

## PROGRAMA-DEMOSTRATIVO EN BASIC PARA LA PREDICCIÓN DE MODELOS DE CAUCE

*Carmelo Conesa García*

Departamento de Geografía. Universidad de Murcia

*Ricardo López Rubio*

### RESUMEN

En este artículo se presenta un programa-demostración sobre predicción de modelos de cauce en áreas de diferentes regímenes hidrológicos. Dicho programa se basa en el análisis de perturbación lineal y en la metodología seguida por STRUIKSMA y KLAASSEN (1988) para establecer los umbrales de separación entre cauces meandriiformes y trenzados. Partiendo de la deformación del lecho fluvial en tramos de diferente trazado, y previa aplicación de la teoría de estabilidad lineal, estos autores definen criterios de clasificación que son incorporados a la estructura del programa.

El programa está escrito en Microsoft-BASIC para microordenadores compatibles IBM. Además, para el IBM-AT existen software que soportan el Intel 8087 o 80287 también en BASIC. Este coprocesador aritmético proporciona una gran rapidez de procesamiento, que resulta absolutamente necesaria para aplicaciones de este tipo, en cuyo desarrollo intervienen múltiples y diversos parámetros (hidráulicos, sedimentológicos y morfológicos).

**Palabras clave:** Programación BASIC, informática, modelos de cauce, meandriforme, trenzado, transitorio, perturbación lineal, predicción, umbrales.

### ABSTRACT

#### **Program-demonstration in BASIC for the prediction of river patterns**

In this study a program-demonstration for the prediction of river pattern models in areas of different hydrologic regimes is presented. The program is based on the linear perturbation analysis and on STRUIKSMA and KLASSEN's (1988) method to determine the threshold between meandering and braiding channel patterns. Starting from the river bed deformation in different river patterns, and having previously applied the linear stability theory, these authors define the classification criteria that are introduced in the program structure.

The program is written in Microsoft-BASIC for IBM compatible microcomputers. For the IBM-AT there are also software which support the Intel 8087 or 80287 also in BASIC. This arithmetic coprocessor provides the high throughput speed which is absolutely necessary

for all the models that, like the present one, use multiple and varied parameters (hydraulic, sedimentological and morphological).

**Key words:** BASIC programming, informatics, river patterns, meandering, braided, transitional, linear perturbation, prediction, threshold.

## INTRODUCCIÓN

Las condiciones bajo las que se presentan los diferentes modelos y tipos de ríos han sido estudiadas por diversos investigadores. Debido a las diferentes características morfológicas que se registran a lo largo de los distintos ríos, gran número de autores consideran que las relaciones implícitas en la morfología fluvial no son continuas y que existen determinados umbrales o discontinuidades aparentes entre diferentes situaciones o grados de desarrollo de los modelos descritos.

SCHUMM apuntó ya en 1974 que una regulación del régimen hidrológico, que implique un pequeño cambio en la pendiente, dentro de un umbral crítico, puede conducir a un gran cambio en el modelo de cauce.

La mayoría de los trabajos realizados en este sentido han diferenciado entre cursos rectos, meandriformes y trenzados, tomando como base los datos de caudal ( $Q$ ) y de pendiente del cauce ( $i$ ). De este modo, se han definido diversas ecuaciones para establecer umbrales de separación entre los tipos meandriforme y trenzado:

$$i = 0,004 Q_m^{-0,25}$$

(LANE, 1957)

$$i = 0,0125 Q^{-0,44}$$

(LEOPOLD y WOLMAN, 1957)

siendo  $Q_m$  el caudal medio anual y  $Q$  el caudal máximo de desbordamiento, en  $m^3/s$ . Posteriormente, SCHUMM y KHAN (1972) introducen una precisión en relación con las funciones discriminantes entre la pendiente y el caudal de varios cauces, al emplear la pendiente del valle en cuestión como una variable independiente. Del mismo modo, se ha reconocido, especialmente en la última década, el importante control que ejercen las características sedimentológicas del lecho sobre los diferentes tipos de cauce (FERGUSON, 1984). De hecho, los cursos de grava activos ocupan en un diagrama  $Q-i$  (de relación caudal-pendiente), una posición más alta que los cursos de lechos arenosos, debido a que requieren una mayor cantidad de energía para el transporte del material del lecho. Para cursos de lecho arenoso o de gravas, relativamente empinados, la relación anchura/profundidad llega a aumentar rápidamente con la pendiente, y puesto que el trenzado está por lo general asociado a un elevado coeficiente de relación anchura/profundidad, la contingencia de que se produzca el trazado tipo «braided» aumenta con la pendiente, por encima de una zona de transición y sin una clara discriminación. En esta línea crítica se encuentra también el trabajo de CHANG (1988), que insiste en la importancia de umbrales relacionados con una discontinuidad en la resistencia de los materiales al flujo en diferentes regímenes de corriente, y, por tanto, en el gasto de energía del curso, así como el artículo de STRUIKSMA y KLAASSEN (1988) sobre umbrales entre el modelo meandriforme y

el trenzado, para los que adopta el análisis de perturbación lineal. Este último trabajo aporta un interesante método predictivo para distinguir entre ambos tipos de cauce, incluyendo además la posibilidad de predecir un modelo transitorio.

