

Cuantificación comparativa de la erosión hídrica en una cuenca de drenaje. Aplicación práctica a la Cuenca del Ripoll (Vallès Occidental)

por Montserrat JARDI*

Introducción

Hasta la fecha, todos los estudios que han sido realizados para conocer la cantidad de material erosionado dentro de una cuenca fluvial, se han fundamentado en métodos analíticos, cuyos resultados son imposibles de contrastar debido a la no existencia en nuestro país de estaciones turbiométricas.

Debido pues, a la falta de datos reales del material erosionado, creemos es muy arriesgado utilizar un método analítico, cualquiera que sea, dando por buenos unos resultados no comprobables.

La gran mayoría, por no decir la totalidad, de los trabajos efectuados con el fin de evaluar la cantidad de material erosionado en una cuenca durante un período de tiempo determinado, se han basado en los estudios efectuados por Fournier, con algunas excepciones como los trabajos realizados por M. Sala a partir de 1977 en la cuenca alta del río Tordera, en donde se evalúa por medio experimental, el valor de la erosión (Sala, 1978, 1981, 1982a, 1982b).

El empleo del método Fournier no se debe a que los resultados sean los que más se ajustan a la realidad que, ya hemos dicho, son incomprobables por falta de datos experimentales, sino por ser un método de aplicación sencilla y fundamentado en la cantidad de precipitación que tiene lugar en la cuenca, variable que, a priori, parece fundamental y directamente relacionada con la cantidad de material erosionado.

La expresión que propone Fournier para el cálculo de la erosión, es del tipo:

* Departamento de Geografía. Universidad de Barcelona.

$\text{Log Me} = 2,65 \log (p^2/P) + 0,461 \log (H^2/S) - 1,56$ en donde Me es el material erosionado en $\text{Tm/Km}^2/\text{año}$; p^2/P es el parámetro pluviométrico, y H^2/S el parámetro orográfico.

Esta fórmula, es sin duda muy útil para evaluar la erosión a escala mundial, pero, si lo que deseamos conocer es la erosión a escala local, en una pequeña cuenca de drenaje, no nos será válida al no tener en cuenta otra serie de factores de importancia decisiva en los procesos de erosión a una escala mucho menor.

Al comparar dos pequeñas cuencas vecinas, con superficie y altura semejantes, que tengan distinta litología o que, simplemente por distinta orientación, una tenga una cubierta vegetal extensa y en la otra prácticamente no exista, podremos decir, sin miedo a equivocarnos, que la entidad de la erosión en una y otra, será muy distinta. No obstante, si aplicamos la fórmula de Fournier, es posible que obtengamos una erosión similar si para el cálculo del parámetro pluviométrico sólo contamos con una estación que sea común para ambas cuencas. Evidentemente, para una escala local, debemos desechar la fórmula de Fournier.

Pero ¿de qué depende la entidad de la erosión? A nuestro entender, además de los factores climáticos y orográficos que ya se contemplan en la expresión de Fournier, dependerá también de la litología, cubierta vegetal, pendiente, etc. Al no poder controlar todos estos parámetros, debemos buscar una característica determinada de la cuenca que sea, dentro de lo posible, fácil de evaluar y síntesis del mayor número posible de factores que, de una manera u otra, intervengan en los procesos de erosión.

Desarrollo del método

Se ha llegado a la conclusión, luego de descartar varias hipótesis, de que el parámetro que mejor se ajusta a las características que precisamos para una mejor evaluación del material erosionado, es el de la *densidad de drenaje*, ya que a la vez que es un fiel reflejo del clima de la zona, está influenciado por la litología y la cubierta vegetal, al igual que nos da una idea de la cantidad de cursos de agua existentes, que es en donde los fenómenos erosivos se desarrollan mayoritariamente, por unidad de superficie.

