

YOLANDA MARTÍNEZ FERREROS\*

## LA MEANDRIZACIÓN EN EL LLANO DE INUNDACIÓN DEL XÚQUER\*\*

### RESUMEN

El río Xúquer a su paso por la Ribera ha construido una llanura aluvial costera de pendiente muy tendida. Uno de los rasgos geomorfológicos más representativo del llano de inundación es la meandrización del cauce. En este trabajo se analizan los meandros desde una perspectiva cualitativa y cuantitativa. Se constata la sucesión de grupos de meandros con una morfología diferenciada en relación a la geometría del llano aluvial, confluencia de tributarios, etc.

### ABSTRACT

The Xúquer River, in the Ribera, has built an alluvial costal plain with a very flat slope whose more representative geomorphologic feature is a meandering channel. The numerous bends are considered from a qualitative and quantitative approach. It has revealed some groups of meanders with a special behaviour according to the geometry of the floodplain, confluences of tributaries, etc.

### 1. INTRODUCCIÓN

Las llanuras de inundación y meandros aluviales asociados a ellas integran un mismo sistema hidrogeomorfológico. Este binomio geomorfológico es independiente de los tamaños del río o de la llanura, o de la magnitud y frecuencia de flujos de desbordamiento. La anchura de la llanura de inundación siempre es superior a la amplitud del cinturón de meandros libres. La forma serpenteante y divagante en planta –con recodos enlazados o no por tramos rectos– alarga la longitud del cauce en la llanura aluvial.

---

\* Departament de Geografia. Universitat de València

\*\* Este trabajo forma parte del proyecto PB89-0526 de la D.G.I.C.Y.T.

Requisito para la meandrización es un exceso de energía inicial que en la Ribera del Xúquer deriva del tránsito de un medio confinado (congostos del Caroig) a una llanura, libre de obstáculos, que se abre al mar. Una vez generado el primer meandro, el flujo helicoidal traslada aguas abajo las condiciones para la formación del siguiente y así sucesivamente.

La forma regular de los meandros ha propiciado la aplicación de conceptos de equilibrio y simetría traducidos en parámetros *standard* (HOOKE, 1984). Sin embargo, recientemente se han incorporado también ideas de asimetría y formas compuestas o complejas. En efecto, no existen dos meandros iguales: cada uno está afectado por factores que varían de una llanura a otra, de un tramo meandrante a otro e incluso respecto del anterior o posterior.

La planta del meandro es tan peculiar como su sección transversal. Ambas se hallan relacionadas (CHITALE, 1973): los meandros más abiertos tienen un canal ancho, con escasa profundidad y baja tortuosidad, al contrario que los meandros cerrados. Una sección estrecha y profunda propicia la continua erosión de la margen cóncava agudizando la curva y, en última instancia, el estrangulamiento. En secciones anchas y someras, el punto de máxima erosión se encuentra algo desplazado respecto del ápice en dirección de la corriente de lo que resulta la migración del meandro.

La solera de los cauces meandrantes presenta una alternancia de depresiones (*pools*) y ondulaciones (*riffles*) con una distancia equivalente a 5-7 veces la anchura del canal (RICHARDS, 1982). Dicha secuencia constituye una de las variables de geometría hidráulica más característica de la meandrización (LEOPOLD *et al.*, 1964).

Una sección transversal de meandro refleja el ajuste e interacción entre los sedimentos y las magnitudes temporales de caudal (LEOPOLD *et al.*, 1964; RICHARDS, 1982). Por ejemplo, durante una crecida de márgenes llenas, el fondo del cauce pasa por episodios de erosión y deposición según la magnitud variable del caudal. En consecuencia, los depósitos, forma y profundidad del cajero están en ajuste continuo a los flujos de caudal.

Otro rasgo de los meandros aluviales es el desigual comportamiento de cada una de las márgenes. En la orilla cóncava dominan los procesos erosivos que la socavan recreciendo el lóbulo del meandro. Al pie de la margen cóncava se sitúa un *pool* o depresión donde se alcanza la mayor profundidad de la solera y la máxima velocidad del flujo. En la margen convexa, se localiza un área de deposición que da lugar a la formación de la típica barra en punta de flecha o *point bar*. El *point bar* está formado por material procedente de la orilla socavada.

La oposición de erosión y deposición en las márgenes de un mismo meandro conduce a un aumento de la curvatura y puede derivar en un estrangulamiento. Una vez cortado, el antiguo recodo (*ox bow*)-desconectado del cauce principal- acaba por colmatarse poco a poco por sedimentos finos.

## 2. MÉTODO DE TRABAJO

La delimitación de las curvas de divagación del cauce (puntos de inflexión, zonas de máxima curvatura, tramos rectos...) constituye el primer paso para un análisis cualitativo o cuantitativo de los meandros. En este trabajo se identifica meandro como sinónimo de medio meandro o *half meander* –expresión desarrollada por O’Neill-Abrahams (1986)– y designa cada sinuosidad del cauce con dos puntos de inflexión (donde cambia la curvatura) y un único punto central (ápice).

Sobre cartografía y fotografía aérea (a escala 1:10.000 y 1:25.000) se ha «digitalizado» el cauce desde Antella hasta el mar. Para obviar las decisiones subjetivas en la fijación de los puntos de inflexión, se ha seguido la propuesta de Hooke (1984). De este modo se han individualizado 59 medios meandros, 39 de los cuales corresponde a la Ribera Alta y los 20 restantes a la Baixa.

### 2.1. Análisis cualitativo

Toda curva o recodo del cauce no es necesariamente un meandro. En efecto, un meandro puede estar formado por uno o varios recodos, unidos entre sí por tramos rectos. Al igual que los eslabones de una cadena, cada meandro está ligado al anterior y posterior: el inicio de un meandro coincide con el final del precedente y su extremo es el comienzo del siguiente.

De entrada, los meandros han sido clasificados como simples (cuando cuentan con un recodo) o complejos (cuando aparecen varios ápices) (O’NEILL-ABRAHAMS, 1986). Dichos recodos alternan su giro a derecha e izquierda y viceversa, originando diferentes formas y tamaños. La dirección del giro se identifica respecto a una recta que partiendo del punto de inflexión inicial de cada meandro llegase hasta el mar. Un tramo con cambio de dirección a la derecha se identifica mediante el signo positivo mientras el signo negativo indica giro a la izquierda. Los sucesivos giros de los recodos dan la componente final de la cadena de meandros, generalmente alterna, con pocas excepciones. En otras palabras, el flujo del agua –tras chocar contra una margen– se desvía hacia la opuesta. Los meandros mantienen morfologías cuyo denominador común es la asimetría.

### 2.2. Análisis morfométrico

A partir de los puntos definitorios del meandro se fijan diversos parámetros de escala y forma (RICHARDS, 1982). Los parámetros de escala miden las dimensiones del meandro (por ejemplo, la *longitud del arco*). Los parámetros de forma reflejan la morfología en planta (radio de curvatura, longitud de onda, amplitud, sinuosidad, etc.) (fig. 1 y tabla 1).

