

## DETERMINACIÓN DEL CAUCE PRINCIPAL DE UN RÍO MEDIANTE HERRAMIENTAS SIG Y ANÁLISIS MULTICRITERIO: METODOLOGÍA

Ana E. Raya Contreras<sup>(1)</sup>, Fernando Delgado Ramos<sup>(2)</sup> y Leonardo S. Nanía Escobar<sup>(2)</sup>

(1). GRUPOCOPSA S.L.U. en Polígono Industrial Sector 20, Avda. Mare Nostrum n.41 2º, 04009 Almería ; email: [anaraya.ingcaminos@gmail.com](mailto:anaraya.ingcaminos@gmail.com)

(2). E.T.S. Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos. Departamento de M.E. e Ingeniería Hidráulica de la Universidad de Granada; email: [fdelgado@ugr.es](mailto:fdelgado@ugr.es), [lnania@ugr.es](mailto:lnania@ugr.es)

### RESUMEN

Actualmente no existe un criterio único establecido para definir la importancia relativa de dos cauces que se unen en una confluencia en el caso de tener que decidir cuál es principal y cuál tributario, y tal vez por ello aun permanecen encendidas agrias polémicas, como por ejemplo la de la localización del nacimiento del Guadalquivir. Esta comunicación propone una metodología basada en SIG y análisis multicriterio. Se comienza por la desembocadura del río y se sigue el curso hacia aguas arriba hasta llegar a un nudo o confluencia. Para cada ramal se estudiarán 10 parámetros diferentes. Excepto la valoración del perfil longitudinal, que se hace de forma semi-cuantitativa; el resto de parámetros se pueden calcular de forma objetiva. A continuación se asigna una puntuación a cada parámetro y se puede calcular la puntuación total media (sin ponderar). Como no todos los parámetros son igual de importantes, finalmente se propone asignarles pesos en función del orden de importancia que se les asigne y determinar la puntuación media ponderada. En caso de duda o discusión entre autores, se recomienda realizar estudios de sensibilidad. Finalmente se considerará ramal principal el que obtenga mayor puntuación ponderada, (o índice de importancia relativa), y se continúa por dicho ramal hacia aguas arriba hasta la siguiente confluencia a estudiar; y así sucesivamente. En otra comunicación presentada a este Simposio se aplica esta metodología al caso del río Guadalquivir.

**Palabras clave:** morfología fluvial, análisis multicriterio, SIG

### 1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

A lo largo del siglo XIX y XX científicos como Horton (1945) y Strahler (1952, 1989), se han planteado la jerarquización de ríos como una materia de estudio que no dependía de una única variable. Las valoraciones de estos parámetros y el peso que se le da a cada uno de ellos son fundamentales para poder establecer una guía de jerarquización completa.

Con el reciente desarrollo de los sistemas de información geográfica (SIG) y la cada vez mayor disponibilidad pública de información georreferenciada a través de internet (modelos digitales del terreno, mapas de usos del suelo, precipitaciones, temperaturas, etc.), lo que antes resultaba un trabajo tedioso, ahora se puede hacer en mucho menos tiempo y más objetivamente utilizando un simple ordenador personal. Es por tanto posible hacer estudios objetivos y contrastables para tratar de resolver agrias polémicas sobre el verdadero nacimiento de los ríos, como por ejemplo el Guadalquivir, como se puede ver en Polaino, L. (1960), González Barberán (1977), Delgado, F. (2007), López Martos, J. (2007) o Castillo, A. (2012).

El objetivo del presente trabajo es definir una metodología para la determinación del cauce principal de un río basada en el uso de las herramientas que actualmente ofrecen los SIG y las técnicas de análisis multicriterio. En otra comunicación presentada en este mismo Simposio, (Delgado et al, 2015) se aplica esta metodología al caso del Guadalquivir.

