que nos indicarán la mayor o menor lobulación de dicho perímetro.

El perímetro (P) y su forma están íntimamente relacionados con la litología y edad de la cuenca de drenaje. Materiales blandos darán formas redondeadas, mientras que materiales más duros darán formas más quebradas o lobuladas. Igualmente, ya que la tendencia de las cuencas es la de conseguir formas redondeadas, a igualdad de litología, una cuenca redondeada implicará mayor desarrollo.

3.2. Variables que definen la simetría de la cuenca

Una característica muy importante en la forma de las cuencas de drenaje es su simetría, ya que en una cuenca simétrica será aquella que, independientemente de la forma que tenga, el curso principal transcurrirá más o menos por su centro o eje de simetría, dividiéndola aproximadamente en dos partes de parecidas dimensiones. En el estudio de la dinámica hidrológica, que se cumpla a dos cuencas cuyos otros índices sean semejantes.

Las dos variables, relativamente sencillas de calcular, que mejor nos definirán la simetría de la cuenca son el centro de gravedad y la distancia al centro de gravedad.

3.2.1. *Centro de Gravedad (C.G.)*. Definiremos el centro de gravedad de una cuenca como el punto central de la misma atendiendo exclusivamente a la forma del perímetro (P). Su localización no es inmediata, sino que viene dada por el valor medio de las coordenadas x_i , y_i de la superficie de la cuenca, después de superponer a la representación de la misma una retícula ortogonal asignando una coordenada a cada nudo de ésta que quede dentro del perímetro de la cuenca.

La posición del centro de gravedad, si es equidistante de la línea del perímetro, nos señalará cierta simetría de la cuenca respecto a un punto central, lo que nos indicará la redondez de la misma.

Esta variable, que designaremos por sus iniciales C.G., coincidentes con las del nombre inglés (*center of gravity*), es adimensional y precisa cierta elaboración para su cálculo.

3.2.2. *Distancia al centro de gravedad*. La distancia al centro de gravedad nos vendrá definida por la longitud existente entre el punto en cuestión y el punto en que el curso fluvial sale de la cuenca. Para su medición tenemos dos posibilidades; a) siguiendo una línea recta, o b) siguiendo la línea del curso principal hasta el punto en que dicho curso pasa más próximo al centro de gravedad.

a) Distancia en línea recta (L_{rc}). Una vez situado el centro de gravedad, el cálculo de la distancia existente en línea recta desde el mismo hasta el punto de desembocadura es inmediato. Dicha distancia la designaremos con la letra L (común a todas las variables que se refieren a una distancia), con el subíndice rc tal como se efectúa en la notación inglesa. Su unidad, al tratarse de una longitud, será el kilómetro (km).

b) Distancia siguiendo el curso principal (L_{ca}/L_{vc}). Si la distancia al centro de gravedad se mide siguiendo el trazado del curso principal, que designaremos por L_{ca} y éste es muy sinuoso, la variable nos quedará algo distorsionada respecto al parámetro que intenta medir, que no es otro que el cuantificar la posible simetría de la cuenca de drenaje. Por todo ello, lo que parece más lógico es que se mida la distancia al centro de gravedad siguiendo la línea del eje del valle por el que transcurre el curso principal. A esta variable así medida la designaremos por L_{vc} . En ambos casos, las unidades serán las de longitud (km).

Sea cual sea el método empleado para medir la distancia existente entre la salida de la cuenca de drenaje y el centro de gravedad de la misma, esta variable sólo nos proporcionará cierta información sobre la simetría de la cuenca si la comparamos con la medida del radio del círculo asociado. Si la distancia al centro de gravedad es sensiblemente superior a la de dicho radio, nos indicará una anchura mayor en la zona de cabecera que en la de desembocadura, y viceversa.

Aunque sea importante, como ya hemos indicado, el conocer la simetría de una cuenca de drenaje, las variables que la intentan cuantificar son muy poco utilizadas,

quizá debido a su larga elaboración en relación a la información que proporciona, que, indirectamente, puede obtenerse por unos procedimientos más sencillos y que, a la vez, informan de otras variables de la cuenca, las cuales analizaremos a continuación.

3.3. Variables que definen la elongación de una cuenca

Entendemos por elongación de una cuenca de drenaje la forma más o menos alargada de la misma, independientemente de las formas redondeadas o lobuladas del perímetro. A medida que ha ido desarrollándose la morfometría fluvial, han aparecido distintas formas de medir o cuantificar la elongación de una cuenca, pero, invariablemente, en todas ellas interviene su longitud como variable fundamental para su cálculo.

Además de la longitud de la cuenca, se analizarán la razón de la elongación, el factor de forma, la amplitud y el coeficiente de redondez; en total, cinco variables para medir una misma característica de la forma de la cuenca de drenaje.

3.3.1. *Longitud de la cuenca de drenaje (L)*. Es la única variable que define en cierto modo su elongación y que es, a la vez, de medición directa. Existen varios criterios para su cálculo, que estarán en relación directa con la característica que se quiera resaltar.

De esta forma, si se intenta analizar el comportamiento hidrológico de una cuenca, la medida de la longitud de la misma deberá coincidir con el máximo recorrido del agua; es decir, se deberá tomar la longitud del curso principal. Si, por el contrario, lo que quiere conocerse es, exclusivamente, la forma geométrica de la cuenca sin más consideraciones, la longitud que deberá tomarse será la de la máxima distancia en línea recta dentro de la misma.

3.3.1.1. *Longitud del curso principal (L_b) (L_v)*. También en este caso, existen dos posibilidades para medir la longitud del curso principal. La primera y más utilizada es la medida de dicho curso en toda su longitud, y se simboliza por L_b (*length of main channel*), incluyéndose, por tanto, toda la sinuosidad del mismo. La otra posibilidad es la medida de la longitud del eje del curso principal, entendiéndose por eje la línea que pasa por el centro de la llanura de inundación y que se simboliza por L_v (*down valley distance*).

3.3.1.2. *Máxima distancia en línea recta (L_w)*. Esta variable viene determinada por la distancia en línea recta entre el punto de salida de la cuenca y el punto del perímetro (P) más alejado de éste y que, en la mayoría de las ocasiones, coincidirá con la prolongación del curso principal. A esta variable se la designa por L_w (*length of watershed*). En ocasiones, y según sea la forma de la cuenca, esta línea pasará durante un tramo por el exterior de la misma, lo que, evidentemente, nunca ocurrirá en la primera posibilidad de medición.

La unidad de la variable L , sea cual sea la posibilidad elegida para su medición, será el kilómetro (km), y la simbología utilizada, L_b , L_v o L_w , es la de los autores anglosajones.

Por sí sola, la variable nos dará poca información sobre la elongación de la cuenca, ya que, a mayor área, es evidente y lógico que se tendrá mayor longitud. Si, por el contrario, nos encontráramos con una serie de cuencas de igual superficie, la medida de dicha variable sí que nos daría una información decisiva sobre la elongación de cada una de ellas. De todas formas, aun sin necesidad de cuencas con igual superficie, si asocia-

mos dicha variable con el área o con el diámetro del círculo asociado, obtendremos una serie de índices que, por sí solos, nos darán idea de la elongación de la cuenca y que definiremos y analizamos a continuación.

3.3.2. *Razón de elongación (R_e)*. Esta variable, introducida por Schumm en 1956, relaciona el diámetro del círculo asociado con la longitud de la cuenca, denominándola *elongation ratio* y simbolizándola con las iniciales R_e, que coinciden con la traducción al castellano del nombre de la variable.

La relación que establece entre el diámetro del círculo asociado (D) y la longitud de la cuenca (L) es la de una sencilla proporción; es decir

$$R_e = \frac{D}{L}$$

Al definir la longitud de la cuenca, hemos indicado que existen tres posibilidades: L_b, L_v y L_w, por lo que, al calcular la razón de elongación (R_e) podremos utilizar cualquiera de las tres medidas. De todas formas, cuando Schumm definió la variable, lo hizo utilizando la longitud del curso principal; es decir, L_b, de tal forma que

$$R_e = \frac{D}{L_b} \quad (1)$$

De la expresión (1) se deduce que R_e será menor que 1 cuando L_b sea mayor que D; R_e será igual que 1 cuando L_b y D coincidan, y R_e será mayor que 1 cuando L_b sea menor que D.

$$R_e < 1 \rightarrow L_b > D \quad (2)$$

$$R_e = 1 \rightarrow L_b = D \quad (3)$$

$$R_e > 1 \rightarrow L_b < D \quad (4)$$

Igual supuesto ocurrirá si utilizamos L_v o L_w en lugar de L_b, aunque, ciertamente, nos darán valores de R_e algo distintos.