La *anchura* equivale al valor medio de todos los puntos comprendidos entre dos puntos de inflexión. La magnitud de esta variable condiciona otros parámetros de forma (radio de curvatura, longitud de onda, sinuosidad...) y de

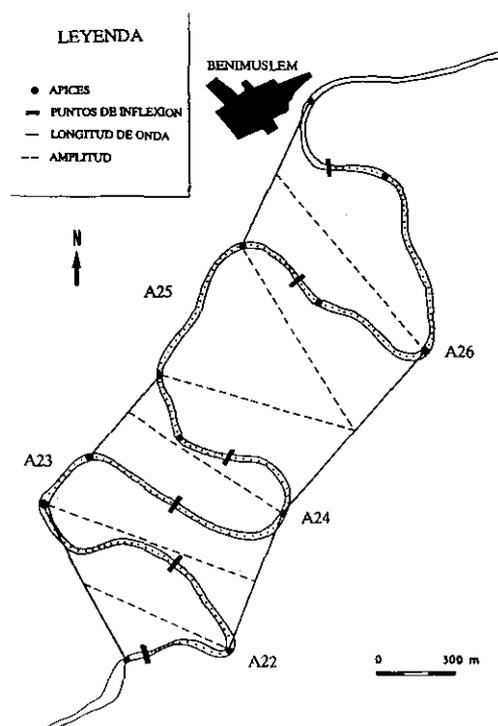


Fig. 1. "Digitalización" del cauce y principales parámetros de medios meandros (*half meanders*) aplicado a un tramo del Xúquer en la Ribera

Tabla 1

PARÁMETROS	DEFINICIÓN
RADIO DE CURVATURA	Radio de la circunferencia que se puede inscribir dentro de un meandro.
LONGITUD DE ONDA	Distancia que une en línea recta dos ápices alternos, medida desde el centro del canal.
LONGITUD DE ARCO	Distancia que recorre el cauce entre dos puntos de inflexión.
AMPLITUD	Distancia que separa dos orillas cóncavas consecutivas medida desde el punto de máxima curvatura hasta el centro de la longitud de onda.
SINUOSIDAD	Resulta de dividir la distancia que recorre el talweg entre dos puntos determinados y la que los separa en línea recta.

escala (longitud de arco...) (RICHARDS, 1982). Williams (1986) ha confirmado la relación entre anchura de márgenes llenas y profundidad media asociándola con la sinuosidad (Richards, 1982). Otra relación dominada por la anchura es la que Friedkin (1945), Leopold-Wolman (1957), Leopold *et al.* (1964) y Richards (1982) han establecido a propósito del espaciado *riffle-pool*.

El *radio de curvatura* es directamente proporcional a la anchura media del canal (Leopold *et al.*, 1964):

$$R = 2 - 3 \times \text{Anchura}$$

Para la Ribera se ha aplicado la constante de 2,7 obtenida por Leopold-Wolman (1957).

La *longitud de onda* puede ser objeto de cuantificación directa (en el canal fluvial) e indirecta (aplicando alguna de las fórmulas de ajuste entre los valores observados y los que la teoría predice). Este trabajo aplica la primera opción.

La *longitud de arco* –indicador del tamaño del meandro– evidencia además dos posibles morfologías extremas en planta. Puede tratarse de un meandro curvado en extremo que circunde una porción de terreno o con puntos de inflexión distantes entre sí y con una curva sumamente abierta.

La *amplitud* –un parámetro complementario de la longitud de arco– señala el grado de apertura de la onda y la dirección de crecimiento del meandro. La amplitud cubre este aspecto sin necesidad de conocer previamente el trazado del cauce. Por consiguiente, cuando ambos parámetros tienen valores elevados estamos ante un meandro relativamente grande y de acentuada curvatura. Cuando los valores son bajos estamos ante una morfología de signo contrario.

Finalmente, la *sinuosidad* combina un parámetro de escala con otro de forma. Es aplicable al trazado de todo el río, a una parte de la cuenca, a grupos de meandros o para cada meandro en particular. Richards (1982) la formula:

$$\text{Sinuosidad} = \text{longitud de arco} / \text{longitud de onda}$$

### 3. EL ÁREA DE ESTUDIO

La Ribera del Xúquer es un llano de inundación abierto al mar Mediterráneo edificado por el río tras abandonar los congostos del Caroig. A este recinto de unos 300 km<sup>2</sup> desaguan además varios tributarios (Sallent, Albaida, Magre, etc.) que han contribuido también al modelado de la llanura aluvial. A partir de Antella, la anchura de la llanura se amplía paulatinamente hasta Algemesí. En este punto, el llano de inundación se constriñe parcialmente por los depósitos aluviales del río Magre (margen izquierda) y por una acera de depósitos coluviales (margen derecha). Una vez superado este estrangulamiento, la llanura se amplía de nuevo hasta alcanzar la línea de costa mediterránea.

La distancia entre el ápice del llano de inundación y el mar –unos 37,5 Km– casi se duplica siguiendo el trazado del río (unos 68 Km). En este recorrido, el río

divaga sobre diferentes geometrías transversales del valle (MATEU, 1980). Así, en el sector comprendido entre Antella y la desembocadura del Magre –conocido popularmente como Ribera Alta– alterna tramos cóncavo-planos con otros convexos. Aguas abajo –desde el Magre hasta el mar o Ribera Baixa– el edificio sedimentario aluvial es convexo.

El régimen fluvial es un factor decisivo en la evolución de los meandros por cuanto aporta energía al sistema. En condiciones naturales, la Ribera conocía dos períodos de aguas altas (otoño, primavera). A las crecidas otoñales contribuían tanto las puntas del Xúquer como sus tributarios (Albaida, Magre, etc.) generadas en la cuenca baja mientras las primaverales iban asociadas a los aportes de la cuenca media y alta (PÉREZ PUCHAL, 1967). Comentario específico merecerían algunas avenidas extremas otoñales (p.e. 1864, 1923) durante las cuales se superaban caudales instantáneos de  $12.000 \text{ m}^3/\text{s}$  (GÓMEZ ORTEGA *et al.*, 1866). El período de aguas bajas corresponde al verano.

Las obras de regulación, construidas a lo largo del siglo XX, han modificado sensiblemente el régimen de crecidas y han introducido cortocircuitos en la dinámica sedimentaria. Las grandes presas de la cuenca media (Alarcón, Contreras, Forata) contribuyen a la laminación de las avenidas de primavera. En la actualidad se hallan en construcción varias presas en la cuenca baja (Tous, Escalona, Bellús) que atenuarán los picos de crecida otoñales y retendrán sedimentos.