## **2 METODOLOGÍA PROPUESTA**

Para determinar el cauce principal de un río se necesita en primer lugar conocer su red de drenaje, u obtenerla tomando como información básica el modelo digital del terreno (MDT) de la zona de estudio, lo cual puede hacerse utilizando un SIG. El análisis se inicia partiendo desde la desembocadura del río en cuestión y siguiendo su curso hacia aguas arriba. Cada vez que se encuentre un nudo donde el cauce se divida y existan dudas de cuál es el cauce principal, se procede a estudiar cada uno de los ramales y sus correspondientes subcuencas hidrográficas, determinándose para cada uno de ellos los parámetros que permitan comparar su importancia relativa. En el presente trabajo se proponen un total de 10 parámetros, la mayoría de los cuales pueden ser calculados utilizando un SIG. A continuación se aplica un análisis multicriterio donde se debe normalizar cada uno de los 10 parámetros para poder ser comparables entre sí, luego se le asigna a cada uno un peso relativo según la importancia que tenga a la hora de decidir cuál es el tramo principal; y finalmente se obtiene un valor final ponderado que podríamos denominar como “índice de importancia relativa” (IIR).

El ramal que obtenga mayor IIR es seleccionado como cauce principal, continuando el análisis aguas arriba siguiendo el curso de éste. Cada vez que se encuentra una nueva bifurcación se repite el proceso hasta recorrer la totalidad del cauce de la cuenca estudiada.

### **2.1 Determinación de la red de drenaje**

Para determinar la red de drenaje, así como las subcuencas que conforman el territorio, puede utilizarse herramientas de SIG que incluyen pasos intermedios como la determinación de la dirección del flujo celda a celda y la acumulación del celdas que vierten a cada una de ellas (por ej. extensiones "ArcHydro" y "Hec-GeoHMS"). La precisión de los resultados de las variables geométricas vendrá condicionada por la resolución del MDT que utilicemos. Por razones de economía de procesamiento, ésta podrá tener un mayor detalle cuanto menos extensa sea la zona en estudio. En España, pueden obtenerse al menos tres resoluciones de MDT (en el Centro Nacional de Información Geográfica): (i) con paso de malla de 5 metros, que se utilizará solo para zonas relativamente pequeñas; (ii) con paso de malla de 25 metros, también con gran detalle válido para extensiones intermedias; (iii) con paso de malla de 200 metros, muy útil en el estudio de grandes áreas donde el error en términos relativos es poco significativo.

También es recomendable descargar, del Organismo de Cuenca competente, la capa con la red hidrográfica oficial, que además de permitirnos conocer su trazado, incluye información muy valiosa como por ejemplo la identificación de las diferentes masas de agua.

## **2.2 Parámetros que permiten identificar el cauce principal de un río**

Se proponen diez parámetros que se explican a continuación por orden alfabético:

### **2.2.1 Ángulo de incidencia en la bifurcación**

En el nudo en estudio mediremos al ángulo que forma cada uno de los ramales de aguas arriba con el tramo común aguas abajo. En condiciones ideales, (sin discontinuidades geológicas), el cauce principal suele ser aquel cuyo ángulo se acerca más a 180º, (Horton, 1945).

Por tanto el mayor ángulo de incidencia en la bifurcación se valorará positivamente a la hora de decidir cuál es el ramal principal de aquellos que confluyan en el nudo de estudio, (salvo singularidades geológicas o por alteración artificial del trazado).

### **2.2.2 Aportaciones (Hm<sup>3</sup>/año)**

En cada nudo de estudio calcularemos la aportación anual media correspondiente a cada una de las subcuencas de los respectivos ramales.

En los estudios más antiguos se solía recurrir a los datos de las estaciones de aforo cercanas, pero, aparte de que no hay muchas de ellas, el régimen de caudales registrados se ve muy influido por la regulación y derivaciones que produzcan aguas arriba. Por tanto debemos calcular la aportación media anual restituída a régimen natural, para cual partiremos de los datos de precipitación, (mucho más numerosos, mejor repartidos y menos alterados); y realizaremos una transformación lluvia-escorrentía, empleando por ejemplo el modelo de simulación SIMPA (Sistema Integrado para la Modelación del proceso Precipitación-Aportación) del CEDEX. También es posible obtener dicha información de los planes hidrológicos de las distintas demarcaciones hidrográficas españolas.