Existen muchas expresiones matemáticas que evalúan la cantidad de material erosionado en función de la densidad de drenaje, junto con otros parámetros con ella directamente relacionados, como pueden ser la pendiente media de los cursos o la anomalía jerárquica de la propia red de drenaje. No obstante, al no contar con datos experimentales de la cantidad de material erosionado, nos encontramos con el problema de no poder conocer cuál de las expresiones que podemos utilizar se ajusta mejor a las características de la cuenca en la que se quiere evaluar dicho proceso erosivo.

Con el fin de salvar esta dificultad, efectuaremos el cálculo para determinar la cuantía del material erosionado, mediante 6 ecuaciones distintas para, finalmente, calcular el valor medio de los seis resultados obtenidos, siendo este valor el que consideramos como el total final de material erosionado.

Este valor medio calculado, no obstante, lo es para todo el conjunto de la cuenca y, a buen seguro, existirán zonas de la misma en que los procesos erosivos serán mucho más intensos que en otras, por lo que, si la cuenca es de cierta extensión, sería interesante conocer en qué lugar la erosión incide más y en qué zona apenas afecta.

Para ello, dividiremos la cuenca a estudiar en subcuencas, de tal forma que cada afluente del curso principal que alcance como mínimo el orden 2 de la clasificación de Strahler, forme una unidad en la que podamos evaluar la intensidad del proceso erosivo. De esta forma, llegaremos al conocimiento de la erosión por subcuencas, a excepción de los cursos de orden 1 que drenen directamente en el curso principal, quedándonos así una zona a todo lo largo de dicho curso en la que consideraremos que no existe erosión, sino que sólo habrá transporte o sedimentación del material previamente erosionado.

Una vez sea conocida analíticamente la entidad de la erosión en cada una de las subcuencas en que habremos dividido la zona objeto de estudio, nos encontraremos, no obstante, con el mismo problema que evidenciábamos anteriormente: desconoceremos en qué medida se acercan a la realidad los resultados obtenidos, al carecer de datos experimentales con los que confrontarlos y, en consecuencia, no podremos indicar con certeza el valor absoluto de la erosión.

Ahora bien, si todos los valores medios hallados para cada una de las subcuencas, los dividimos por el menor de ellos, obtendremos una serie de valores relativos que nos indicarán el valor de la erosión de cada una de las subcuencas con relación a una en particular a la que, por definición, le daremos el valor unidad en cuanto al proceso erosivo se refiere.

Este sistema goza de una doble ventaja ya que, por un lado, no precisa de la comparación con datos reales, de los cuales se carece, puesto que se trata de valores relativos de erosión y, por otro, si dispusiéramos del instrumental necesario para el cálculo experimental de la erosión, sólo sería necesario efectuarlo en la subcuenca elegida como unidad. Finalmente, con el método propuesto, sin necesidad de conocer el valor absoluto de la entidad de la erosión, conoceremos las zonas de la cuenca objeto de estudio en las que este fenómeno será más acusado, con todas las ventajas que este conocimiento implica.

Igualmente, al calcular la erosión referida a una subcuenca que tomamos como unidad, queda obviado el problema que se origina al utilizar la densidad de drenaje ya que, al tener que calcularse ésta sobre el mapa topográfico, su valor varía según sea la escala del mapa utilizado, así como también puede variar el orden de los cursos. En el cálculo de la ero-

sión relativa, no importa la escala del mapa utilizado, siempre y cuando la globalidad de la zona estudiada sea tratada a la misma escala.

Aplicación práctica a la cuenca del río Ripoll

Para poner en práctica el método expuesto anteriormente, hemos escogido la cuenca del río Ripoll, afluente por la margen derecha del río Besós, a la que hemos subdividido en 32 subcuencas, de las cuales, la n.º 31 en otras 10, con lo que, en total, tenemos 48 subcuencas o unidades de estudio. El número de orden según la clasificación de Strahler oscila entre 2 y 4, llegando para todo el conjunto de la cuenca al orden 6.