De otra parte, el módulo del Xúquer a su paso por la Ribera experimenta una drástica reducción (de  $52 \text{ m}^3/\text{s}$  al inicio del llano a  $9,4 \text{ m}^3/\text{s}$  en la desembocadura) por las numerosas derivaciones de agua para riegos. Concretamente, desde Tous a Gavarda, el módulo se reduce de 52 a  $26 \text{ m}^3/\text{s}$  aunque reciba la descarga del Sallent. La pérdida de caudal es el resultado de derivaciones hacia la Acequia Real del Xúquer ( $34,5 \text{ m}^3/\text{s}$  de módulo), Real Acequia de Escalona ( $5,6 \text{ m}^3/\text{s}$ ), Particular de Antella ( $3 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y Real Acequia de Carcaixent ( $3,2 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

Aguas abajo de Gavarda, el caudal fluvial se recupera paulatinamente ( $33,5 \text{ m}^3/\text{s}$  en Alzira) por los aportes del Albaida y las aguas de retorno de los regadíos que revierten al Xúquer. Entre Algemesí y Albalat se alcanzan los  $40,7 \text{ m}^3/\text{s}$  al incorporar los derrames de los ríos Verd y Magre, de algunas surgencias, sobrantes de acequias, etc.

#### 4. MEANDROS SIMPLES Y COMPUESTOS

Cada meandro de la Ribera del Xúquer se ha denominado con el correspondiente topónimo tal como se recoge en la Tabla 2. Para facilitar la expresión gráfica y la localización, un meandro es designado mediante una letra y un número: la letra A indica Ribera Alta y B su pertenencia a la Baixa; el número indica su posición en la cadena de meandros comenzando en el término de Sumacárcer (A1) hasta concluir en la desembocadura (B59) (Ver figuras 2, 3 y 4).

Tabla 2

Denominación	Nº del meandro	Tipo	Nº y Dirección de los recodos	Dirección global del giro
Illeta-Havana	A1	Simple	Uno +	Derecha
L'Oro	A2	Simple	Uno -	Izquierda
Assut d'Antella	A3	Compuesto	Dos ++	Derecha
«Villa Amelia»	A4	Simple	Uno -	Izquierda
El Pla	A5	Compuesto	Tres +-+	Derecha
Illes del Pla	A6	Compuesto	Dos +-	Izquierda
La Xarquia	A7	Simple	Uno +	Derecha
El Palmeral-El Bosc	A8	Simple	Uno -	Izquierda
La Barca	A9	Simple	Uno +	Derecha
Desembocadura del Sallent	A10	Compuesto	Dos -+	Derecha
Gavariol	A11	Compuesto	Tres -+-	Izquierda
Raconada de Gavarda	A12	Compuesto	Dos -+	Derecha
La Llenca	A13	Simple	Uno -	Izquierda
L'Albufera	A14	Simple	Uno +	Derecha
Racó dels Polacos-Paixarella	A15	Compuesto	Dos +-	Izquierda
«Casa de Paula»	A16	Compuesto	Dos +-	Izquierda
Desembocadura del Albaida	A17	Compuesto	Tres +-+	Derecha
Serra	A18	Compuesto	Dos -+	Izquierda
Panera	A19	Simple	Uno +	Derecha
El Bosc-Alcasser	A20	Simple	Uno -	Izquierda
Algoleges	A21	Tramo recto	Uno +	Derecha
Paleta de Trena	A22	Simple	Uno -	Izquierda
Racó de la Pedra-Rollet	A23	Compuesto	Dos -+	Derecha
Racó de Montell	A24	Simple	Uno -	Izquierda
Racó de Maragua-Bosquet	A25	Compuesto	Tres +-+	Derecha
Partida de Moia	A26	Compuesto	Tres -+-	Izquierda
El Raconet de Benimuslem	A27	Compuesto	Dos ++	Derecha
Racó-Partida del Toro	A28	Compuesto	Tres -+-	Izquierda
Benibaire	A29	Simple	Uno +	Derecha
Rumbau	A30	Compuesto	Dos --	Izquierda
Racó de l'Alborgí	A31	Compuesto	Tres -++	Derecha
Molí de l'Alborgí	A32	Compuesto	Dos -+	Izquierda
Almúnia-Materna	A33	Simple	Uno -	Izquierda
Raconada d'Alzira	A34	Compuesto	Dos -+	Derecha
Ràfol, Enquencència o Tulell	A35	Simple	Uno -	Izquierda
Desembocadura del Riu Verd	A36	Simple	Uno +	Derecha
Cases de Xixarà	A37	Compuesto	Dos -+	Izquierda
El Cano	A38	Simple	Uno -	Izquierda
L'Algoleja	A39	Simple	Uno +	Derecha
Desembocadura del Magre	B40	Simple	Uno -	Izquierda
Racó de Xeixena	B41	Simple	Uno +	Derecha
El Gual	B42	Simple	Uno -	Izquierda
Pardines	B43	Simple	Uno +	Derecha
Raconada d'Albalat	B44	Simple	Uno -	Izquierda
Cúmol-Vint-i-huitena	B45	Simple	Uno +	Derecha
Raconada de Polinyà	B46	Simple	Uno -	Izquierda
El Racó-Molí del Riu	B47	Compuesto	Tres -+-	Derecha
Racó d'Angla-Assut de Sueca	B48	Simple	Uno +	Derecha
Raconada de Riola	B49	Simple	Uno -	Izquierda
El Lliber	B50	Simple	Uno +	Derecha
La Raconada-Assut de Cullera	B51	Simple	Uno +	Derecha
Raconada de Fortaleny-L'Elo	B52	Simple	Uno -	Izquierda
La Parra o Racó de les Vinyes	B53	Simple	Uno +	Derecha
«Molí de Tomba» - Senillar	B54	Simple	Uno -	Izquierda
«Hort de Belera» - Vilella	B55	Simple	Uno +	Derecha
La Raconada	B56	Compuesto	Dos --	Izquierda
Raconada de Sueca	B57	Compuesto	Tres +-+	Derecha
Sueca o Rafal	B58	Simple	Uno -	Izquierda
El Toll	B59	Simple	Uno +	Derecha