De las expresiones (2), (3) y (4) se deduce que, para valores de R_e inferiores a 1, implicará formas alargadas, y cuanto menor sea R_e más alargada será la forma de la cuenca. Por el contrario, valores de R_e próximos a 1 no tienen, como veremos posteriormente, por qué implicar formas redondeadas; es decir

$$R_e \ll 1 \rightarrow \text{Forma alargada} \quad (5)$$

La razón de elongación es adimensional, ya que se trata de un cociente entre dos longitudes, y con el fin de no tener que calcular el diámetro del círculo asociado para poder obtener R_e, se puede usar cualquier expresión equivalente, tales como:

$$R_e = \frac{D}{L} = 1,129 \frac{A^{1/2}}{L} = \frac{2 \sqrt{A}}{L} \quad (7)$$

que se deducen de

$$A = \pi r^2 = \pi \frac{D^2}{4} \rightarrow D = \sqrt{4 A/\pi} = 2\sqrt{A/\pi} = 1,129 \sqrt{A}$$

3.3.3. *Factor de forma* (R_f). Es otra variable que intenta evaluar la elongación de una cuenca de drenaje. Fue introducida por Magette en 1976, quien la denominó *Form factor*, simbolizándola por R_f .

La variable queda definida por la expresión

$$R_f = \frac{A}{L^2} \quad (8)$$

y relaciona el área de la cuenca (A) con el cuadrado de la longitud de la misma. Como en el caso anterior, es adimensional; puede utilizarse cualquiera de las tres longitudes definidas como longitud de una cuenca.

Si igualamos la longitud de la cuenca al diámetro (D) del círculo asociado, una cuenca perfectamente circular tendrá un factor de forma igual a $\pi/4$, ya que

$$\frac{A}{D^2} = \frac{\pi D^2}{D^2 \cdot 4} = \frac{\pi}{4} = 0,7854$$

Si la cuenca fuera perfectamente cuadrada, el factor de forma tendría un valor igual a la unidad, ya que

$$\frac{A}{L^2} = \frac{L \times L}{L^2} = \frac{L^2}{L^2} = 1$$

El factor de forma (R_f) puede calcularse en base a L_v , L_b o L_w y tomará valores inferiores a 1 cuando se trate de cuencas alargadas, teniendo el mismo significado que la Razón de elongación (R_e). Por tanto

$$R_f \ll 1 \rightarrow \text{Forma alargada} \quad (9)$$

3.3.4. *Amplitud de la cuenca* (W). La amplitud de la cuenca de drenaje, que en inglés se denomina *Width of watershed* y que viene simbolizada por la letra W , nos informa de la superficie de la cuenca por unidad de longitud de la misma. Es decir

$$W = \frac{A}{L} \quad (10)$$

Igual que en los casos anteriores, como longitud de la cuenca puede utilizarse tanto L_b , L_v o L_w , según sea la naturaleza del estudio que se realice.

La tendencia de esta variable es que, a mayor elongación de la cuenca, menor será el valor que tome W , pero, al contrario de las otras dos variables (R_e y R_f), el valor de la amplitud (W) siempre será superior a 1; por tanto, su tendencia podrá esquematizarse según la expresión

$$W \gg 1 \rightarrow \text{Forma NO alargada} \quad (11)$$

es decir, los valores altos de W implicarán cuencas más anchas y valores bajos de W , pero siempre por encima de 1, implicarán cuencas elongadas.

3.3.5. *Coficiente de redondez* (K). Esta variable, simbolizada por la letra K , fue introducida por Seyhan en 1977 y queda definida por la expresión

$$K = \frac{\pi L^2}{4 A} \quad (12)$$

en donde vuelve a relacionarse el área de la cuenca (A) con su longitud (L) mediante la asimilación de esta última al diámetro del círculo asociado, de tal forma que, para una cuenca perfectamente circular, K toma un valor igual a la unidad, y a mayor elongación de la cuenca, mayor será el valor que toma K; es decir

$$K \gg 1 \rightarrow \text{Forma alargada} \quad (13)$$

por lo que tiene una tendencia contraria a las otras variables que intentan evaluar la elongación de la cuenca y, al igual que la amplitud (W), siempre tomará valores superiores a la unidad.

Igual que en los casos anteriores, como longitud de cuenca puede optarse por cualquiera de las tres posibilidades L_b , L_v o L_w .

Luego del breve análisis de cada una de las cinco variables que intentan cuantificar la elongación de una cuenca de drenaje, podemos prever que no será preciso el cálculo de todas ellas, ya que darán resultados similares; así, es evidente que la razón de elongación (R_e) y el coeficiente de redondez (K), aunque con índices distintos y de tendencia contraria, nos indican, en definitiva, la misma propiedad, puesto que las dos se refieren al círculo asociado, comparando el diámetro con la longitud de la cuenca.

3.4. Variables que definen la forma del contorno de la cuenca

Se entiende por forma del contorno de la cuenca de drenaje a la más o menos lobulación que ésta pueda presentar, independientemente de que en su conjunto sea alargada o redondeada. Una cuenca muy lobulada tendrá un perímetro (P) muy superior a otra de forma similar, pero cuyo contorno sea liso, sin entrantes ni salientes.

Una forma u otra en una cuenca de drenaje apenas tendrá importancia en su comportamiento hidrológico, pero, sin duda, nos indicará relieves altos y litología dura, características éstas que sí tienen importancia en el funcionamiento hidrológico.

En general, las variables que estudian la forma del contorno de una cuenca lo hacen en función de comparar la longitud del perímetro (P) con la longitud del círculo asociado, analizando, seguidamente, el índice de forma y la razón de circularidad, variables más utilizadas en los estudios morfométricos.

3.4.1. *Índice de forma (C)*. Esta variable, introducida por Magette en 1976, compara el perímetro de la cuenca con la longitud o perímetro del círculo asociado.

Denominada en inglés *Compactness coefficient*, ha sido traducida por coeficiente o índice de compacidad, palabra que quizás en castellano no refleja perfectamente lo que la variable significa. Como sea que en diversas ocasiones se la ha denominado *índice de forma*, creemos que es más adecuado designarla con este último nombre en lugar de proponer uno nuevo. Para simbolizarla se utiliza la letra C, tanto en inglés como en castellano, con el fin de reducir al mínimo las posibles confusiones en su utilización.

La expresión que toma el índice de forma es

$$C = \frac{P}{2(\pi \cdot A)^{1/2}} \quad (14)$$

Cuanto mayor sea el valor que tome C , indicará un perímetro superior al que le correspondería al círculo asociado; es decir, indicará cuencas muy lobuladas. De todas formas, C toma valores entre 1 —que correspondería a una cuenca perfectamente circular— hasta un valor cercano a 2 —en que implicaría un perímetro doble al del círculo asociado—, por lo que el campo de variabilidad del índice de forma es pequeño.

3.4.2. *Razón de circularidad (R_c)*. La razón de circularidad fue introducida por Miller en 1935 y relaciona el área (A) de la cuenca en cuestión con el área de un círculo de igual perímetro (P), viniendo esta variable representada por R_c , de tal forma que

$$R_c = \frac{A}{A_c} \quad (15)$$

y efectuando las transformaciones oportunas nos queda una expresión del tipo

$$R_c = \frac{4 \pi A}{p^2} \quad (16)$$

que resulta ser la inversa de la expresión (14); es decir, $R_c = 1/C$, por lo que las dos variables tendrán un mismo significado pero con tendencias contrarias, pareciendo, en principio, no tener sentido calcular las dos variables en un mismo estudio, como posteriormente podremos constatar.

4. CÁLCULO DE LAS VARIABLES MORFOMÉTRICAS EN CUENCAS REALES

Una vez efectuado el análisis de las variables morfométricas de mayor aplicación y significado, pasamos a continuación al cálculo de las mismas en una serie de cuencas de drenaje, 40 en total, con el fin de comprobar la bondad de su aplicación y significación. Posteriormente se ordenarán todas las variables en orden de magnitud, para poder, de este modo, clasificar las cuencas de mayor a menor tamaño, elongación y lobulación. La simetría de las cuencas no ha sido calculada debido a la larga elaboración que precisa y a la poca información que proporciona al tratarse de un trabajo que sólo intenta analizar y cuantificar las formas de una serie de cuencas, sin entrar para nada en su comportamiento hidrológico.

A continuación, efectuaremos de nuevo los cálculos, pero con todas las cuencas reducidas o ampliadas a una misma superficie y así comprobar cómo cambian las variables y cómo se ordenan bajo esta nueva condición, finalizando este capítulo con el análisis de los resultados obtenidos.

4.1. Definición de las cuencas

Las cuencas utilizadas para este estudio, como ya hemos indicado anteriormente, serán 40, número que creemos suficiente para poder extraer alguna conclusión. Todas ellas pertenecen a la cuenca hidrográfica del río Besós y a las rieras del Maresme, pudiéndose identificar unas y otras por las letras B y M respectivamente, las cuales se utilizarán para su numeración.