La superficie total de la zona es de 221 Km² mientras que la suma de las superficies de las 48 subcuencas alcanza 174,73 Km², por lo que, en los 46,27 Km² (20,94% del total de superficie) que faltan para cubrir toda el área de la cuenca, consideramos que sólo tienen lugar fenómenos de transporte y sedimentación, no de erosión; oscilando la superficie de las subcuencas entre 0,194 Km² la menor y 20,144 Km² la mayor.

La densidad de drenaje para la totalidad de la cuenca es de $D = 3,15$ Km/Km², mientras que para cada una de las 48 subcuencas, la densidad de drenaje oscila entre 1,54 y 5,63 Km/Km².

Las ecuaciones utilizadas para el cálculo del valor medio de la erosión, son:

- (1) $\text{Log Me} = 1,82818 \log D + 0,01769 \text{ ga} + 1,53034$
- (2) $\text{Log Me} = 2,7454 \log D + 0,00639 \Psi + 1,55048$
- (3) $\text{Log Me} = 0,29561 D + 0,00743 \text{ ga} + 1,56102$
- (4) $\text{Log Me} = 0,33479 D + 0,15733 \Delta a + 1,32888$
- (5) $\text{Log Me} = 0,32474 D + 0,00794 \Psi + 1,43206$
- (6) $\text{Log Me} = 2,79687 \log D + 0,13985 \Delta a + 1,05954$

en donde,

- Me, cantidad de material erosionado (en Tm/Km²/año)
- D, densidad de drenaje (en Km/Km²)
- ga, densidad de anomalía jerárquica (sin unidades)
- Δa , índice de anomalía jerárquica (sin unidades)
- Ψ , pendiente media de los cursos (en %)

Queremos hacer constar que las seis ecuaciones que proponemos, han sido debidamente contrastadas con valores experimentales de la erosión en cuencas de características, tanto climatológicas como morfológicas, semejantes a la cuenca del río Ripoll y, en ningún caso, la correlación entre los valores calculados y los experimentados ha sido inferior a 0,9.

Antes de efectuar el cálculo de la erosión relativa para cada una de las

48 subcuencas en que hemos dividido la cuenca del río Ripoll, vamos a realizar el cálculo para todo el conjunto de la cuenca, primero por el método propuesto por Fournier, basado fundamentalmente en el factor climático y luego, mediante las ecuaciones propuestas, basadas en la densidad de drenaje, con el fin de comprobar la magnitud de los resultados.

Recordemos que la ecuación propuesta por Fournier, es del tipo,

$$\text{Log Me} = 2,65 \log (p^2/P) + 0,461 \log (H^2/S) - 1,56$$

Para el cálculo del factor climático, hemos utilizado la estación pluviométrica de Sabadell, situada en el centro de la cuenca y de la que disponemos de datos abundantes (83 años), obteniendo un valor medio de $p^2/P = 37,83$. El factor orográfico, teniendo en cuenta que la superficie es de 221 Km² y la altura media son 400 metros, toma un valor de 723,98, por lo que el valor de la erosión, según el método de Fournier será de,

$$\text{Log Me} = 2,65 \log 37,83 + 0,461 \log 723,98 - 1,56$$

de donde $\text{Me} = 8.701,65 \text{ Tm/Km}^2/\text{año}$

Si ahora efectuamos el cálculo basándonos en las ecuaciones dependientes de la densidad de drenaje, tenemos que los parámetros que precisamos, calculados sobre la cartografía a escala 1:50.000, toman los valores siguientes:

Densidad de drenaje: 3,15 Km/Km²

Densidad de anomalía jerárquica: $g_a = 6,08$

Índice de anomalía jerárquica: $\Delta a = 1,23$

Pendiente media de los cursos: $\Psi = 9,98\%$

de donde $\text{Me}_1 = 353,91 \text{ Tm/Km}^2/\text{año}$

$\text{Me}_2 = 386,26 \text{ Tm/Km}^2/\text{año}$

$\text{Me}_3 = 344,64 \text{ Tm/Km}^2/\text{año}$

$\text{Me}_4 = 377,56 \text{ Tm/Km}^2/\text{año}$

$\text{Me}_5 = 342,16 \text{ Tm/Km}^2/\text{año}$

$\text{Me}_6 = 421,96 \text{ Tm/Km}^2/\text{año}$

de donde $\text{Me} = 371,08 \text{ Tm/Km}^2/\text{año}$

Por los resultados obtenidos mediante la aplicación de los métodos, totalmente dispares, no es imposible conocer cual de los dos es el que mejor se ajusta, o mejor dicho, cual de los dos es el método válido para esta cuenca. Así pues, el método de calcular valores relativos de la erosión cobra fuerza al ser independiente del valor real de dicha erosión.

En el cuadro adjunto (Tab. 1), aparecen los datos utilizados para el cál-

Tabla 1
 Montserrat JARDI
 Cuantificación comparativa de la erosión hídrica en una cuenca de drenaje

Subc	Sup km ²	Long cursos	D km/km ²	W %	ga	Δ a	Me ₁	Me ₂	Me ₃	Me ₄	Me ₅	Me ₆	Me	Me relat
1	7,305	29,45	4,03	9,24	6,71	0,96	573,73	751,44	634,14	674,71	651,82	770,47	676,05	9,54
2	5,240	20,00	3,82	12,53	3,24	0,55	448,51	680,95	517,99	494,66	591,64	581,32	552,21	7,80
e	1,676	5,45	3,25	8,53	—	—	294,59	411,98	332,47	261,18	359,08	309,89	328,20	4,63
4	0,784	2,75	3,51	5,82	—	—	339,09	489,02	396,84	319,15	415,06	384,32	390,58	5,51
5	4,264	15,20	3,56	12,63	6,57	1,08	454,75	561,96	459,42	490,51	488,00	566,12	503,46	7,10
6	0,200	0,80	4,00	10,00	—	—	430,60	744,46	553,94	465,63	646,28	553,89	565,80	7,98
7	9,015	31,90	3,54	17,95	5,32	0,94	427,75	598,39	443,62	459,12	529,86	532,71	498,58	7,04
8	2,771	9,85	3,55	11,73	3,61	0,53	398,22	550,30	433,77	398,81	476,46	470,52	454,68	6,42
9	0,224	1,00	4,46	14,00	—	—	521,72	1,064,61	757,60	663,81	980,75	751,01	789,92	11,15
10	1,014	3,10	3,06	14,35	—	—	262,02	380,40	292,14	225,60	346,50	261,84	294,75	4,16
11	3,230	18,20	5,63	8,90	1,86	0,24	861,61	1,872,26	1,734,30	1,784,46	2,142,95	1,556,61	1,658,70	23,40
12	6,386	17,25	2,70	18,72	1,57	0,43	222,19	287,70	234,87	199,74	286,74	211,91	240,53	3,39
13	2,705	8,60	3,18	18,14	0,74	0,15	291,76	447,02	321,04	261,28	406,22	306,02	338,89	4,78
14	2,729	9,00	3,30	18,72	—	—	302,93	499,11	343,98	271,45	449,10	323,41	365,00	5,15
15	1,723	8,05	4,67	19,57	2,32	0,24	628,16	1,311,12	909,40	851,35	1,270,52	922,78	982,22	13,86
16	1,489	4,25	2,285	19,06	—	—	230,08	335,41	253,23	191,88	322,78	214,62	258,00	3,64
17	0,433	1,95	4,50	18,21	—	—	530,31	1,160,75	778,51	684,60	1,091,38	770,00	835,93	11,80
18	0,238	0,85	3,57	16,47	—	—	347,31	559,22	413,38	334,26	527,42	402,98	430,76	6,08
19	0,194	0,50	2,58	23,00	—	—	191,80	270,44	210,71	155,83	283,47	162,47	212,45	3,00
20	0,944	3,90	4,13	22,31	—	—	453,32	974,18	605,19	514,71	892,03	605,72	674,19	9,51
21	4,261	18,95	4,45	12,03	2,35	0,50	571,78	1,027,84	783,33	789,51	939,01	876,68	831,36	11,73
22	3,769	18,00	4,78	10,11	3,18	0,75	674,08	1,216,05	994,63	1,114,74	1,160,35	1,160,64	1,053,42	14,86
23	2,529	9,60	3,80	9,48	1,58	0,31	415,18	641,75	496,68	446,53	551,24	530,24	513,60	7,25
24	4,846	24,10	4,97	9,17	1,65	0,31	680,13	1,334,82	1,102,71	1,100,42	1,314,70	1,123,35	1,109,36	15,65