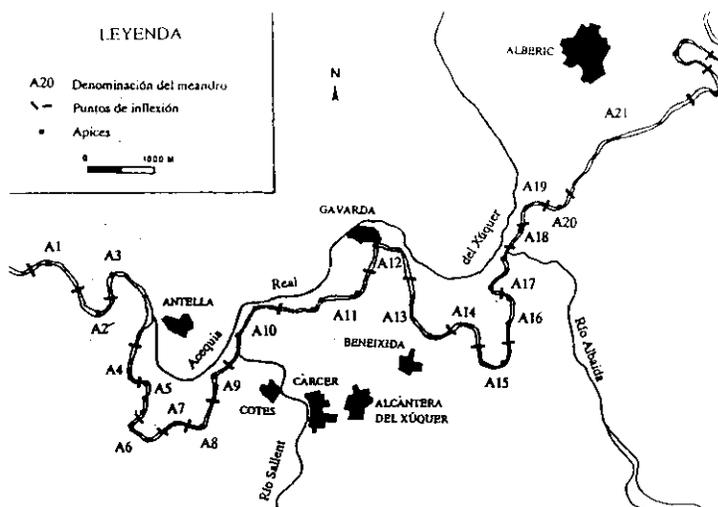


Fig. 2. Localización de meandros en la Ribera Alta, tramo Antella-Alberic

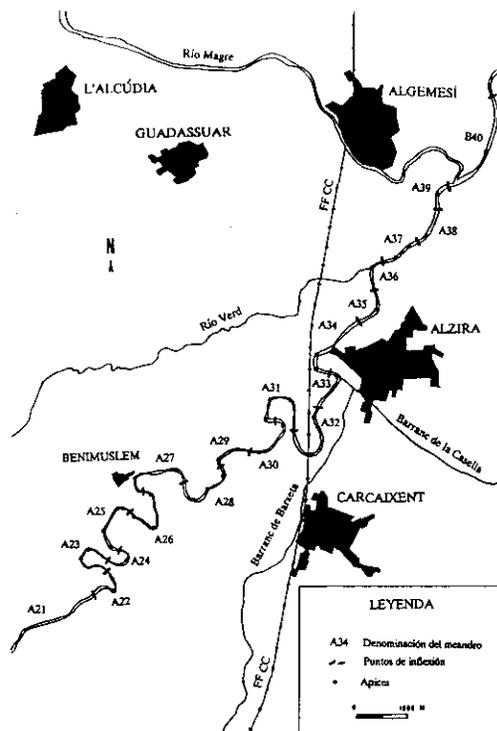


Fig. 3. Localización de meandros en la Ribera Alta, tramo Alberic-Algemesí

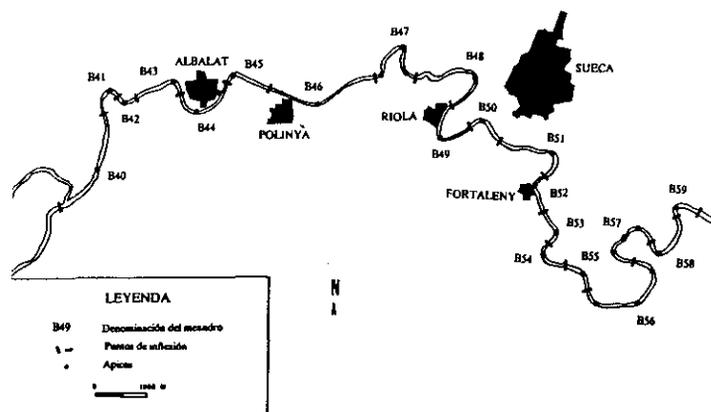


Fig. 4. Localización de meandros en la Ribera Baixa

En la misma tabla 2 se indica además el número de recodos que forman cada uno de los meandros, su dirección de giro y la dirección global del meandro. Cuando se siguen dos recodos del mismo signo en un mismo meandro (Raconet de Benimuslem (A27) La Raconada (B56), etc.) o en dos meandros contiguos (Molí de l'Alborgí (A32) y Almúnia-Materna (A33), Raconada de Polinyà (B46) y Racó-Molí del Riu (B47)) quiere decir que hay tramos rectos entre ellos.

A lo largo de la Ribera existen nueve meandros complejos que integran hasta tres recodos con cambios alternantes en la dirección del giro: El Pla (A5), Gavariol (A11), Desembocadura del Albaida (A17), Racó de Maragua-Bosquet (A25), Partida de Moia (A26), Racó del Toro (A28), Racó de l'Alborgí (A31), Racó-Molí del Riu (B47), Raconada de Sueca (B57). Algunos de estos meandros de triple componente (Racó de Maragua-Bosquet, Racó del Toro y Raconada de Sueca) junto a otros integrados por dos recodos –Racó de la Pedra-Rollet (A23) y Raconet de Benimuslem (A27)– presentan dos ápices muy prominentes que impulsan el desarrollo del meandro hacia direcciones contrarias. En caso de progresar, a causa del efecto denominado de «doble cabeceo», llegaría a escindir el meandro original en dos meandros simples.

Los 23 meandros compuestos suponen el 39% de todos los meandros del llano aluvial, con un fuerte predominio en la Ribera Alta (20) frente a la Ribera Baixa (tabla 3).

Por su parte, los 36 meandros simples representan el 61% restante. Un desglose por riberas muestra la dominancia de los meandros simples en la Ribera Baixa (85%) respecto a los meandros compuestos mientras que en la Ribera Alta la relación entre ambos es más equilibrada (49% de meandros simples y 51% de compuestos). La tabla 3 refleja esta clasificación incluyendo el tramo más rectilíneo (A21) dentro de la categoría de los simples.

**Tabla 3**  
CLASIFICACIÓN DE MEANDROS SEGÚN EL N° DE ÁPICES\*

	RIBERA ALTA		RIBERA BAIXA		LA RIBERA	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%
SIMPLES	19	49	17	85	36	61
COMPUESTOS	20	51	3	15	23	39
TOTAL	39	100	20	100	59	100

(\*) Incluye el tramo A 21.

El tramo más largo de meandros simples se localiza en la Ribera Baixa, desde la desembocadura del río Magre (B40) hasta el meandro Hort de Belera-Vilella (B55), interrumpido únicamente por el meandro del Racó-Molí del Riu (B47).

No se aprecia coincidencia entre tipo de meandro y las confluencias de los tributarios del Xúquer. Así, las desembocaduras del Sallent y Albaida se instalan en meandros compuestos mientras son los de las confluencias del Verd y Magre son simples.

## 5. MORFOMETRÍA DE LOS MEANDROS

Según Leopold *et al.* (1964) «... casi todos los canales naturales muestran una tendencia a desarrollar curvas que parecen ser proporcionales al tamaño del canal...». Por ello, la aplicación de parámetros *standard* permiten cuantificar las dimensiones y la comparación entre arterias fluviales (tablas 4 y 5).

### 5.1. Variables de forma

La *anchura* del Xúquer a su paso por la Ribera (unos 30 m como valor medio) se incrementa gradualmente (fig. 5). En efecto, al disminuir la pendiente del llano de inundación se frena la velocidad del agua, se expande el flujo sobre un cauce más amplio y menos profundo y aumenta la fricción.

En consecuencia, las menores anchuras del cauce se registran en la Ribera Alta (unos 20 m de media) mientras en la Ribera Baixa se alcanzan unos 40 m de anchura media. Precisamente los meandros del tramo comprendido entre las desembocaduras de los ríos Verd y Magre (desde A36 hasta B40) marcan el tránsito entre ambas riberas con unos 32 m de anchura media. Los puntos más desviados de la recta (fig. 5) corresponden a los meandros donde se ubican las derivaciones de riego (*assuts*) de Antella (A3), Sueca (B48) y Cullera (B51).