Sus superficies oscilan entre los casi 300 km² (cuenca M-7) y los 12,25 km² (cuenca

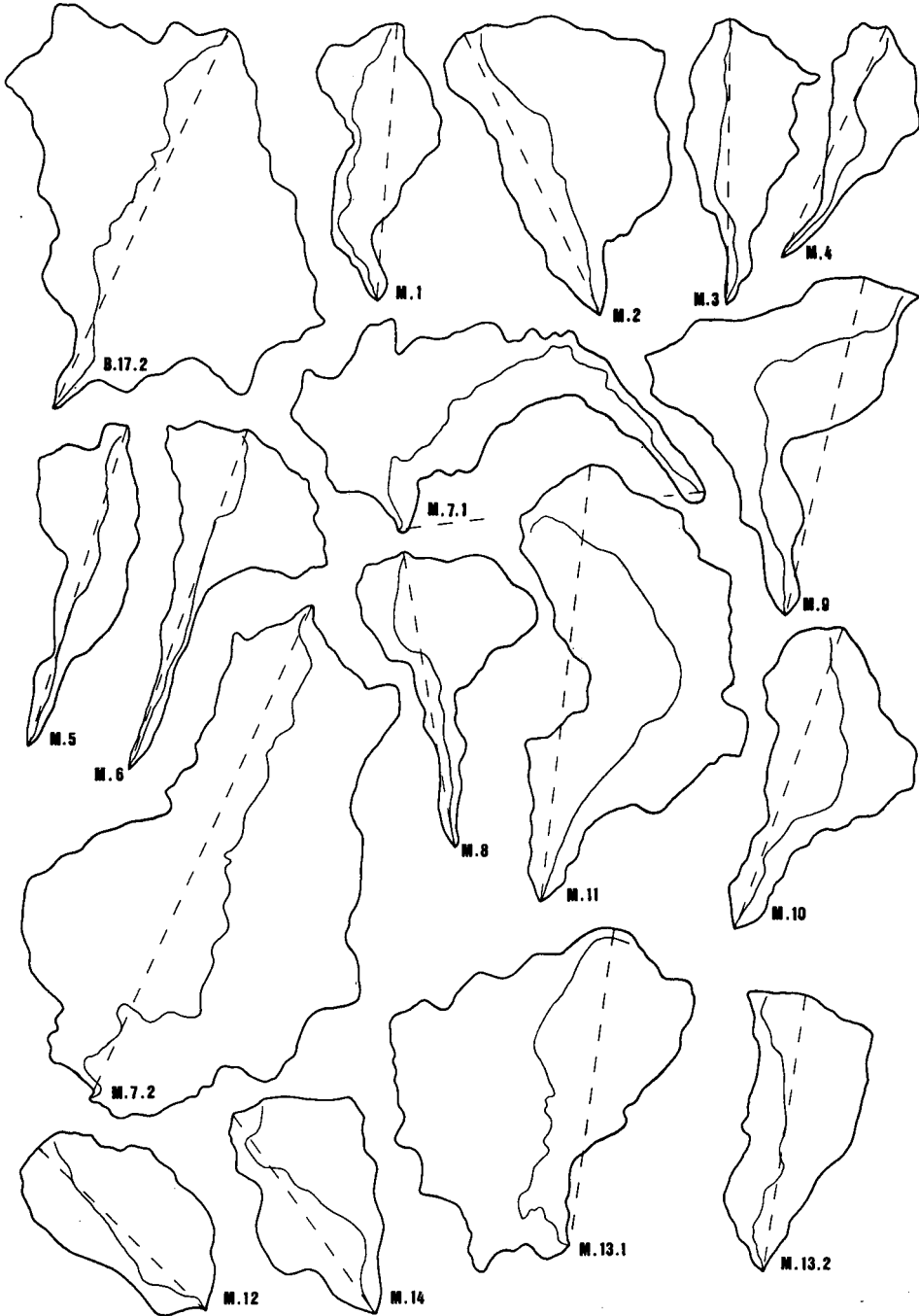


Figura 1. Forma de algunas de las cuencas reales utilizadas para el estudio. No se indica ni escala ni orientación, ya que la forma de la cuenca es independiente de ellas.

M-4), siendo las características litológicas, climáticas, recubrimiento vegetal, orografía, orientación, etc., distintas, pero que, debido al objetivo del presente estudio, no han sido tomadas en cuenta, ya que sólo se intenta cuantificar su forma, no justificarla.

En la figura 1, por razones de impresión, sólo aparecen algunas de las cuencas utilizadas, en las que se ha dibujado el perfil, junto con el trazado del curso principal y la línea de máxima distancia, ya que los cálculos se efectuarán teniendo en cuenta solamente estas dos distancias (L_b y L_w), puesto que L_v daría resultados prácticamente idénticos a L_b para la mayoría de las cuencas debido a su baja sinuosidad.

La cartografía utilizada para el dibujo de los perfiles es la edición del mapa militar a escala 1/50.000, habiendo sido reducidas para su reproducción en este artículo luego de haber efectuado la medición aérea (A), perímetro (P), longitud del curso principal (L_b) y la máxima distancia en línea recta (L_w) y cuyas expresiones numéricas quedan reflejadas en la tabla 1. En la tabla 2 se ordenan las cuencas por el valor de cada una de las cuatro variables medidas directamente sobre su representación gráfica en sentido decreciente a su magnitud, pudiéndose observar que en ninguna de las cuatro variables se mantiene el mismo orden.

4.2. Cálculo de las variables

Las variables que se calculan son las siguientes:

| | |
|--|-------------------------------|
| Área de la cuenca (A) | Medición directa |
| Perímetro de la cuenca (P) | Medición directa |
| Longitud del curso principal (L_b) | Medición directa |
| Máxima longitud en línea recta (L_w) | Medición directa |
| Razón de elongación (R_e) | $R_e = 1,129 \cdot A^{1/2}/L$ |
| Factor de forma (R_f) | $R_f = A/L^2$ |
| Amplitud de la cuenca (W) | $W = A/L$ |
| Coefficiente de Redondez (K) | $K = \pi L^2/4A$ |
| Índice de Forma (C) | $C = P/2 (\pi \cdot A)^{1/2}$ |
| Razón de Circularidad (R_c) | $R_c = 4\pi A/P^2$ |

Las cuatro primeras, las de medición directa, de hecho no se calculan, y su medición ha quedado ya establecida en el apartado anterior; de las seis restantes, en cuatro de ellas aparece la Longitud de la cuenca, por lo que se calculan en base a L_b y L_w . Los resultados obtenidos quedan reflejados en la tabla 3.

Queremos significar en este punto que las unidades utilizadas para la medición son el cm^2 y el cm, y que no se ha efectuado la transformación a las magnitudes reales por ser innecesario en este tipo de variables.

4.3. Análisis de resultados

Aparte del análisis final, a medida que se vayan obteniendo resultados iremos efectuando un análisis parcial de los mismos, de tal forma que, para su mejor comprensión, ordenaremos las 40 cuencas objeto del presente estudio en orden de magnitud tal que la primera nos indique la cuenca de mayor tamaño, mayor elongación y mayor lobulación; de esta forma se ha construido la tabla 4, de la que ya podemos obtener importantes conclusiones.

En efecto, a la vista de dicha tabla (4), podemos afirmar ya que la razón de elongación (R_e), el factor de forma (R_f) y el coeficiente de redondez (K) nos dan una misma clasificación en el estudio de la elongación de una cuenca y que ésta varía ligeramente cuando se trata de L_b o L_w . Igualmente, en el estudio de la lobulación de una cuenca, tanto el índice de forma (C) como la razón de circularidad (R_c) dan una misma gradación, tal como era de prever. Por todo ello, parece que, en principio, de las seis variables calculadas sólo nos serán útiles tres: dos para el estudio de la *elongación* (la amplitud W , y una cualquiera entre R_e , R_f y K), y una para el estudio de la *lobulación* (una cualquiera entre C y R_c).

4.4. Igualación de las superficies de las cuencas

Con el fin de observar el comportamiento de las variables morfométricas en cuencas con una característica común, hemos igualado a un mismo valor la superficie de las mismas que, pudiendo ser cualquiera, hemos escogido la de 100 cm^2 , quedando reflejados en la tabla 5 los nuevos valores.

Con estas nuevas medidas tendríamos que calcular de nuevo las seis restantes variables, pero, debido a la naturaleza de sus expresiones matemáticas, en todos los casos, excepto la amplitud (W), nos va a dar idéntico resultado, puesto que numerador y denominador vendrán multiplicados por idéntico factor, cosa lógica, por otro lado, ya que con esta operación no se varía la forma de la cuenca sino que sólo se amplía o reduce. Así pues, únicamente la amplitud (W) se verá modificada por el hecho de comparar unidades de superficie con unidades de longitud. Los nuevos índices de amplitud (W) quedan reflejados en la tabla 6 en sus dos versiones, ya sea cuando consideramos L_b como cuando utilizamos L_w .