En el presente artículo se adopta este método para elaborar un programa de predicción de modelos de cauce (*meantren.bas*), cuya finalidad primordial es la de facilitar el seguimiento comparativo entre tipos de cauce observados y predichos, y demostrar la viabilidad del citado método para cursos fluviales de distinto régimen hidrológico.

## **ANÁLISIS DE PERTURBACIÓN LINEAL. TEORÍA E INCLUSIÓN EN EL PROGRAMA «MEANTREN.BAS»**

Desde mediados de nuestro siglo, el estudio de la geometría del trazado fluvial ha atraído la atención de numerosos ingenieros y científicos. El énfasis principal se ha puesto generalmente en el tratamiento de la morfología fluvial desde un punto de vista más analítico, con objeto de hacer posible la predicción de la evolución de cauces de río. Las ondas de gravedad (WERNER, 1951), la corriente secundaria (p.e. SHEN y KOMURA, 1968), las oscilaciones transversales del flujo (ANDERSON, 1967) son algunos de los mecanismos considerados como responsables de la desviación de los cauces respecto a su configuración rectilínea. El análisis de perturbación lineal ha recibido considerable atención durante las dos últimas décadas (p.e. CALLANDER, 1978; DIPLAS et al., 1988), quedando centrado en tomo a las condiciones de formación de barras alternas y en el análisis de estabilidad para tramos curvos.

Experimentos detallados de laboratorio (CHARLTON y BENSON, 1966; STRUIKSMA et al., 1985) y observaciones de campo (LEWIN, 1976) han ahondado en esta línea, llegando a considerar la deformación del lecho como la causa fundamental de la meandrización. El modelo de onda de excavado y deposición de partículas sobre el fondo puede resultar de ligeras irregularidades del lecho inicialmente plano de un cauce rectilíneo, que terminan distorsionando la corriente. Además, estas irregularidades alteran el modelo de transporte de sedimentos sobre el lecho hasta el punto que las perturbaciones iniciales son en cualquier caso amortiguadas o ampliadas. Debido a la amplitud infinitesimal de estas ondas, su interacción con la corriente perturbada puede considerarse lineal. En consecuencia, la interacción de cada componente de onda con la corriente y las distribuciones espacial y temporal de la descarga de sedimentos puede examinarse separadamente.

La importancia del desarrollo de barras alternas, como elemento favorecedor de una incipiente meandrización y/o trenzado, es un factor ampliamente discutido y defendido en el seno de la teoría de estabilidad. Los trabajos de PARKER (1976) y de PARKER et al. (1982) demuestran que las barras alternas y la trayectoria meandriforme de la corriente pueden originarse fácilmente en cauces con márgenes rectos, siempre que el lecho sea erosionable. La presión hidrostática sobre el fondo y la irregular distribución de los componentes de velocidad, junto con la propia vulnerabilidad de determinados depósitos aluviales, juegan un papel importante en la deformación del lecho. Las ecuaciones de movimiento y continuidad para la distribución de la presión hidrostática sobre la vertical son:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{tx}{\rho P}$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial h}{\partial y} - \frac{ty}{\rho P}$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (UP) + \frac{\partial}{\partial y} (VP) = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (h-P) + \frac{1}{1-\rho} \left( \frac{\partial qx}{\partial x} + \frac{\partial qy}{\partial y} \right) = 0$$

donde  $u$  y  $v$  equivalen a la velocidad media de la corriente en las direcciones «x» e «y»;  $qx$  y  $qy$  son las componentes «x» e «y» de la tasa de transporte de la carga volumétrica;  $tx$  y  $ty$  corresponden a las tensiones respectivas de corte del lecho;  $h$  es la altura de la superficie del agua por encima de un nivel de referencia dado; y  $P$ , la profundidad del cauce.

El método predictivo de STRUIKSMA y KLAASSEN (1988) ideado para distinguir entre cursos meandriformes y trenzados, y que ha sido utilizado para la confección de nuestro programa «*meantren.bas*», tiene como base el trabajo de STRUIKSMA et al. (1985) sobre la deformación del lecho en tramos curvilíneos. De su aplicación resulta un diagrama que permite hacer tal diferenciación, siempre que se conozcan previamente las dimensiones del cauce, el tamaño y densidad específica de los sedimentos y la velocidad de la corriente.