Tabla 4

Meandro	Anchura	Radio	L. Onda	L. Arco	Amplitud	Sinuosidad
A1	27.7	74.8	1409.0	844.0	519.0	0.6
A2	21.0	56.7	963.0	978.0	753.0	1.0
A3	33.5	90.5	1087.0	1886.0	862.0	1.7
A4	15.0	40.5	1080.0	696.0	468.0	0.6
A5	14.2	38.3	658.0	528.0	244.0	0.8
A6	15.4	41.6	500.0	923.0	448.0	1.8
A7	14.2	38.3	850.0	476.0	193.0	0.6
A8	18.1	48.9	919.0	628.0	470.0	0.7
A9	18.6	50.2	1503.0	739.0	166.0	0.5
A10	17.2	46.4	1775.0	1314.0	479.0	0.7
A11	15.1	40.8	1948.0	1679.0	579.0	0.9
A12	18.8	50.8	1371.0	1188.0	1005.0	0.9
A13	14.2	38.3	1515.0	1399.0	724.0	0.9
A14	12.8	34.6	792.0	700.0	420.0	0.9
A15	14.1	38.1	663.0	930.0	642.0	1.4
A16	15.8	42.7	1117.0	945.0	342.0	0.8
A17	15.4	41.6	812.0	993.0	369.0	1.2
A18	15.6	42.1	748.0	381.0	126.0	0.5
A19	20.4	55.1	823.0	736.0	340.0	0.9
A20	15.3	41.2	980.0	613.0	299.0	0.6
A21	17.9			2900.0		
A22	20.8	56.2	690.0	750.0	615.0	1.1
A23	20.6	55.6	571.0	1286.0	875.0	2.3
A24	19.7	53.2	421.0	848.0	713.0	2.0
A25	13.0	35.1	826.0	1350.0	808.0	1.6
A26	19.0	51.3	610.0	1532.0	876.0	2.5
A27	17.0	45.9	915.0	1490.0	957.0	1.6
A28	16.9	45.6	785.0	1475.0	579.0	1.9
A29	16.8	45.4	1035.0	885.0	578.0	0.9
A30	19.8	53.5	1203.0	1209.0	697.0	1.0
A31	21.4	57.8	798.0	1650.0	799.0	2.1
A32	20.5	55.4	578.0	1631.0	895.0	2.8
A33	24.6	66.4	965.0	1020.0	565.0	1.1
A34	27.1	73.2	1538.0	1660.0	927.0	1.1
A35	27.3	73.7	2012.0	813.0	637.0	0.4
A36	28.8	77.6	1043.0	720.0	427.0	0.7
A37	34.0	91.8	776.0	820.0	130.0	1.1
A38	33.1	89.4	1221.0	790.0	310.0	0.6
A39	40.9	110.4	2070.0	663.0	387.0	0.3
B40	45.3	122.3	2912.0	2083.0	584.0	0.7
B41	34.5	93.2	1320.0	747.0	814.0	0.6
B42	38.0	102.6	1363.0	488.0	475.0	0.4
B43	38.2	103.1	1545.0	1035.0	548.0	0.7
B44	40.8	110.2	1090.0	1420.0	632.0	1.3
B45	44.1	119.1	2281.0	977.0	861.0	0.4
B46	55.6	150.1	2910.0	2103.0	633.0	0.7
B47	54.9	148.2	515.0	1880.0	584.0	3.7
B48	52.5	141.8	1320.0	1970.0	1166.0	1.5
B49	35.7	96.4	881.0	1410.0	1067.0	1.6
B50	35.7	96.4	2240.0	640.0	620.0	0.3
B51	47.1	127.2	1613.0	1953.0	944.0	1.2
B52	31.5	85.1	1562.0	690.0	482.0	0.4
B53	27.9	75.3	1307.0	820.0	479.0	0.6
B54	29.7	80.2	945.0	747.0	558.0	0.8
B55	29.5	79.7	1492.0	733.0	277.0	0.5
B56	35.9	96.9	730.0	2320.0	1134.0	3.2
B57	39.0	105.3	287.0	1523.0	755.0	5.3
B58	41.4	111.8	809.0	1310.0	744.0	1.6
B59	42.0	113.4	1307.0	665.0	658.0	0.5

**Tabla 5**  
 DIMENSIONES MEDIAS POR TRAMOS DE LOS MEANDROS ALUVIALES DEL XÚQUER,  
 CON REFERENCIA DE LOS VALORES MÍNIMOS Y MÁXIMOS

Tramo	Anchura	Radio	L. Onda	L. Arco	Amplitud	Sinuosidad
Antella-Albaida	17.6	47.6	1075.7	928.8	472.4	0.9
máximo	33.5	90.5	1948	1886	1005	1.8
mínimo	12.8	34.6	500	381	126	0.5
Alberic-Alzira	19.8	53.4	841.2	1291.2	760.3	1.7
máximo	27.1	73.2	1538	1660	957	2.8
mínimo	13	35.1	421	750	565	0.9
Alzira-Algemesí	32.8	88.6	1424.4	761.2	378.2	0.6
máximo	40.9	110.4	2070	820	637	1.1
mínimo	27.3	73.7	776	663	130	0.3
Ribera Baixa	40	107.9	1421.5	1275.7	700	1.3
máximo	55.6	150.1	2912	2320	1166	5.3
mínimo	27.9	75.3	287	488	277	0.3

Anchura = Anchura del canal en el meandro.

Radio = Radio de curvatura

L. Onda = Longitud de onda

L. Arco = Amplitud de arco

Amplitud = Amplitud de onda

Sinuosidad = Sinuosidad del meandro

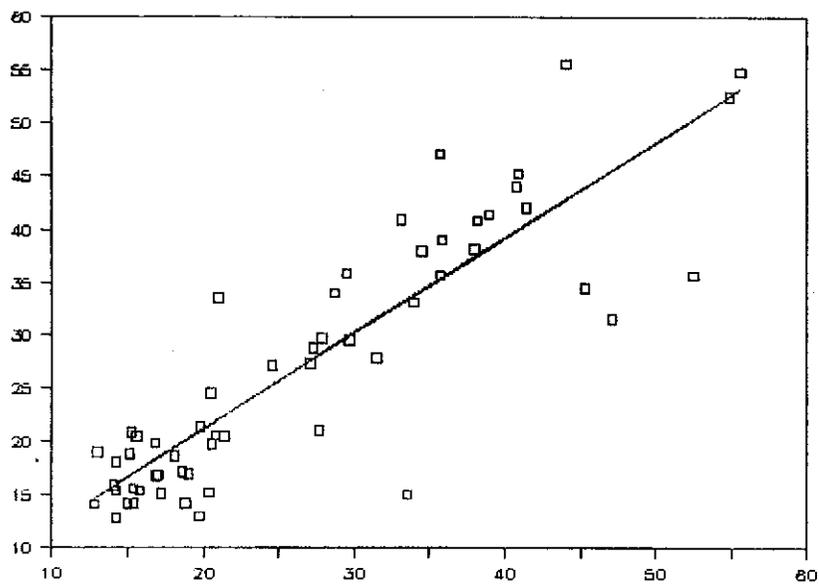


Fig. 5. Anchura del cauce en cada meandro (abscisas) en relación a la del meandro precedente (ordenadas)

Los valores de la *radio de curvatura* siguen las mismas tendencias de la anchura. La Ribera Alta registra un radio medio de curvatura de 55 m frente a los casi 209 m en la Baixa. Para toda la Ribera, resulta una media de 81 m. La mitad de los meandros de la Ribera tiene un radio de curvatura inferior a 60 m. La otra mitad reparte sus valores entre 60 y 150 m influyendo en ello los meandros de la Ribera Baixa que, a pesar de su menor número, cuentan con una gama de valores más amplia.