Sin duda, la mayor aportación media anual se valorará muy positivamente a la hora de decidir cuál es el ramal principal de aquellos que confluyan en el nudo de estudio.

### **2.2.3 Área de la cuenca vertiente (Km<sup>2</sup>)**

Se define como la superficie de la proyección horizontal de la cuenca de drenaje de un sistema de escorrentía que dirige toda el agua a un mismo punto. La mediremos en Km<sup>2</sup> y se representa por la letra A. Se calcula fácilmente a partir del SIG.

Es evidente que la mayor área de la cuenca vertiente se valorará muy positivamente a la hora de decidir cuál es el ramal principal de aquellos que confluyan en el nudo de estudio.

### **2.2.4 Cota de la fuente más alta (m.s.n.m.)**

Aunque minoritarios, algunos autores defienden que el Genil es la auténtica cabecera del Guadalquivir argumentando que el Genil es el río que tiene su nacimiento a mayor cota de todos los de la cuenca.

En general este es un parámetro muy difícil de determinar, pero en el caso de Andalucía, gracias al fantástico proyecto “conoce tus fuentes”, sí que es posible hacerlo con la información facilitada en la web <http://www.conocetusfuentes.com>

La cota de la fuente más alta se valorará positivamente a la hora de decidir cuál es el ramal principal de aquellos que confluyan en el nudo de estudio.

### 2.2.5 Densidad de drenaje

Horton (1945) definió este parámetro como el cociente entre la sumatoria de las longitudes de todas las corrientes de la cuenca,  $\sum l_i$  (Km), y la superficie por la que transcurren las mismas, A (Km<sup>2</sup>). Es una medida que se define por las letras  $D_d$  y se mide en Km/Km<sup>2</sup>. Su expresión es de la forma:

$$D_d = \frac{\sum l_i}{A}$$

En general, este índice nos aporta dos datos fundamentales en el estudio de la red. Un índice elevado puede indicar una mayor estructuración de la red o un nivel de erosión mayor. Este parámetro se calcula con la obtención de dos variables: la longitud total de la red de drenaje y el área de la cuenca. La primera de ellas se define como la sumatoria de las longitudes de todos los segmentos fluviales que se forman en la cuenca.

Evidentemente, la cuenca con una mayor densidad de drenaje será valorada positivamente. Usualmente, la de mayor densidad de drenaje suele dar también un orden de jerarquía mayor, pero no siempre.

### 2.2.6 Longitud máxima (Km)

Este parámetro se puede entender de dos formas distintas: como el máximo recorrido de la escorrentía de la cuenca o como la distancia entre la fuente más lejana y el nudo.

Para este tipo de estudios en los que las dimensiones de las cuencas de análisis son tan grandes se utilizará el máximo recorrido de la escorrentía, ya que pueden existir numerosas fuentes y no es factible calcular las longitudes hasta cada una de ellas. En el caso de que la cuenca sea más reducida o el número de fuentes sea abarcable, sería mejor adoptar la longitud hasta la fuente más lejana.

Así pues, entendemos el máximo recorrido de la escorrentía como un parámetro geométrico de la cuenca hidrográfica, definido como la distancia máxima que recorrería una gota de agua que cayese sobre la divisoria de aguas y llegase al punto de desagüe o confluencia. En la práctica se mide el cauce más largo hasta donde la tendencia del río corta la divisoria de aguas. Se mide en Km y está representado por la letra  $L_T$ . La longitud se calcula mediante SIG, ya que, en la determinación de la red de drenaje ya se conocen las celdas que acumulan el flujo de más celdas y ése sería el cauce principal.

La mayor longitud máxima se valorará muy positivamente a la hora de decidir cuál es el ramal principal de aquellos que confluyan en el nudo de estudio.