El paso siguiente será una nueva clasificación según el orden de magnitud, en las mismas condiciones que en el caso anterior (tabla 4), observando que las variables L y W (longitud y amplitud de la cuenca) se colocan en el mismo orden que R_e , R_f y K , que, como ya hemos indicado, no varían su valor. Así pues, cualquiera de las cinco variables que aparecen en la tabla 7 será válida para determinar cuál de entre las 40 cuencas objeto de análisis es más elongada que otra.

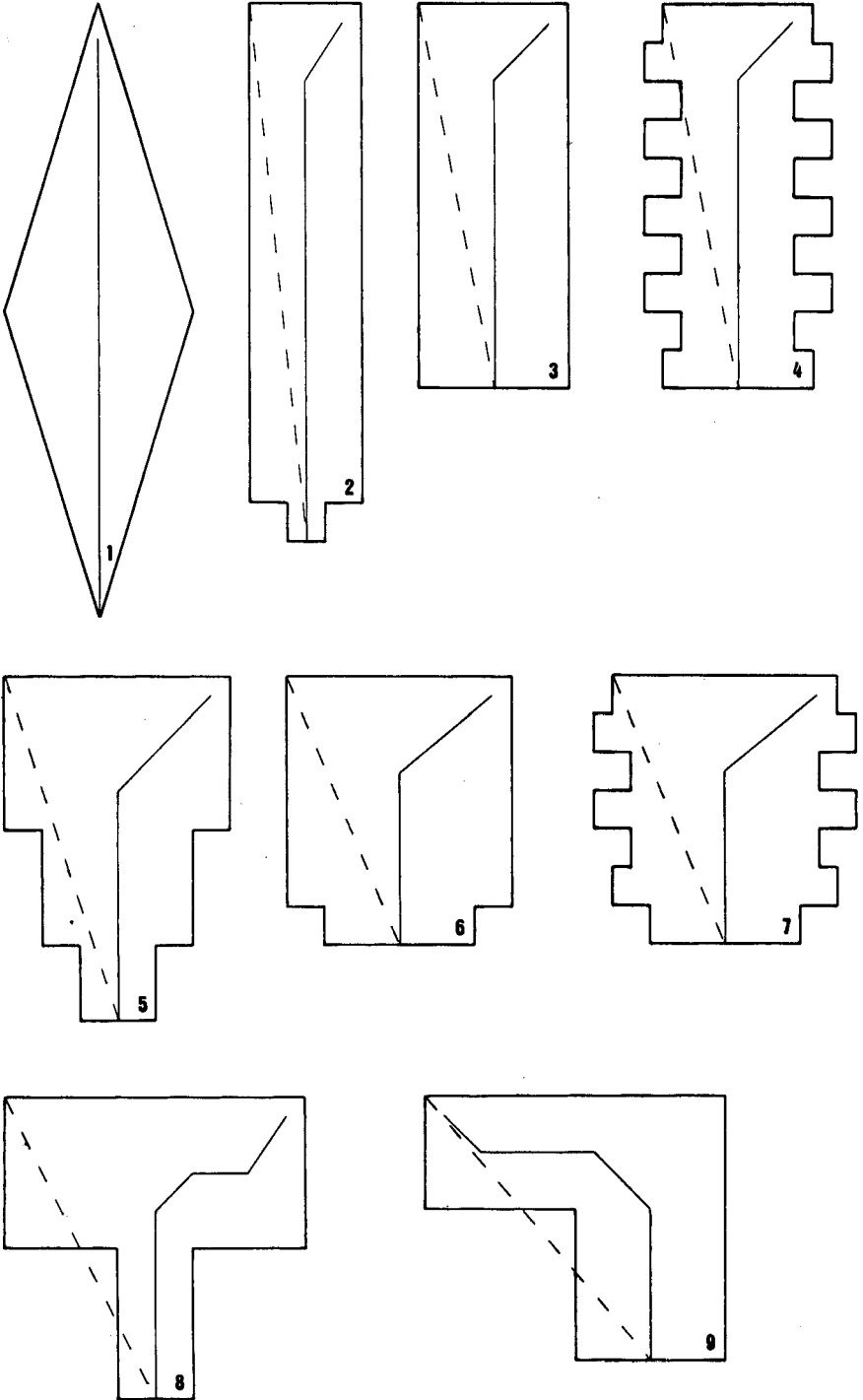
Igualmente ocurre en el estudio de la lobulación (tabla 8), dado que el perímetro de las cuencas en orden de magnitud tiene la misma clasificación que el índice de forma (C) o la razón de circularidad (R_c). Por tanto, cualquiera de las tres nos será útil para conocer, en orden de lobulación, cuál de las cuencas tiene una magnitud superior.

En definitiva, si unificamos para todas las cuencas la magnitud de su superficie, aun sin calcular ningún índice de elongación ni lobulación, podremos conocer en qué orden de magnitud se sitúa una serie de cuencas de drenaje que se quieran estudiar.

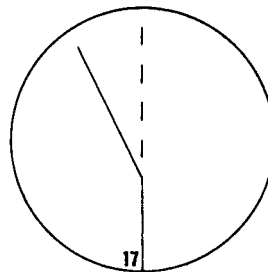
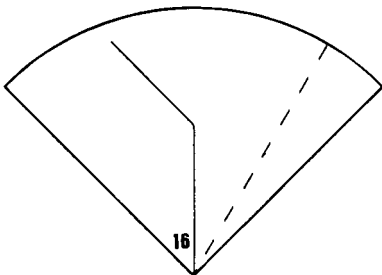
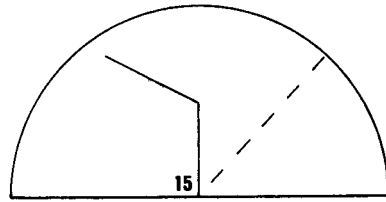
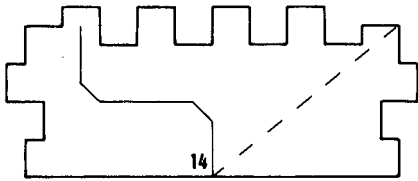
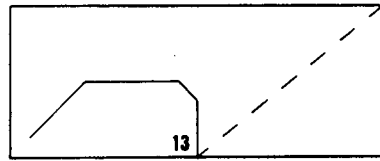
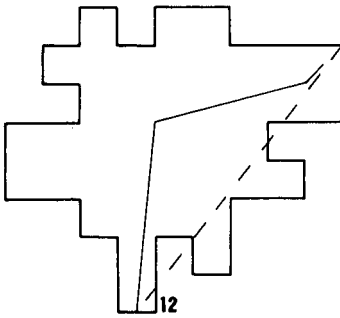
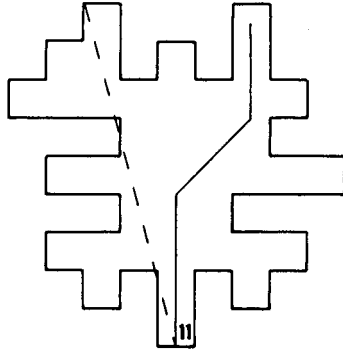
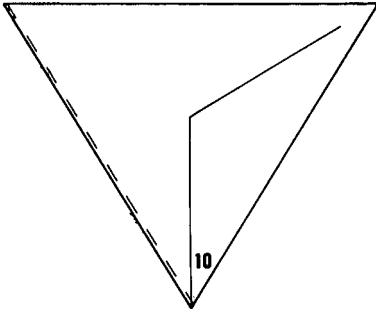
5. CÁLCULO DE LAS VARIABLES MORFOMÉTRICAS EN CUENCAS TIPO

Para completar el estudio de las variables morfométricas que indican el tamaño y forma de una cuenca de drenaje, repetimos los cálculos efectuados en el apartado 4 de este artículo, pero esta vez aplicado a 17 cuencas idealizadas que representan la mayoría de las formas que puedan darse en cuencas reales (figs. 2 y 3).

De este modo, tenemos cuencas desde extremadamente alargadas hasta totalmente



Figuras 2 y 3. Formas idealizadas que pueden tomar las cuencas hidrográficas. Todas ellas han sido dibujadas de tal forma que tienen la misma superficie.



redondeadas, de contorno liso y contorno lobulado, con el objeto de poner así de manifiesto y de manera inequívoca la utilidad de las variables utilizadas.

La característica más común a todas ellas es que tienen igual valor de superficie (40 unidades cuadradas), evitando tener que corregir las demás variables al unificar el valor del área (A), ya que partimos de este supuesto.

Igualmente, mantenemos las dos magnitudes para la variable longitud de la cuenca (L), de tal forma que la longitud del curso principal (L_b) viene representada por una línea continua, mientras que la máxima distancia en línea recta (L_w) viene representada por la línea discontinua.

5.1. Cálculo de las variables

En el cálculo de las variables seguiremos el mismo esquema del apartado 4.2, de tal forma que tanto las variables de medición directa como las elaboradas a partir de las primeras toman los valores reflejados en la tabla 9.