25	4,401	11,35	2,58	7,97	2,95	0,72	216,79	216,79	221,62	202,26	215,36	204,87	212,87	3,00
26	1,883	5,05	2,68	4,65	—	—	205,61	229,17	225,56	168,31	180,42	180,42	204,63	2,89
27	5,500	20,80	3,78	9,09	6,91	0,86	510,90	628,90	536,74	536,65	539,20	623,71	562,68	7,94
28	0,449	1,20	2,67	7,92	—	—	204,21	238,01	224,03	167,02	230,14	178,83	207,04	2,92
29	0,394	1,20	3,05	5,42	—	—	260,45	330,58	290,16	223,87	292,11	259,46	265,11	3,90
30-A	14,504	45,10	3,11	6,45	1,72	0,45	289,48	354,07	311,28	275,98	311,33	316,71	309,91	4,37
30-B	1,233	3,60	2,92	10,56	0,81	0,17	248,58	316,36	269,29	215,38	291,17	242,62	263,90	3,72
30-C	4,458	19,05	4,27	2,39	1,12	0,38	504,30	796,34	678,57	657,99	668,14	751,46	679,47	9,59
30-D	2,914	9,80	3,36	6,73	1,37	0,33	328,71	439,61	366,82	320,40	377,24	378,26	368,51	5,20
30-E	1,690	5,20	3,08	8,65	—	—	265,15	356,11	296,14	229,10	316,91	266,66	288,35	4,07
30-F	13,841	30,60	2,21	3,25	0,22	0,16	145,83	132,22	164,42	124,15	149,81	110,95	137,90	1,95
30-G	0,365	1,25	3,42	4,80	—	—	321,10	448,58	373,26	297,76	380,87	357,39	363,16	5,12
30-H	3,903	6,00	1,54	2,67	—	—	74,67	48,63	103,81	69,90	89,82	38,37	70,87	1,00
31-I	20,144	50,40	2,50	11,49	1,84	0,39	195,16	209,40	205,93	168,74	216,34	168,68	194,04	2,74
31-J	6,338	14,85	2,34	4,95	0,32	0,14	162,55	158,61	179,94	136,24	170,32	129,35	156,17	2,20
31-K	1,865	4,00	2,14	5,50	—	—	136,27	125,12	156,18	111,00	148,14	96,31	128,84	1,82
31-L	1,544	4,40	2,85	6,82	—	—	230,08	280,13	253,23	191,88	258,06	214,62	202,23	2,95
31-M	0,970	2,00	2,06	3,75	—	—	127,10	109,82	147,90	104,36	135,14	86,57	118,48	1,67
31-N	0,371	1,25	3,37	12,40	—	—	312,57	481,77	360,77	286,50	421,59	342,97	367,70	5,19
31-O	0,674	2,50	3,71	7,60	—	—	372,61	584,48	454,71	372,35	497,95	448,75	455,14	6,42
31-P	5,516	11,00	1,99	3,95	0,54	0,27	121,97	100,17	142,33	109,04	128,72	87,73	114,66	1,62
31-Q	9,766	28,40	2,91	10,37	1,74	0,37	256,57	312,52	271,75	229,79	288,00	256,29	269,15	3,80
31-R	0,496	1,80	3,63	8,89	—	—	358,06	561,08	430,61	350,08	480,23	422,21	433,71	6,12
32	3,544	7,45	2,10	3,29	0,56	0,20	134,69	115,00	153,45	115,72	138,08	97,43	125,73	1,77