### 2.2.7 Nivel de Jerarquización

Proponemos medir el nivel de jerarquización de la red de drenaje aplicando la metodología de Strahler (1952), que enumera los cauces en función del número del orden que presenten. Así, los ríos de primer orden son pequeños cauces que no reciben tributarios, es decir, discurren desde una fuente o nacimiento hasta la confluencia con otro. Los de segundo orden se forman por la confluencia de dos de primer orden, los de tercero por la confluencia de dos de segundo y así sucesivamente. Si confluyen dos ríos de órdenes distintos, el orden del cauce resultante será el del valor del río de mayor orden. Se establece según este método que un río es una red ordenada de segmentos de cauce individuales enmarcados por dos confluencias, una primera de orden inferior o igual y otra aguas abajo de orden superior o igual. Según Strahler (1952) un mismo río puede tener segmentos de distinto orden a lo largo de su curso, en función del número de afluentes que lleguen a él y por ende al caudal y dimensiones del río y de la cuenca en la que interviene. Por lo tanto, el cauce principal será el que alcance la máxima magnitud.

Es importante destacar que en la determinación de la red de drenaje con la ayuda de un SIG, debe definirse un área umbral a partir de la cual debe considerarse que se genera un cauce de río y en este sentido es muy importante que para todas las cuencas se utilice el mismo, de lo contrario no podrían ser comparables. En el caso de determinar la red de drenaje a través de la observación de un mapa, debe cuidarse que los mapas utilizados en cada afluente guarden la misma escala. En este caso también solía utilizarse antiguamente imágenes estereoscópicas para la delineación de los cauces que no alcanzaban a estar definidos en los mapas.

El mayor nivel de jerarquización se valorará positivamente a la hora de decidir cuál es el ramal principal de aquellos que confluyan en el nudo de estudio.

### 2.2.8 Pendiente media del cauce

La pendiente media de cada ramal aguas arriba de la confluencia se calcula obteniendo del SIG el perfil longitudinal de cada uno, midiendo su longitud y desnivel, y calculando la pendiente media.

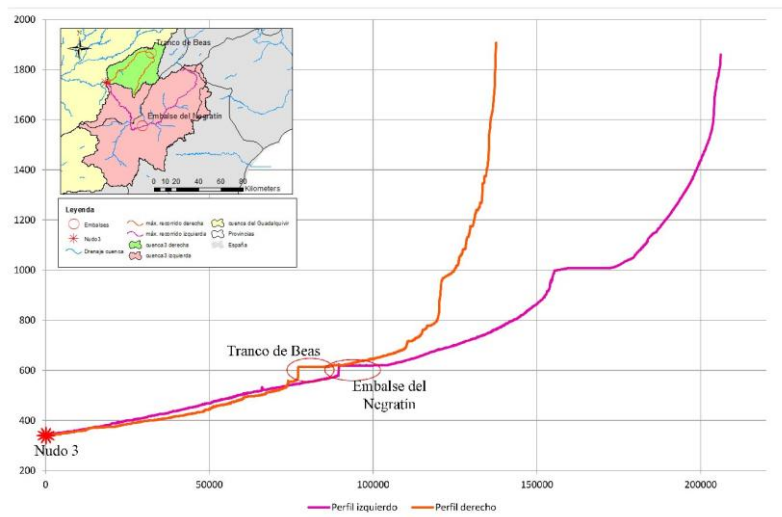
En condiciones ideales, el cauce principal suele tener menor pendiente media que sus afluentes. Por tanto en este caso, la mayor pendiente media se valorará negativamente a la hora de decidir cuál es el ramal principal de aquellos que confluyan en el nudo de estudio

### 2.2.9 Perfil longitudinal

Este es el único parámetro cuya valoración cuantitativa no procede de operaciones con un resultado numérico concreto, sino de la valoración conjunta de varias propiedades.