Queremos hacer notar que las cuencas señaladas con los números 3, 4 y 11 tienen idéntico valor, tanto para L_b como para L_w . Las cuencas 3 y 4, 6 y 7, 8 y 10 tienen igual valor para L_b , mientras que las cuencas 3 y 4, 6 y 7, 13 y 14 obtienen la misma medida para L_w , ya que tienen la misma forma geométrica, aunque la segunda de cada una de las parejas es muy lobulada, y la primera, no. Las cuencas 3 y 13 tienen exactamente la misma forma geométrica, aunque su disposición y funcionamiento hidrológico son, evidentemente, distintos.

5.2. Análisis de resultados

Al igual que en el apartado 4.3, ordenamos las 17 cuencas tipo en orden de magnitud de cada una de las variables, dando unos resultados similares al análisis de las 40 cuencas reales. La elongación puede evaluarse por cualquiera de sus variables, ya que todas dan el mismo orden de magnitud. Igual ocurre con la lobulación que sirve cualquiera de las dos variables interesadas (tabla 10).

Si comparamos los resultados obtenidos por las cuencas 3 y 13, se observa que la primera presenta mayor elongación, a la vez que ambas tienen idénticos valores de lobulación, lo que nos indicará una misma forma geométrica, pero una distribución muy distinta de la red de drenaje.

Las cuencas 3 y 4 dan valores iguales cuando se analiza su elongación, pero la número 4 da un índice de lobulación muy superior a la 3, lo que nos indicará una misma distribución de la red de drenaje, pero con una forma mucho más lobulada para la cuenca 4. Iguales conclusiones pueden extraerse entre las cuencas 6 y 7 ó 13 y 14.

Queremos significar que, cuando hablamos de la distribución de la red de drenaje, lo hacemos sólo en función del curso principal, ya que para el análisis de dicha red debe utilizarse otro tipo de variables morfométricas.

Si analizamos el uso de L_b o L_w , observamos que no tiene una importancia decisiva en la mayoría de las cuencas, porque dan valores similares. Sólo la cuenca 9 acusa una variación significativa, dada su peculiar forma, ya que, ateniéndonos a la longitud del curso principal (L_b), está situada entre las cuencas muy elongadas; en cambio, al considerar la máxima distancia en línea recta (L_w), nos queda situada en mitad de la clasificación.

6. RELACIONES ENTRE LAS CUENCAS REALES Y LAS CUENCAS TIPO

Una vez efectuados los estudios de las formas de las cuencas reales y de las cuencas tipo, realizaremos a continuación el análisis de las relaciones existentes entre unas y otras.

Para ello hemos utilizado varios métodos con el fin de hallar el que mejor refleje las analogías entre las cuencas reales y las cuencas tipo. Si nos fijamos exclusivamente en los gráficos en que se representan las respectivas cuencas, podemos observar que las cuencas reales pueden al menos asimilarse a una de las cuencas tipo. Pero, al pasar los índices que las caracterizan, vemos que éstos difieren, en la mayoría de los casos, en demasía como para afirmar que sus formas son semejantes.

No obteniendo con este método los resultados apetecidos, hemos efectuado el análisis a la inversa; es decir, buscando las cuencas en que coincidan los índices. Sólo en un caso coinciden prácticamente la totalidad de ellos —cuenca M-4 con la cuenca 1—, y vistas las representaciones gráficas de ambas, comprobamos que sus formas no son exactamente coincidentes sino que difieren, sobre todo, en la zona de cabecera.

7. CONCLUSIONES

Las conclusiones que se extraen del presente trabajo pueden resumirse en los siguientes puntos:

- 7.1. Para el cálculo de la elongación de una cuenca sólo se precisa conocer su amplitud (W) y una cualquiera de las variables: razón de elongación (R_e), factor de forma (R_f) o coeficiente de redondez (K), ya que las tres son proporcionales.
- 7.2. Para conocer la forma más o menos lobulada de una cuenca sólo será preciso el cálculo del índice de forma (C) o el de la razón de circularidad (R_c), ya que las dos variables son proporcionales.
- 7.3. Cuando se comparan las formas de diversas cuencas, la más elongada será la que tome para
 R_e el valor inferior,
 R_f el valor inferior y será inferior al de R_c ,
 W el valor superior,
 K el valor superior y será superior al de W .
- 7.4. En el mismo supuesto anterior, la cuenca más lobulada será la que tome para
 C el valor superior,
 R_c el valor inferior.
- 7.5. De todas formas, en el estudio de la elongación de diversas cuencas, si las reducimos todas a igual superficie, la más elongada será la que tenga mayor longitud, haciéndose innecesario el cálculo de las demás variables.
- 7.6. Igualmente, en el caso del estudio de la lobulación de diversas cuencas, a igualdad de superficie, la más lobulada será la que tenga mayor perímetro, haciéndose innecesario el cálculo de las demás variables.
- 7.7. Salvo pequeñas excepciones en el análisis de la forma de una cuenca, la variable «longitud» puede tomarse tanto L_b como L_w , con resultados muy similares.
- 7.8. Las variables centro de gravedad ($C.G.$) y la distancia al centro de gravedad

(L_{ca}) no dan más luz al problema del análisis de la forma, a la vez que su cálculo representa una larga elaboración. En el estudio del comportamiento hidrológico de una cuenca, sí que será preciso el cálculo de dichas variables.

- 7.9. Todos estos resultados son aplicables, tanto al análisis de cuencas reales como al de las cuencas tipo. Al relacionar unas formas y otras, los resultados no han sido lo suficientemente satisfactorios, debido posiblemente a:
- a) el bajo número de cuencas analizadas,
 - b) las cuencas tipo han sido demasiado idealizadas,
 - c) la complejidad de las formas en las cuencas reales.

De todas formas, creemos que el presente trabajo aclara muchos conceptos, y es un primer paso para una mayor profundización de los estudios morfométricos en cuencas de drenaje.

Tabla 1. Variables de medición directa

| N.º | Cuenca | A | P | L _p | L _m |
|-----|--------|---------|-------|----------------|----------------|
| 1 | B-1 | 116,125 | 61,60 | 31,00 | 27,60 |
| 2 | B-2-1 | 41,625 | 26,75 | 8,80 | 7,55 |
| 3 | B-2-2 | 71,625 | 36,75 | 13,05 | 11,10 |
| 4 | B-2 | 183,875 | 60,90 | 24,75 | 19,95 |
| 5 | B-3-1 | 40,000 | 29,20 | 12,50 | 9,10 |
| 6 | B-3-2 | 163,250 | 61,25 | 23,35 | 15,40 |
| 7 | B-3 | 218,500 | 66,30 | 29,70 | 21,50 |
| 8 | B-4-1 | 18,750 | 18,80 | 8,00 | 7,25 |
| 9 | B-4-2 | 67,375 | 35,60 | 11,30 | 10,40 |
| 10 | B-4 | 135,625 | 50,95 | 14,90 | 12,10 |
| 11 | B-5-1 | 37,500 | 25,00 | 9,95 | 8,20 |
| 12 | B-6 | 116,250 | 56,35 | 26,10 | 25,50 |
| 13 | B-7-1 | 114,625 | 69,00 | 34,00 | 28,45 |
| 14 | B-7-2 | 53,375 | 40,25 | 22,10 | 18,15 |
| 15 | B-7 | 212,250 | 89,45 | 46,75 | 38,30 |
| 16 | B-9-1 | 77,625 | 57,10 | 27,75 | 22,90 |
| 17 | B-10 | 203,375 | 79,75 | 34,10 | 23,80 |
| 18 | B-11 | 54,250 | 31,15 | 10,25 | 11,40 |
| 19 | B-14-1 | 36,250 | 25,60 | 10,75 | 8,65 |
| 20 | B-15 | 150,125 | 58,85 | 23,25 | 19,90 |
| 21 | B-16 | 259,000 | 81,15 | 25,30 | 21,70 |
| 22 | B-17-2 | 79,125 | 41,30 | 14,25 | 12,90 |
| 23 | M-1 | 17,375 | 21,50 | 9,30 | 8,50 |
| 24 | M-2 | 38,375 | 27,10 | 10,00 | 9,65 |
| 25 | M-3 | 19,125 | 22,15 | 9,05 | 8,70 |
| 26 | M-4 | 12,250 | 18,50 | 8,15 | 7,80 |
| 27 | M-5 | 18,125 | 24,00 | 10,50 | 10,35 |
| 28 | M-6 | 22,875 | 29,35 | 11,30 | 11,10 |
| 29 | M-7-1 | 37,375 | 38,95 | 16,00 | 9,80 |
| 30 | M-7-2 | 108,000 | 57,10 | 20,50 | 16,80 |
| 31 | M-7 | 296,375 | 92,00 | 39,90 | 25,90 |
| 32 | M-8 | 20,625 | 25,40 | 9,75 | 9,25 |
| 33 | M-9 | 36,000 | 32,20 | 13,50 | 10,70 |
| 34 | M-10 | 26,125 | 25,00 | 10,65 | 9,85 |
| 35 | M-11 | 57,625 | 38,50 | 16,00 | 13,60 |
| 36 | M-12 | 22,125 | 19,25 | 7,90 | 7,35 |
| 37 | M-13-1 | 61,875 | 34,50 | 13,50 | 10,00 |
| 38 | M-13-2 | 24,125 | 22,00 | 9,00 | 8,85 |
| 39 | M-13 | 154,625 | 56,20 | 25,00 | 18,00 |
| 40 | M-14 | 22,875 | 20,25 | 8,20 | 7,70 |

A = Área de la cuenca.