El valor medio de *longitud de onda* en los meandros de la Ribera del Xúquer es de 1.231 m. La Ribera Baixa lo supera ampliamente (más de 1.400 m) mientras en la Ribera Alta apenas se alcanza los 1.040 m. Casi la mitad de los meandros del Xúquer en la Ribera se hallan por debajo de los 1.000 m de longitud de onda siendo muy pocos los que sobrepasan los 2.000 m.

La representación de las longitudes de onda según la distancia de los meandros al mar (fig. 6) otorga al meandro A1 (situado en la «cabecera» de la llanura) un valor cero en el eje de ordenadas y al meandro B59 (el más próximo a la desembocadura) el extremo opuesto. Además de la heterogeneidad de los valores de longitud de onda en la Ribera Baixa, destaca el grupo de meandros desde la Paleta de Trena (A22) hasta la Raconada d'Alzira (A34). El comportamiento rítmico de sus valores hace que al aumento en una longitud de onda suceda la reducción de la siguiente con una tendencia final a la baja.

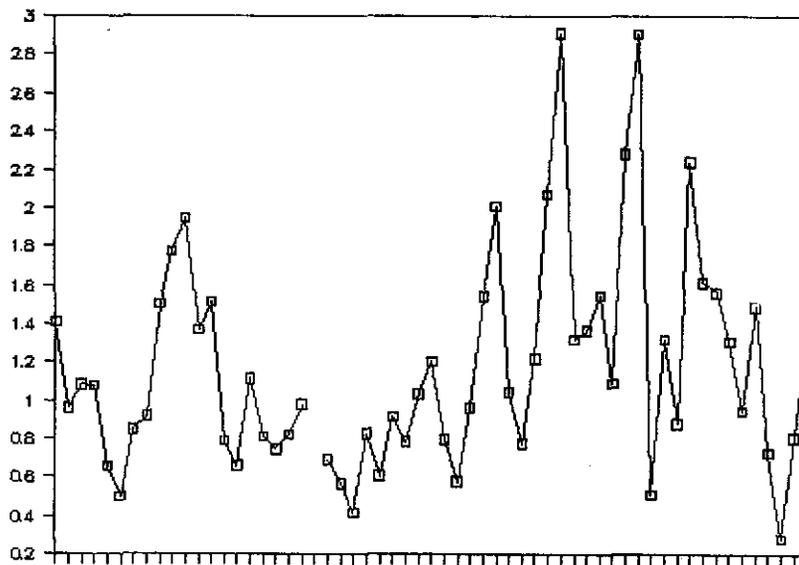


Fig. 6. Longitud de onda de cada meandro en miles de metros (ordenadas). En abscisas se representa la mayor (izquierda) o menor (derecha) distancia al mar de cada uno de los meandros

Así, la amplia gama de longitudes de onda en la Ribera Baixa corresponde a una sucesión de curvas muy variadas. Por contra, el tramo entre A22 y A34 – con los inferiores valores de longitud de onda – corresponde a los meandros de morfología más cerrada y de mayor sinuosidad de toda la Ribera.

Una relación clave en morfometría de meandros se establece entre *longitud de onda/anchura*. La tendencia de esta *ratio* se representa en la fig. 7 con un constante decrecimiento hacia la desembocadura del río: la Ribera Baixa concentra las mayores longitudes de onda y anchura de los meandros. Por tanto, la reducción de la *ratio* obedece al aumento de cada índice hacia aguas abajo del llano, más acentuado en el caso de la anchura.

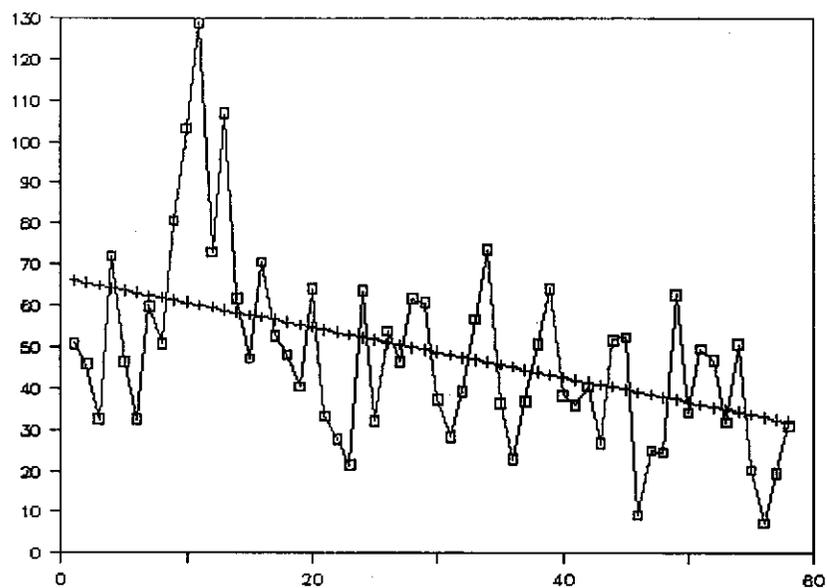


Fig. 7. Ratio longitud de onda-anchura de cada meandro (ordenadas) disponiéndose el tren de meandros en abscisas con el ápice de la llanura de inundación a la izquierda y la desembocadura a la derecha

La *amplitud* media para toda la Ribera es de 629 m, 700 m en la Ribera Baixa y 558 m en la Ribera Alta. Los mínimos se registran en el meandro Hort de Belera-Vilella (B55) con 227 m y en Serra (A18) con 126 m. Los máximos aparecen en el Racó d'Angla (B48) con 1.166 m, la Raconada (B56) con 1.134 m y la Raconada de Gavarda (A12) con 1.005 m.

La *ratio de amplitud/anchura* (fig. 8) permite delimitar varios tramos a lo largo de la Ribera. El primero, que incluye los 10 primeros meandros desde Antella hasta la desembocadura del Sallent, registra una tendencia descendente de la *ratio* con oscilaciones rítmicas a intervalos regulares: a una fuerte disminución sucede un ligero incremento. Tan sólo el meandro del Assut d'Antella (A3)

es discordante, aunque se mantiene dentro de esta línea de comportamiento. Un segundo tramo –entre Gavarda y la desembocadura del Albaida– muestra una nueva y progresiva reducción de la *ratio* con importantes fluctuaciones. El comportamiento más irregular aparece entre Alberic y Alzira. A continuación, el tramo de 6 meandros, marcado por la influencia del cono aluvial del Magre, provoca un rápido descenso de la *ratio* y da paso a un nuevo grupo de meandros cuyo comportamiento es más irregular. Por último, tenemos un conjunto de 20 meandros que representa a la Ribera Baixa con rítmicas oscilaciones de la *ratio* cada 3 ó 4 meandros.