El perfil longitudinal se elabora a partir del cauce de máxima longitud. La comparativa de los perfiles longitudinales de distintos segmentos fluviales ofrece una visión gráfica de los parámetros relativos al relieve como la pendiente o la altitud. La diferencia radica en que los valores promediados dan una idea general, mientras que en el perfil se puede observar la variación tramo a tramo de cada representación. Para valorar este parámetro sujeto a apreciaciones subjetivas del diagrama es importante destacar cuatro aspectos básicos del perfil: en primer lugar su altura máxima ya que dota de importancia al río, las pendientes a lo largo del trazado porque aunque la pendiente media sea un parámetro a estudiar es interesante comprobar la variación de esta a lo largo del recorrido; la

longitud máxima del recorrido establece también un perfil de una mayor importancia, la relevancia del trazado para los organismos de cuenca se puede vislumbrar por la existencia o no de obras de fábrica de cierta envergadura a lo largo del recorrido. Por ejemplo, en la Figura 1 se presenta el caso del Guadalquivir en la confluencia con el Guadiana Menor, en la que se observan los dos perfiles longitudinales superpuestos desde su punto de confluencia.



**Figura 1. Superposición de los perfiles longitudinales del Alto Guadalquivir (naranja) y el Guadiana Menor (magenta) siguiendo el curso de la gota más lejana**

Analizando la Figura 2, se observa que: El perfil naranja posee una altitud ligeramente superior al del magenta, lo que se valoraría positivamente para considerarlo como principal. La pendiente del perfil magenta varía con más suavidad que la del naranja, lo que supone que este primero es un río aparentemente más maduro, lo que se valoraría positivamente para considerarlo como principal. El cauce magenta es el más largo de los dos, lo que se valoraría positivamente para considerarlo como principal. Salvo los primeros metros en que ambos perfiles se entrecruzan, el perfil magenta presenta en general un trazado por debajo del perfil naranja, lo que se valoraría positivamente para considerarlo como principal

Por tanto en global, el perfil longitudinal magenta es más representativo de lo que sería el cauce principal que el naranja y por tanto se le otorgaría el valor de 1 para el magenta y de 0 para el naranja.

### 2.2.10 Sinuosidad

La sinuosidad de un cauce entre dos puntos A y B es la relación entre la distancia que hay desde A a B en línea recta, y la que hay siguiendo el trazado por el cauce:

$$s = \frac{L_{\text{en línea recta}}}{L_{\text{por el cauce}}}$$

Dado que, en condiciones ideales, los meandros son una característica de las zonas bajas de los ríos, un índice de sinuosidad alto llevaría a pensar que el cauce está muy desarrollado y que las pendientes y formas del terreno hacen que su morfología sea la de un río cerca de su desembocadura.

Cuanto más sinuoso es un río, más desarrollado se encuentra y por lo tanto se valorará positivamente a la hora de decidir cuál es el ramal principal de aquellos que confluyen en el nudo de estudio. Para ríos aluviales sin singularidades geológicas este parámetro es muy representativo, sin embargo en las cabeceras montañosas de los ríos españoles, la información que ofrece es menos representativa, pues a veces el curso describe una trayectoria muy alejada de la línea recta, pero no porque esté formando un meandro, sino porque se ve obligado por el relieve montañoso.

### 2.3 Análisis Multicriterio

Para poder realizar el análisis multicriterio a cada uno de los ramales estudiados le daremos una puntuación en cada uno de los diez parámetros y una puntuación global, de forma que deberá considerarse como ramal principal del río, el que obtenga una puntuación global mayor. Para ello seguimos la metodología de Romero (1996).

Primero vamos a dar una puntuación relativa de 0 a 10 en cada uno de los parámetros y obtener una puntuación media total, (no ponderada). Luego vamos a otorgar pesos diferentes a cada parámetro en función de la importancia que tenga para determinar el ramal principal y con ello calculamos la media ponderada final. De los 10 parámetros propuestos, excepto la pendiente media, los demás son mejores cuanto mayor sea su valor. En cada uno de esos 9 parámetros, la puntuación relativa otorgada a cada ramal será el valor del parámetro para dicho ramal dividido entre el valor máximo de todos los ramales que confluyen en el nudo estudiado, (todo ello multiplicado por 10). Así por ejemplo, si un ramal tiene una aportación de 100 Hm<sup>3</sup> y el otro de 80 Hm<sup>3</sup>, las puntuaciones otorgadas a cada ramal serán 100x10/100=10 y 80x10/100=8, respectivamente. Es decir:

$$Puntuación\ sin\ ponderar\ ramal\ x = \frac{valor\ ramal\ x}{máximo\ (valor\ ramal\ x,\ valor\ ramal\ y)} 10$$