P = Perímetro de la cuenca.

L_p = Longitud curso principal.L_m = Máxima distancia en línea recta.

Tabla 2. Clasificación por su magnitud de las variables de medición directa

| N.º | A | P | L _b | L _m |
|------|----|----|----------------|----------------|
| 1.º | 31 | 31 | 15 | 15 |
| 2.º | 21 | 15 | 31 | 13 |
| 3.º | 7 | 21 | 17 | 1 |
| 4.º | 15 | 17 | 13 | 31 |
| 5.º | 17 | 13 | 1 | 12 |
| 6.º | 4 | 7 | 7 | 17 |
| 7.º | 6 | 1 | 16 | 16 |
| 8.º | 39 | 6 | 12 | 21 |
| 9.º | 20 | 4 | 21 | 7 |
| 10.º | 10 | 20 | 39 | 4 |
| 11.º | 12 | 16 | 4 | 20 |
| 12.º | 1 | 30 | 6 | 14 |
| 13.º | 13 | 12 | 20 | 39 |
| 14.º | 30 | 39 | 14 | 30 |
| 15.º | 22 | 10 | 30 | 6 |
| 16.º | 16 | 16 | 22 | 35 |
| 17.º | 3 | 14 | 35 | 22 |
| 18.º | 9 | 29 | 10 | 10 |
| 19.º | 37 | 35 | 22 | 18 |
| 20.º | 35 | 3 | 33 | 3 |
| 21.º | 18 | 9 | 37 | 28 |
| 22.º | 14 | 37 | 3 | 33 |
| 23.º | 2 | 33 | 5 | 9 |
| 24.º | 5 | 18 | 9 | 27 |
| 25.º | 24 | 28 | 28 | 37 |
| 26.º | 11 | 5 | 19 | 34 |
| 27.º | 29 | 24 | 34 | 29 |
| 28.º | 19 | 2 | 27 | 24 |
| 29.º | 33 | 19 | 18 | 32 |
| 30.º | 34 | 32 | 24 | 5 |
| 31.º | 38 | 11 | 11 | 38 |
| 32.º | 28 | 34 | 32 | 25 |
| 33.º | 40 | 27 | 23 | 19 |
| 34.º | 36 | 25 | 25 | 23 |
| 35.º | 32 | 38 | 38 | 11 |
| 36.º | 25 | 23 | 2 | 26 |
| 37.º | 8 | 40 | 40 | 40 |
| 38.º | 27 | 36 | 26 | 2 |
| 39.º | 23 | 8 | 8 | 36 |
| 40.º | 26 | 26 | 36 | 8 |

Las cuencas se identifican por el número asignado en la tabla n.º 1.

Tabla 3. Variables calculadas

| Cuenca | En función de L_n | | | | En función de L_n | | | | | |
|--------|---------------------|-------|-------|------|---------------------|-------|-------|------|------|-------|
| | R_e | R_f | W | K | R_e | R_f | W | K | C | R_c |
| 1 | 0,39 | 0,12 | 3,75 | 6,50 | 0,44 | 0,15 | 4,21 | 5,15 | 1,61 | 0,39 |
| 2 | 0,83 | 0,54 | 4,73 | 1,46 | 0,96 | 0,73 | 5,51 | 1,08 | 1,17 | 0,73 |
| 3 | 0,73 | 0,42 | 5,49 | 1,87 | 0,86 | 0,58 | 6,45 | 1,35 | 1,22 | 0,67 |
| 4 | 0,62 | 0,30 | 7,43 | 2,62 | 0,77 | 0,46 | 9,22 | 1,70 | 1,27 | 0,62 |
| 5 | 0,57 | 0,26 | 3,20 | 3,07 | 0,78 | 0,48 | 4,40 | 1,63 | 1,30 | 0,59 |
| 6 | 0,62 | 0,30 | 6,99 | 2,62 | 0,94 | 0,69 | 10,60 | 1,14 | 1,35 | 0,55 |
| 7 | 0,56 | 0,25 | 7,36 | 3,17 | 0,78 | 0,47 | 10,16 | 1,66 | 1,27 | 0,62 |
| 8 | 0,61 | 0,29 | 2,34 | 2,68 | 0,67 | 0,36 | 2,59 | 2,20 | 1,22 | 0,67 |
| 9 | 0,82 | 0,53 | 5,96 | 1,49 | 0,89 | 0,62 | 6,48 | 1,26 | 1,22 | 0,67 |
| 10 | 0,88 | 0,61 | 9,10 | 1,29 | 1,09 | 0,93 | 11,21 | 0,85 | 1,23 | 0,66 |
| 11 | 0,69 | 0,38 | 3,77 | 2,07 | 0,84 | 0,56 | 4,57 | 1,41 | 1,15 | 0,75 |
| 12 | 0,47 | 0,17 | 4,45 | 4,60 | 0,50 | 0,19 | 4,74 | 4,06 | 1,47 | 0,46 |
| 13 | 0,36 | 0,10 | 3,37 | 7,92 | 0,42 | 0,14 | 4,03 | 5,55 | 1,82 | 0,30 |
| 14 | 0,37 | 0,11 | 2,42 | 7,19 | 0,45 | 0,16 | 2,94 | 4,85 | 1,55 | 0,41 |
| 15 | 0,35 | 0,10 | 4,54 | 8,09 | 0,43 | 0,14 | 5,54 | 5,43 | 1,73 | 0,33 |
| 16 | 0,36 | 0,10 | 2,80 | 7,79 | 0,43 | 0,15 | 3,39 | 5,31 | 1,83 | 0,30 |
| 17 | 0,47 | 0,17 | 5,96 | 4,49 | 0,68 | 0,36 | 8,55 | 2,19 | 1,58 | 0,40 |
| 18 | 0,81 | 0,52 | 5,29 | 1,52 | 0,73 | 0,42 | 4,76 | 1,88 | 1,19 | 0,70 |
| 19 | 0,63 | 0,31 | 3,37 | 2,50 | 0,79 | 0,48 | 4,19 | 1,62 | 1,20 | 0,70 |
| 20 | 0,59 | 0,28 | 6,46 | 2,83 | 0,70 | 0,38 | 7,54 | 2,07 | 1,35 | 0,54 |
| 21 | 0,72 | 0,40 | 10,24 | 1,94 | 0,84 | 0,55 | 11,94 | 1,43 | 1,42 | 0,49 |
| 22 | 0,70 | 0,39 | 5,55 | 2,02 | 0,78 | 0,48 | 6,13 | 1,65 | 1,31 | 0,58 |
| 23 | 0,51 | 0,20 | 1,87 | 3,91 | 0,55 | 0,24 | 2,04 | 3,27 | 1,46 | 0,47 |
| 24 | 0,70 | 0,38 | 3,84 | 2,05 | 0,72 | 0,41 | 3,98 | 1,91 | 1,23 | 0,66 |
| 25 | 0,55 | 0,23 | 2,11 | 3,36 | 0,57 | 0,25 | 2,20 | 3,11 | 1,43 | 0,49 |
| 26 | 0,48 | 0,18 | 1,50 | 4,26 | 0,51 | 0,20 | 1,57 | 3,90 | 1,49 | 0,45 |
| 27 | 0,46 | 0,16 | 1,73 | 4,78 | 0,46 | 0,17 | 1,75 | 4,64 | 1,59 | 0,40 |
| 28 | 0,48 | 0,18 | 2,02 | 4,38 | 0,49 | 0,19 | 2,06 | 4,23 | 1,73 | 0,33 |
| 29 | 0,43 | 0,15 | 2,34 | 5,38 | 0,70 | 0,39 | 3,81 | 2,02 | 1,80 | 0,31 |
| 30 | 0,57 | 0,26 | 5,27 | 3,06 | 0,70 | 0,38 | 6,43 | 2,05 | 1,55 | 0,42 |
| 31 | 0,49 | 0,19 | 7,43 | 4,22 | 0,75 | 0,44 | 11,44 | 1,78 | 1,51 | 0,44 |
| 32 | 0,53 | 0,22 | 2,12 | 3,62 | 0,55 | 0,24 | 2,23 | 3,26 | 1,58 | 0,40 |
| 33 | 0,50 | 0,20 | 2,67 | 3,98 | 0,63 | 0,31 | 3,36 | 2,50 | 1,51 | 0,44 |
| 34 | 0,54 | 0,23 | 2,45 | 3,41 | 0,59 | 0,27 | 2,65 | 2,92 | 1,38 | 0,53 |
| 35 | 0,54 | 0,23 | 3,60 | 3,49 | 0,63 | 0,31 | 4,24 | 2,52 | 1,43 | 0,49 |
| 36 | 0,67 | 0,35 | 2,80 | 2,22 | 0,72 | 0,41 | 3,01 | 1,92 | 1,15 | 0,75 |
| 37 | 0,66 | 0,34 | 4,58 | 2,31 | 0,89 | 0,62 | 6,19 | 1,27 | 1,24 | 0,65 |
| 38 | 0,62 | 0,30 | 2,68 | 2,64 | 0,63 | 0,31 | 2,73 | 2,55 | 1,26 | 0,63 |
| 39 | 0,56 | 0,25 | 6,19 | 3,17 | 0,78 | 0,48 | 8,59 | 1,65 | 1,27 | 0,62 |
| 40 | 0,66 | 0,34 | 2,79 | 2,31 | 0,70 | 0,39 | 2,97 | 2,04 | 1,19 | 0,70 |

R_e = Razón de elongación.