### 5.2. Variables de escala

La Ribera Baixa del Xúquer presenta una *longitud media de arco* de 1.275 m, sólo 200 m superior a la media de la Ribera Alta (1.079 m). La media de toda la llanura es de 1.177 m. Las diferencias entre Riberas no son tan marcadas como sucede con la longitud de onda, si bien la gama de valores que abarca es muy amplia, oscilando desde un mínimo de 381 m hasta un máximo de 2.320 m.

Meandros de más de 2 Km son excepcionales: el meandro de la desembocadura del Magre (B40), la Raconada de Polinyà (B46) y la Raconada (B56), correspondiente a una morfología de acentuada curvatura. Merece destacarse la similitud de las longitudes de arco de los meandros donde se ubican los *assuts* de Cullera (1.953 m), Sueca (1.970 m) y Antella (1.886 m).

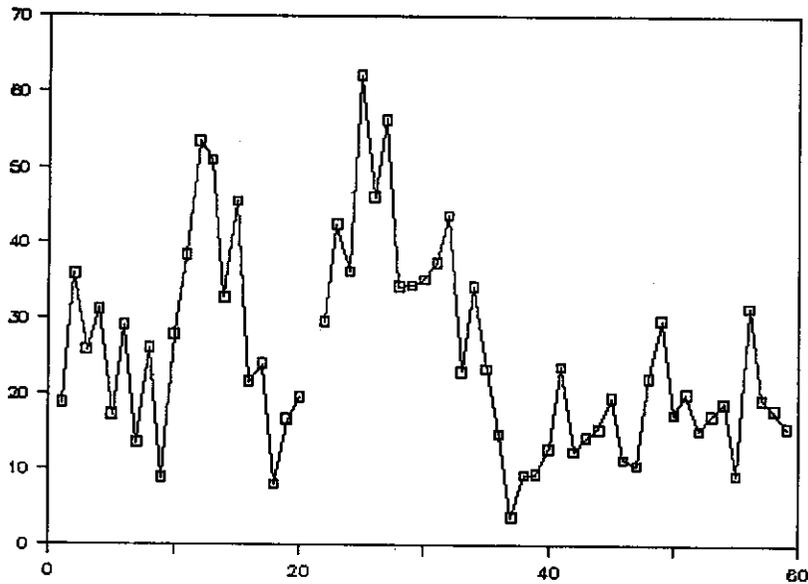


Fig. 8. Ratio amplitud-anchura de cada meandro (ordenadas) disponiéndose el tren de meandros en abscisas con el ápice de la llanura de inundación a la izquierda y la desembocadura a la derecha

### 5.3. La sinuosidad, una variable de síntesis

Un cauce es meandrante cuando su sinuosidad es igual o superior a 1,5 (Leopold-Wolman, 1957). Sin embargo, la sinuosidad media de los meandros aluviales en la Ribera del Xúquer no supera 1,2. Ello deriva del uso del *half meander* en lugar de la curva y contracurva propuestas por Leopold *et al.* (1957; 1964). Por consiguiente, es lógico establecer en 0,75 el umbral de sinuosidad para la meandrización.

Este umbral se supera ampliamente en ambas riberas con meandros que incluso alcanzan rangos de 5,3 en la Raconada de Sueca (B57), 3,7 en el Racó-Molí del Riu (B47) y 3,2 en la Raconada (B56). Otras sinuosidades destacables aparecen en el tren de meandros de la Ribera Alta comprendido entre Alberic y Alzira, en el cual el meandro del Molí de l'Alborgí (A32) alcanza una sinuosidad de 2,8. Cerca de Antella, los meandros Illes del Pla (A6) y l'Assut d'Antella (A3) presentan también unos valores destacados. El alto grado de sinuosidad en los citados meandros corresponde a tipos complejos con dos o tres puntos de máxima curvatura.

La *ratio* entre *radio de curvatura/sinuosidad* según la distancia al mar (fig. 9) evidencia, una vez más, la dualidad de riberas. La Ribera Baixa incluye una gama de valores sumamente amplia (de 20 a 345) sin grupos definidos al igual que el tramo de la Ribera Alta desde Algemés hasta la Raconada de Alzira. Este conjunto de 26 meandros contrasta con la homogeneidad de *ratio* de los restantes meandros de la Ribera cuyos rangos oscilan de 20 a 125. En síntesis, a mayor *ratio*, las formas son más abiertas y expandidas sobre la llanura.

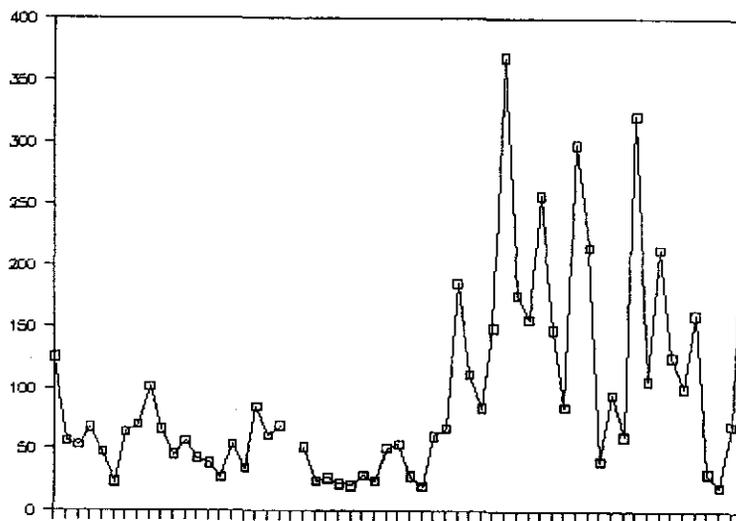


Fig. 9. Ratio radio de curvatura-sinuosidad de cada meandro (ordenadas). En abscisas se representa la mayor (izquierda) o menor (derecha) distancia al mar de cada uno de los meandros

## 6. CONCLUSIONES

Un meandro aluvial forma parte de una cadena integrada por los situados aguas arribas y abajo. Todo meandro ajusta sus variables de geometría hidráulica a las variables del meandro precedente. Una variación puntual en alguna de ellas introduce una alteración en cadena que se traslada a los meandros situados aguas abajo.

De otra parte, la llanura de inundación canal fluvial es un hidrosistema de gran complejidad por el gran número de elementos implicados espacialmente cuya intensidad varía a lo largo del tiempo. La llanura aluvial del Xúquer muestra varios tramos atendiendo a la geometría y a las características de los meandros que forma el río en cada sector.

a) En el primer tramo –entre Antella y el despoblado de Alcosser– el río discurre por un sector de llano de inundación cóncavo-plano y allí desaguan el Sallent y el Albaida. El dinamismo inherente a dichas confluencias es responsable de las dimensiones y la movilidad de los meandros inmediatos a las mismas, sobre todo en las inmediaciones de la desembocadura del Albaida. El canal oscila a lo ancho de unos 3 Km entre ambos taludes del valle. La morfología de los meandros es sinuosa, con una relativa apertura de formas. Hay un aceptable equilibrio entre los 11 meandros simples y los 10 compuestos.