Por el contrario, para los parámetros cuyo valor es mejor cuanto menor sea su valor, (en nuestro caso sólo ocurre con la pendiente media del cauce), la puntuación relativa otorgada a cada ramal será el valor mínimo del parámetro de todos los ramales que confluyen en el nudo estudiado, dividido por el valor del ramal estudiado, (todo ello multiplicado por 10). Así por ejemplo, si un ramal tiene una pendiente media del 5% y el otro del 2%, como la mayor pendiente se valora negativamente a la hora de decidir cual es el ramal principal, las puntuaciones otorgadas a cada ramal serán 2x10/5=2 y 2x10/2=10, respectivamente. Es decir:

$$Puntuación\ sin\ ponderar\ ramal\ x = \frac{mínimo\ (valor\ ramal\ x,\ valor\ ramal\ y)}{valor\ ramal\ x} 10$$

Si le diésemos la misma importancia a todos los parámetros, la puntuación total sería la media aritmética de las puntuaciones de los 10 parámetros.; siendo considerado como cauce principal el que obtenga una puntuación media (no ponderada) más cercana a 10. Pero puesto que no todos los parámetros son igual de importantes a la hora de elegir el ramal principal, procedemos ahora a otorgar distintos pesos a cada uno. Hay muchas posibilidades, pero una de las más sencillas es ordenar los parámetros por orden de importancia decreciente y darles un peso mayor según la posición que ocupa en dicha lista, utilizando la ecuación:

$$W_j = \frac{1/r_j}{\sum_{i=1}^n 1/r_i}$$

Donde  $r_j$  es el lugar o posición que ocupa el criterio  $j$ -ésimo y  $n$  el número total de criterios a ponderar. En la tabla 1 se muestra el orden que proponemos y los pesos resultantes; pero hay que señalar que en caso de duda sobre el orden que debe ocupar uno u otro parámetro, es conveniente realizar un análisis de sensibilidad, modificando las ponderaciones.

Tabla 1.- Ordenación de los parámetros según su importancia y cálculo de los pesos para la ponderación

Orden	Parámetro	1/rj	Peso
1	Aportaciones (Hm3/año)	1,0000	0,3414
2	Longitud Máxima (Km)	0,5000	0,1707
3	Área de la Cuenca (Km2)	0,3333	0,1138
4	Nivel de Jerarquización	0,2500	0,0854
5	Perfil longitudinal	0,2000	0,0683
6	Cota de la Fuente más alta (m.s.n.m.)	0,1667	0,0569
7	Ángulo de Incidencia en la Bifurcación (°)	0,1429	0,0488
8	Densidad de drenaje (Km/Km2)	0,1250	0,0427
9	Pendiente Media del Cauce (%) *	0,1111	0,0379
10	Sinuosidad	0,1000	0,0341

Tabla 2.- Ejemplo d resultados del análisis multicriterio

Orden	Parámetro	Ramal Izquierdo			Ramal Derecho		
		Absoluto	Punt.	Punt. Pond.	Absoluto	Punt.	Punt. Pond.
1	Aportaciones (Hm3/año)	1.126,50	2,38	0,81	4.736,39	10,00	3,41
2	Longitud Máxima (Km)	285,34	6,04	1,03	472,46	10,00	1,71
3	Área de la Cuenca (Km2)	8.225,24	2,51	0,29	32.794,00	10,00	1,14
4	Nivel de Jerarquización	2,00	6,67	0,57	3,00	10,00	0,85
5	Perfil longitudinal	0,00	0,00	0,00	1,00	10,00	0,68
6	Cota de la Fuente más alta (m.s.n.m.)	2.889,00	10,00	0,57	1.482,00	5,13	0,29
7	Ángulo de Incidencia en la Bifurcación (°)	134,00	7,88	0,38	170	10	0,49
8	Densidad de drenaje (Km/Km2)	0,03	8,27	0,35	0,04	10,00	0,43
9	Pendiente Media del Cauce (%) *	4,44	8,09	0,31	3,59	1,00	0,04
10	Sinuosidad	1,83	9,70	0,33	1,89	10,00	0,34
		6,15		4,64	8,61		9,38