R_f = Factor de forma.

W = Amplitud.

K = Coeficiente de redondez.

C = Índice de forma.

R_c = Razón de circularidad.

Tabla 4. Clasificación por su magnitud de las variables calculadas

| N.º | En función de L_n | | | | En función de L_n | | | | | |
|------|---------------------|-------|-----|-----|---------------------|-------|----|-----|-----|-------|
| | R_c | R_f | W | K | R_c | R_f | W | K | C | R_c |
| 1.º | 10 | 10 | 21 | 10 | 10 | 10 | 21 | 10 | 16 | 16* |
| 2.º | 2 | 2 | 10 | 2 | 2 | 2 | 31 | 2 | 13 | 13* |
| 3.º | 9 | 9 | 4* | 9 | 6 | 6 | 10 | 6 | 29 | 29 |
| 4.º | 18 | 18 | 31* | 18 | 9* | 9* | 6 | 9 | 15* | 15* |
| 5.º | 3 | 3 | 7 | 3 | 37* | 37* | 7 | 37 | 28* | 28* |
| 6.º | 21 | 21 | 6 | 21 | 3 | 3 | 4 | 3 | 1 | 1 |
| 7.º | 22* | 22 | 20 | 22 | 11* | 11 | 39 | 11 | 27 | 27* |
| 8.º | 24* | 24* | 39 | 24 | 21* | 21 | 17 | 21 | 17* | 17* |
| 9.º | 11 | 11* | 9* | 11 | 19 | 19* | 20 | 19 | 32* | 32* |
| 10.º | 36 | 36 | 17* | 36 | 5* | 5* | 9 | 5 | 14* | 14 |
| 11.º | 37* | 37* | 22 | 37* | 7* | 22 | 3 | 22* | 30* | 30 |
| 12.º | 40* | 40* | 3 | 40* | 22* | 39 | 30 | 39* | 31* | 31* |
| 13.º | 19 | 19 | 18 | 19 | 39* | 7 | 37 | 7 | 33* | 33* |
| 14.º | 4* | 4* | 30 | 4* | 4 | 4 | 22 | 4 | 26 | 26 |
| 15.º | 6* | 6* | 2 | 6* | 31 | 31 | 15 | 31 | 12 | 12 |
| 16.º | 38* | 38* | 37 | 38 | 18 | 18 | 2 | 18 | 23 | 23 |
| 17.º | 8 | 8 | 15 | 8 | 24* | 24* | 18 | 24 | 25* | 25* |
| 18.º | 20 | 20 | 12 | 20 | 36* | 36* | 12 | 36 | 35* | 35* |
| 19.º | 5* | 5* | 24 | 30 | 20* | 29* | 11 | 29 | 21 | 21* |
| 20.º | 30* | 30* | 11 | 5 | 29* | 40* | 5 | 40 | 34 | 34 |
| 21.º | 7* | 7* | 1 | 7* | 30* | 20* | 35 | 20 | 6* | 20 |
| 22.º | 39* | 39* | 35 | 39* | 40* | 30* | 1 | 30 | 20* | 6 |
| 23.º | 25 | 25* | 13* | 25 | 17 | 17* | 19 | 17 | 22 | 22 |
| 24.º | 34* | 34* | 19 | 34 | 8 | 8* | 13 | 8 | 5 | 5 |
| 25.º | 35* | 35* | 5 | 35 | 33* | 33* | 24 | 33 | 4* | 4* |
| 26.º | 32 | 32 | 16* | 32 | 35* | 35* | 29 | 35 | 7* | 7* |
| 27.º | 23 | 23* | 36* | 23 | 38* | 38* | 16 | 38 | 39* | 39* |
| 28.º | 33 | 33* | 40 | 33 | 34 | 34 | 33 | 34 | 38 | 38 |
| 29.º | 31 | 31 | 38 | 31 | 25 | 25 | 36 | 25 | 37 | 37 |
| 30.º | 26* | 26* | 33 | 26 | 23* | 23* | 40 | 32 | 10* | 10* |
| 31.º | 28* | 28* | 34 | 28 | 32* | 32* | 14 | 23 | 24* | 24* |
| 32.º | 12* | 12* | 14 | 17 | 26 | 26 | 38 | 26 | 3* | 3* |
| 33.º | 17* | 17* | 8* | 12 | 12 | 12* | 34 | 12 | 8* | 8* |
| 34.º | 27 | 27 | 29* | 27 | 28 | 28* | 8 | 28 | 9* | 9* |
| 35.º | 29 | 29 | 32 | 29 | 27 | 27 | 32 | 27 | 19 | 19* |
| 36.º | 1 | 1 | 25 | 1 | 14 | 14 | 25 | 14 | 18* | 18* |
| 37.º | 14 | 14 | 28 | 14 | 1 | 1 | 28 | 1 | 40* | 40* |
| 38.º | 13* | 13* | 23 | 16 | 15* | 16 | 23 | 16 | 2 | 2 |
| 39.º | 16* | 16* | 27 | 13 | 16* | 15* | 27 | 15 | 11* | 11* |
| 40.º | 15 | 15* | 26 | 15 | 13 | 13* | 26 | 13 | 36* | 36* |

R_c = Razón de elongación.

K = Coeficiente de redondez.

R_f = Factor de forma.

C = Índice de forma.

W = Amplitud.

R_c = Razón de circularidad.

* indica igual valor.

Tabla 5. Nuevos valores de las variables de medición directa al igualar todas las cuencas a una misma superficie

| Cuenca | factor | A' | P' | L _a ' | L _v ' |
|--------|-----------|-----|-------|------------------|------------------|
| 1 | 0,8611410 | 100 | 57,07 | 28,77 | 25,61 |
| 2 | 2,4024024 | 100 | 41,46 | 13,64 | 11,70 |
| 3 | 1,3961606 | 100 | 43,42 | 15,42 | 13,12 |
| 4 | 0,5438477 | 100 | 44,91 | 18,25 | 14,71 |
| 5 | 2,5000000 | 100 | 46,17 | 19,76 | 14,39 |
| 6 | 0,6125574 | 100 | 47,94 | 18,28 | 12,05 |
| 7 | 0,4576659 | 100 | 44,85 | 20,09 | 14,54 |
| 8 | 5,3333333 | 100 | 43,42 | 18,48 | 16,74 |
| 9 | 1,4842301 | 100 | 43,37 | 13,77 | 12,67 |
| 10 | 0,7373272 | 100 | 43,75 | 12,79 | 10,39 |
| 11 | 2,6666667 | 100 | 40,82 | 16,25 | 13,39 |
| 12 | 0,8602151 | 100 | 52,26 | 24,21 | 22,72 |
| 13 | 0,8724100 | 100 | 64,45 | 31,76 | 26,57 |
| 14 | 1,8735363 | 100 | 55,09 | 30,25 | 24,84 |
| 15 | 0,4711425 | 100 | 61,40 | 32,09 | 26,29 |
| 16 | 1,2882448 | 100 | 64,81 | 31,50 | 25,99 |
| 17 | 0,4917025 | 100 | 55,92 | 23,91 | 16,69 |
| 18 | 1,8433180 | 100 | 42,29 | 13,92 | 15,48 |
| 19 | 2,7586207 | 100 | 42,52 | 17,85 | 14,37 |
| 20 | 0,6661116 | 100 | 48,03 | 18,98 | 16,24 |
| 21 | 0,3861004 | 100 | 50,42 | 15,72 | 13,48 |
| 22 | 1,2638231 | 100 | 46,43 | 16,02 | 14,50 |
| 23 | 5,7553957 | 100 | 51,58 | 22,31 | 20,39 |
| 24 | 2,6058632 | 100 | 43,75 | 16,14 | 15,58 |
| 25 | 5,2287582 | 100 | 50,65 | 20,69 | 19,89 |
| 26 | 8,1632653 | 100 | 52,86 | 23,29 | 22,29 |
| 27 | 5,5172414 | 100 | 56,37 | 24,66 | 24,31 |
| 28 | 4,3715847 | 100 | 61,37 | 23,63 | 23,21 |
| 29 | 2,6755853 | 100 | 63,71 | 26,17 | 16,03 |
| 30 | 0,9259259 | 100 | 54,94 | 19,73 | 16,17 |
| 31 | 0,3374104 | 100 | 53,44 | 23,18 | 15,04 |
| 32 | 4,8484848 | 100 | 55,93 | 21,47 | 20,37 |
| 33 | 2,7777778 | 100 | 53,67 | 22,50 | 17,83 |
| 34 | 3,8277512 | 100 | 48,91 | 20,84 | 19,27 |
| 35 | 1,7353579 | 100 | 50,72 | 21,08 | 17,92 |
| 36 | 4,5197740 | 100 | 40,93 | 16,80 | 15,63 |
| 37 | 1,6161616 | 100 | 43,86 | 17,16 | 12,71 |
| 38 | 4,1450777 | 100 | 44,79 | 18,32 | 18,02 |
| 39 | 0,6467259 | 100 | 45,18 | 20,10 | 14,47 |
| 40 | 4,3715847 | 100 | 42,34 | 17,14 | 16,10 |