Mapa de la erosión relativa de las 48 subcuencas en que se ha dividido la cuenca del río Ripoll.

culo de la erosión en cada una de las 48 subcuencas en que ha sido dividida la cuenca del río Ripoll, así como los seis valores obtenidos para cada una de las seis ecuaciones propuestas, además del valor medio (Me) y el valor relativo, que aparece en la última columna y que está calculado en base al valor medio de la erosión de la subcuenca reseñada con el número 30-H, que ha resultado ser la que ha dado un valor más bajo.

Con los resultados obtenidos ha sido confeccionado el mapa que aparece al final del presente trabajo y que es la síntesis del mismo. Para ello, hemos dividido el poder de erosión en seis categorías distintas. La primera, que designaremos como *categoría A*, comprende las subcuencas en las que la erosión relativa oscila entre 1,01 y 2,99 veces la erosión de la cuenca 30-H; en este grupo aparecen 10 subcuencas todas ellas situadas prácticamente en la zona baja de la cuenca.

En la *categoría B*, la erosión relativa oscila entre 3,00 y 4,99, en la que se hallan 12 subcuencas situadas en la zona media baja de la cuenca. La *categoría C*, entre valores de 5,01 y 6,99, está formada por 6 subcuencas situadas en su mayoría en la zona media y, finalmente, la *categoría F*, con una erosión relativa superior a 16,00 está integrada por una sola subcuenca, la número 11, como consecuencia del alto valor de su densidad de drenaje, que es el factor que más influye en conseguir valores elevados de erosión.

BIBLIOGRAFÍA

- AVENA, G. C.; GIULIANO, G.; LUPIA PALMIERI, E. (1967): «Sulla valutazione quantitativa della gerarchizzazione et evoluzione dei reticoli fluviali». *Boll. Soc. Geol. It.* 87, 781-786 pp.
- CICCACI, S.; FREDI, P.; LUPIA PALMIERE, E.; PUGLIESE, F. (1981): «Contributo dell'analisi geomorfica quantitativa alla valutazione dell'entità dell'erosione nei bacini fluviali». *Bull. Soc. Geol. It.* 99, pp. 455-516.
- JARDÍ, M. (1983a): «Comparació morfològica entre la riera de Les Arenes i el riu Ripoll (Vallès Occidental)». *N. Geog. Fís.* 9, pp. 5-13.
- JARDÍ, M. (1983b): *Hidrogeografia del riu Ripoll i la riera de Les Arenes (Vallès Occidental)*. Resumen Tesi Doctoral. Centro Public. Univ. Barna, 44 pp.
- KIRKBY, M. J.; CHORLEY, R. J. (1967): «Throughflow, overlandflow and erosion». *Bull. Int. Ass. Hydrol. Ser.* 12, pp. 5-21.
- MARTÍNEZ MARTÍNEZ, F. (1980): «La erosión hídrica en la vertiente mediterránea andaluza: el caso de la Sierra de la Contraviesa». *Cuad. Geog. Granada.* 9, pp. 151-183.
- QUIRANTES, J.; SIERRA, M. C. (1981): «Estimación cuantitativa de los procesos erosivos en la cuenca del río Verde (Almuñécar, Granada)». *Cuad. Geog. Granada.* 10, pp. 97-116.

- SALA, M. (1981): «Geomorphic processes in a small Mediterranean drainage basin (Catalan Ranges)». *Trans. Jap. Geom. Union.* 2-2, pp. 239-252.
- SALA, M. (1982): «Metodología para el estudio y medición de los procesos de erosión actuales». *N. Geog. Fís.* 8, pp. 39-56.
- SCHUMM, S. A. (1984): «Seasonal variation of erosion rates and processes on hillslopes in western Colorado». *Z. Geom. Suppl.* 5, pp. 215-218.