Los valores medios de los parámetros son mínimos en el caso de la anchura del canal (17,6 m) y del radio de curvatura (47,6 m) y modestos en cuanto a longitud de arco (928,8 m) y amplitud (472,4 m). Sin embargo, la longitud media de onda supera el kilómetro de distancia entre los ápices de los meandros contiguos. A grandes rasgos, este conjunto de parámetros describe la morfología en planta de los meandros. Sus reducidas dimensiones no impiden un considerable grado de sinuosidad (0,9) a través de formas expandidas y abierta curvatura. Casos excepcionales son los meandros Assut d'Antella (A3), Illes del Pla (A6) y Racó dels Polacos-Paixerella (A15).

b) Entre el despoblado de Alcosser y la Paleta de Trena (Alberic), el lecho del Xúquer deja de meandrizar a lo largo de 2,9 Km. El cauce circula confinado entre ambos escarpes de una terraza histórica.

c) Entre la Paleta de Trena y la Raconada d'Alzira, el perfil transversal de la llanura adquiere una geometría convexa sobre la que divaga el tren de 13 meandros con una amplitud transversal de kilómetro y medio.

Las características de los meandros son homogéneas, con alta proporción de meandros compuestos o complejos. Tan sólo cuatro son simples: Paleta de Trena (A22), Racó de Montell (A24), Benibaire (A29) y Almúnia-Materna (A33). Los nueve restantes cuentan con varios recodos: Racó de Maragua-Bosquet (A25), Partida de Moia (A26), Racó del Toro (A28) y Racó de l'Alborgí (A31) con tres y con dos recodos aparecen la Paleta de Trena (A22), el Raconet de

Benimuslem (A27), Rumbau (A30), Molí de l'Alborgí (A32) y Raconada d'Alzira (A34). La abundancia de meandros compuestos se refleja en morfologías sinuosas y cerradas, singularmente el Racó de l'Alborgí (A31).

En este tramo, la anchura media del canal es ligeramente superior a los meandros de la Vallfarta (19,8 m). La anchura de los mismos apenas oscila entre 16 y 21 m exceptuando el Racó de Maragua-Bosquet (A25) por defecto y los meandros inmediatos a Alzira (A33 y A34) por exceso. Idénticos rasgos presentan los radios de curvatura.

Más destacables son los cambios en el resto de parámetros. La amplitud media (760 m) y la longitud media de arco (1.300 m) adquieren valores comparables a los meandros de la Ribera Baixa próximos a la desembocadura. Ambos parámetros reflejan el gran tamaño de las curvas del río. Si a ello unimos sus reducidas longitudes de onda (media de 841 m) se configura un tren de meandros de considerables dimensiones y acentuada curvatura que incrementa la sinuosidad media a 1,7 (la más elevada de ambas Riberas).

El tamaño de estos meandros es consecuencia directa del caudal que vehicula el cauce. Al aumentar éste, los meandros generan mayores dimensiones. Ello ocurre una vez que el Xúquer incorpora las aguas del Sallent y del Albaida, dejando atrás la partida de les Algoleges. Además, desde Alberic hasta Alzira no hay tomas de acequias que alteren significativamente el módulo del río. Por todo ello, las formas que aquí desarrolla el canal son más grandes reflejándose en todos los parámetros. Se confirma así, la estrecha relación existente entre dimensiones del canal y volumen de carga transportada.

d) En el tránsito hacia la Ribera Baixa, entre las desembocaduras de los ríos Verd y Magre, se suceden cinco meandros sobre una geometría del llano de inundación nuevamente cóncavo-plana. Uno de ellos (A37) se compone de dos recodos mientras los meandros restantes son simples, abiertos y de reducida curvatura.

La anchura media del canal (32,8 m) se incrementa considerablemente: en 3.800 m de recorrido el ancho del cauce se amplía trece metros. Los grandes radios de curvatura (88,6 m), la escasa amplitud (378 m) y longitudes de onda cercanas al kilómetro y medio indican morfologías muy abiertas. En algunos de estos meandros la curvatura se reduce a suaves inflexiones en el trazado del río. La sinuosidad media de dichos meandros no supera el 0,6. Por su parte, la longitud media de arco (761 m), indicativa de las dimensiones, confirma su escasa entidad en comparación a los del resto de la llanura.

e) La Ribera Baixa recupera la geometría convexa de la llanura. El escaso gradiente longitudinal comporta el progresivo aumento de la anchura del cauce hacia la desembocadura. El cauce describe 20 meandros, con predominio de los simples. Sólo tres son compuestos: dos con tres recodos (Racó-Molí del Riu (B47), la Raconada de Sueca (B57)) y el tercero con dos recodos (la Raconada (B56)).

Las dimensiones de los meandros de la Ribera Baixa superan ampliamente a los que preceden la desembocadura del río Magre con longitudes de arco y amplitudes similares a las del tramo Paleta de Trena-Alzira. Igualmente, sus longitudes de onda son equivalentes a las que ostentan los meandros entre Alzira y Algemesí. La combinación de parámetros evidencia morfologías abiertas de considerable curvatura y tamaño.

#### BIBLIOGRAFÍA

- CHITALE, S. V. (1973): Theories and relationships of river channel patterns, *Journal of Hydrology*, 19, pp. 285-308.
- FRIEDKIN, J. F. (1945): A laboratory study of the meandering of alluvial rivers, U.S.W.W.S., Vicksburg, Mississippi.
- GÓMEZ ORTEGA, J. LIZÁRRAGA, F. y CHURRUCA, E. (1866): *Estudio de las inundaciones del Júcar en 1864*, Valencia, facsímil editado por la Confederación Hidrográfica del Júcar, 282 ff. + mapas.
- HOKE, J. M. (1984): Changes in river meanders: a review of techniques and results of analysis, *Progress in Physical Geography*, nº 8, pp. 473-508.
- LEOPOLD, L. B. & WOLMAN, M. G. (1957): River channel patterns: braided, meandering and straight, *U.S.G.S. Prof. Paper*, nº 282-B, pp. 39-85.
- LEOPOLD, L. B., WOLMAN, M. G. & MILLER, J. P. (1964): *Fluvial Processes in Geomorphology*, San Francisco, Freeman, 522 pp.
- MATEU, J. F. (1980): El llano de inundación del Xúquer (País Valencià): geometría y repercusiones morfológicas y paisajísticas, *Cuadernos de Geografía*, 27, pp. 121-142.
- (1992): Cambios seculares de la agradación aluvial y de la meandrización en la Ribera Alta del Xúquer, *Cuadernos de Geografía*, 50, pp. 147-169.
- O'NEILL, M. P. & ABRAHAMS, A. D. (1986): Objective identification of meanders and bends, *Journal of Hydrology*, nº 83, pp. 337-353.
- PÉREZ PUCHAL, P. (1967): Los embalses y el régimen de los ríos valencianos, *Estudios Geográficos*, 107, pp. 149-196.
- RICHARDS, K. S. (1982): *Rivers, form and process in alluvial channels*, London, Methuen, 358 pp.
- WILLIAMS, G. P. (1986): River meanders and channel size. *Journal of Hydrology*, nº 88, pp. 147-164.