Tabla 6. Nuevos valores de la amplitud

| Cuenca | W(L _n) | W(L _n) |
|--------|--------------------|--------------------|
| 1 | 3,476 | 3,905 |
| 2 | 7,331 | 8,547 |
| 3 | 6,485 | 7,622 |
| 4 | 5,479 | 6,798 |
| 5 | 5,061 | 6,949 |
| 6 | 5,470 | 8,299 |
| 7 | 4,978 | 6,878 |
| 8 | 5,411 | 5,974 |
| 9 | 7,262 | 7,893 |
| 10 | 7,819 | 9,625 |
| 11 | 6,154 | 7,468 |
| 12 | 4,131 | 4,401 |
| 13 | 3,149 | 3,764 |
| 14 | 3,306 | 4,026 |
| 15 | 3,116 | 3,804 |
| 16 | 3,175 | 3,848 |
| 17 | 4,182 | 5,992 |
| 18 | 7,184 | 6,460 |
| 19 | 5,602 | 6,959 |
| 20 | 5,269 | 6,158 |
| 21 | 6,361 | 7,418 |
| 22 | 6,242 | 6,897 |
| 23 | 4,482 | 4,904 |
| 24 | 6,196 | 6,418 |
| 25 | 4,833 | 5,028 |
| 26 | 4,294 | 4,486 |
| 27 | 4,055 | 4,114 |
| 28 | 4,232 | 4,308 |
| 29 | 3,821 | 6,238 |
| 30 | 5,068 | 6,184 |
| 31 | 4,314 | 6,649 |
| 32 | 4,658 | 4,909 |
| 33 | 4,444 | 5,609 |
| 34 | 4,798 | 5,189 |
| 35 | 4,744 | 5,580 |
| 36 | 5,952 | 6,398 |
| 37 | 5,828 | 7,868 |
| 38 | 5,459 | 5,549 |
| 39 | 4,975 | 6,911 |
| 40 | 5,834 | 6,211 |

Tabla 7. Clasificación por su magnitud de las variables de elongación una vez igualadas las superficies

| N.º | En función de L_n | | | | | En función de L_n | | | | |
|------|---------------------|-------|-------|----|----|---------------------|-------|-------|----|----|
| | L_n | R_c | R_r | W | K | L_n | R_c | R_r | W | K |
| 1.º | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 2.º | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3.º | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| 4.º | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| 5.º | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 |
| 6.º | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 7.º | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| 8.º | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 9.º | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 |
| 10.º | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 11.º | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 |
| 12.º | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| 13.º | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| 14.º | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 15.º | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16.º | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 |
| 17.º | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 |
| 18.º | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 |
| 19.º | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 |
| 20.º | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| 21.º | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| 22.º | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 23.º | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 |
| 24.º | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 25.º | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 |
| 26.º | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| 27.º | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 |
| 28.º | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 |
| 29.º | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 30.º | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 31.º | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 |
| 32.º | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| 33.º | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| 34.º | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 |
| 35.º | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| 36.º | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 |
| 37.º | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 38.º | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 39.º | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| 40.º | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 |

Tabla 8. Clasificación por su magnitud de las variables de lobulación una vez igualadas las superficies

| N.º | P | C | R. |
|------|----|----|----|
| 1.º | 16 | 16 | 16 |
| 2.º | 13 | 13 | 13 |
| 3.º | 29 | 29 | 29 |
| 4.º | 15 | 15 | 15 |
| 5.º | 28 | 28 | 28 |
| 6.º | 1 | 1 | 1 |
| 7.º | 27 | 27 | 27 |
| 8.º | 32 | 32 | 32 |
| 9.º | 17 | 17 | 17 |
| 10.º | 14 | 14 | 14 |
| 11.º | 30 | 30 | 30 |
| 12.º | 33 | 33 | 33 |
| 13.º | 31 | 31 | 31 |
| 14.º | 26 | 26 | 26 |
| 15.º | 12 | 12 | 12 |
| 16.º | 23 | 23 | 23 |
| 17.º | 35 | 35 | 35 |
| 18.º | 25 | 25 | 25 |
| 19.º | 21 | 21 | 21 |
| 20.º | 34 | 34 | 34 |
| 21.º | 20 | 20 | 20 |
| 22.º | 6 | 6 | 6 |
| 23.º | 22 | 22 | 22 |
| 24.º | 5 | 5 | 5 |
| 25.º | 39 | 39 | 39 |
| 26.º | 4 | 4 | 4 |
| 27.º | 7 | 7 | 7 |
| 28.º | 38 | 38 | 38 |
| 29.º | 37 | 37 | 37 |
| 30.º | 10 | 10 | 10 |
| 31.º | 24 | 24 | 24 |
| 32.º | 3 | 3 | 3 |
| 33.º | 8 | 8 | 8 |
| 34.º | 9 | 9 | 9 |
| 35.º | 19 | 19 | 19 |
| 36.º | 40 | 40 | 40 |
| 37.º | 18 | 18 | 18 |
| 38.º | 2 | 2 | 2 |
| 39.º | 36 | 36 | 36 |
| 40.º | 11 | 11 | 11 |

Resumé: Forme d'un bassin de drainage. Analyse des variables morphométriques qui nous font sa définition

On réalise l'analyse d'onze variables morphométriques qui nous font la définition d'un bassin, en quatre aspects différents: Volume, symétrie, élongation, et forme du périmètre. D'abord, on effectue une courte analyse théorique de chacune des variables encadrées dans l'aspect de la forme qui intéresse; de cette façon, en ce qui concerne le volume d'un bassin, on analysera l'aire (A) et le périmètre (P); de la symétrie, le Centre de Gravité (C.G) et la distance du même; de l'élongation, la longueur (L), la raison de l'élongation (R_e), le facteur de forme (R_f), la largeur (W) et le coefficient de rondeur (K). Finalement, de la forme du périmètre, on analyse l'Index de forme (C) et la raison de circularité (R_c).

Ensuite, on calculera toutes les variables analysées pour une série de bassins réels, qui appartiennent au bassin du Besòs et aux ruisseaux du Maresme, 40 en total, pour, après, les réduire à une même superficie.

Des résultats obtenus, les conclusions les plus importantes qui peuvent se déduire c'est le calcul innécessaire de toutes les variables, étant donnée que beaucoup d'entre elles sont une combinaison linéale les unes des autres, pour ce qui nous rendent des résultats proportionnels et qui ne peuvent pas s'assimiler les bassins réels aux bassins type, parce que ces derniers ont été très idéalisés.

Summary: Form of a drainage basin. Analysis of the morphometric variables which define it

An analysis is made of eleven morphometric variables which define the form of a basin, in four different aspects; size, symmetry, elongation and perimetric shape. Firstly, a brief theoretical analysis is made of each of the variables from the aspect of the form interested; thus, for that which regards the size of a basin, an analysis is made of the area (A) and the perimeter (P), the symmetry, the centre of gravity (C.G) and its distance; the elongation, length (L), the reason of elongation (R_e), the form factor (R_f), width (W) and the roundness coefficient (K). Finally, the Index of form (C) and circularity reason (R_c) are analysed of the form of the perimeter.

Then all the variables analysed are calculated for a series of real basins belonging to the Besòs basin and the Maresme waterways, 40 in all, to then reduce them all to an equal surface.

From the results obtained, the most important conclusions which may be drawn is that the calculation of all the variables is totally unnecessary, since many of them are lineal combination of others, so that they give proportional results and the real basins cannot resemble the type basins, as these latter have been greatly idealised.