Teniendo en cuenta que por definición un río es una “corriente de agua que desemboca en otro río o en el mar”, es evidente que el parámetro más importante debe ser la aportación, pero también la longitud tiene mucha relevancia pues podría darse el caso de que tengamos una fuente de gran caudal en un ramal de escasa longitud desde la confluencia, y sin embargo el otro ramal continúe su curso aguas arriba por mucha más distancia y presentando también fuentes, no tan caudalosas, pero sí más distantes de la desembocadura. El tercer parámetro que define también la importancia de un río es su superficie de cuenca. En cuarto y quinto lugar hemos colocado los dos parámetros que mejor representan la madurez y entidad de la red de drenaje y del cauce estudiado,



respectivamente. También el octavo, noveno y décimo están relacionados con esta madurez aunque de forma distinta, y por eso se ha rebajado su posición en la tabla. La cota de la fuente más alta es un parámetro de importancia media y por último, el ángulo de incidencia en la bifurcación y la sinuosidad serían muy importantes en ríos aluviales sin discontinuidades geológicas en su curso, pero en las montañosas cabeceras de las cuencas de los ríos españoles la capacidad de estos parámetros de identificar al ramal principal es menor.

Finalmente, para cada ramal en estudio, se multiplica la puntuación no ponderada de cada parámetro por el peso que tiene en el análisis. La suma total sería la puntuación final ponderada, (de 0 a 10), que hemos dado en llamar Índice de Importancia Relativa (IIR). El tramo que obtenga un valor más cercano a 10 será considerado como principal y se continua el estudio hacia aguas arriba por su curso hasta la siguiente confluencia. En la tabla 2 se ve un ejemplo

## REFERENCIAS

Castillo, A. (2012): El Nacimiento del Guadalquivir en la Cañada de las Fuentes. En: “La Sierra del Agua: 80 viejas historias de Cazorla y Segura”. Editorial Universidad de Granada. 169-172

Delgado, F. (2007): Patrimonio ecológico, cultural e hidráulico del Guadiana Menor. Grupo editorial universitario. Granada

Delgado, F., Raya, E. y Nania, L. (2015): Determinación del cauce principal de un río mediante herramientas SIG y análisis multicriterio: aplicación al río Guadalquivir. En Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA). Málaga

González Barberán, V. (1977): Aspectos histórico-geográficos del Guadalquivir y sus fuentes. En “Guadalquivires”. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. Cádiz

Horton, R.E. (1945) Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. Bull. Geol. Soc. Am., Vol. 56, pp. 275-370.

Ibáñez, S.; Moreno, H.; Gisbert, J.M. (2011). Morfología de las cuencas hidrográficas. Universidad Politécnica de Valencia.

López Martos, J. (2007): El nacimiento del Guadalquivir. Revista velezana, ISSN 1132-7693, Nº. 26, 2007, págs. 133-140. Vélez Rubio

Polaino, L. (1960): Estudio geográfico del alto Guadalquivir. Boletín del Instituto de Estudios Giennenses, ISSN 0561-3590, Nº. 24, págs. 67-118

Romero, C. (1996) Análisis de las decisiones multicriterio. ISDEFE. Madrid

Strahler, A. (1989). Geografía física. Omega. Barcelona

Strahler, A.N. (1952) *Dynamic Basis for Geomorphology*, Bull. Geol. Soc. Am., Vol. 63, pp. 923-928.