A partir de estas variables se desarrolla un modelo matemático que incorpora en su estructura las relaciones entre las velocidades medias de la corriente y el transporte total de sedimentos. Además, y de acuerdo con dicho modelo, se adopta un análisis de perturbación lineal de la topografía del lecho de equilibrio, considerando la perturbación como estable pero no uniforme, frente a los análisis de estabilidad clásicos (BETTES y WHITE, 1983), que la califican de uniforme e inestable. En este caso, la longitud de onda de las perturbaciones del lecho es considerada mayor que la longitud de onda de los ripples, dunas o antidunas, de manera que puede utilizarse como indicativo de rugosidad. Por otra parte, debido a la menor velocidad de propagación de las perturbaciones del lecho se asume que la corriente es cuasiestable. Este análisis supone la existencia de perturbaciones del lecho de nivel armónico, según la expresión:

$$h' = \hat{h} \cdot \exp(i(Kx + K_w y))$$

donde  $\hat{h}$  es un número complejo cuyo valor absoluto refleja la amplitud y la fase del módulo de la perturbación,  $i = \sqrt{-1}$ ,  $K_w$  es el número de onda en la dirección transversal «y», y  $Kx$  es un número de onda complejo en la dirección aguas abajo «x».

$$K_w = m \frac{\pi}{B} \quad m = 1, 2, 3$$

empleándose  $m = 1$  para cauces netamente meandriformes, y valores de  $m$  superiores a 3 para cauces trenzados. El parámetro  $K$  debe reunir una cierta condición, en la forma de

una ecuación polinomial compleja, cuya solución se encuentra generalmente determinada por dos raíces que adoptan la forma:

$$K = \pm Kr + i \cdot Ki = \pm \frac{2\pi}{Lp} + i \frac{1}{L_d}$$

siendo  $Lp$  la longitud de la perturbación y  $L_d$  la longitud de amortiguación de las perturbaciones.

Ambas raíces dependen sobre todo de la relación existente entre la longitud de adaptación de la evolución topográfica del lecho ( $L_s$ ) y la longitud de adaptación de la corriente principal ( $L_w$ ), longitudes definidas por STRUIKSMA (1983), según las fórmulas:

$$L_s = \frac{1}{\pi^2} \left( \frac{B}{h} \right)^2 \cdot f(\theta) \cdot h$$

$$L_w = \frac{C^2}{2g} \cdot h$$

donde  $B$  = anchura del cauce;  $h$  = profundidad del cauce;  $C$  = coeficiente de Chezy;  $g$  = aceleración de la gravedad, y  $f(\theta)$  = función ponderante de la influencia de la pendiente del lecho,  $\theta$  = parámetro de Shield definido por  $\theta = h \cdot i / dp \cdot D$ ,  $dp$  = densidad relativa obtenida según la fórmula  $dp = (ps-p)/p$ , siendo  $ps$  = densidad específica del sedimento y  $p$  = densidad específica del agua.

$f(\theta)$  puede calcularse mediante la expresión  $f(\theta) = 0,85 \theta^{0,5}$ , adoptada por ODGAARD (1981) y MIERLO (1985) para cauces naturales.

Las raíces antes señaladas, así como la razón  $L_w/L_d$  y el número de onda  $2\pi L_w/Lp$ , dependen también del valor de un índice  $h$ , que relaciona el transporte de sedimentos por unidad de anchura ( $s$ ) con la velocidad de la corriente ( $u$ ), siendo  $s = u^h$ . Este índice ( $h$ ) guarda estrecha relación con el parámetro de Shield, de manera que para tasas de transporte más altas se obtienen valores más bajos de  $h$ . La subrutina «proceso de cálculo» del programa desarrollado más adelante muestra las equivalencias entre  $h$  y el parámetro  $\theta'$  de Shield, corregido en función de la rugosidad del lecho, según la fórmula:

$$\theta' = \frac{u^2}{C_{90}^2 \cdot dp \cdot D}$$

donde  $C_{90} = 18 \log(12 h/D_{90})$ .

Para la inclusión de estas formulaciones en el programa *meantren.bas* se han realizado una serie de adaptaciones al lenguaje BASIC, empleando la nomenclatura propia de éste para definir las distintas variables que intervienen en el tratamiento matemático.

En la estructura del programa se define una pantalla de «parámetros iniciales», para dar entrada a los datos considerados primarios. La primera parte del programa incluye hasta 17 «inputs» referidos a 2 variables de tipo alfanumérico (nombre del curso fluvial y lugar de control) y a 15 parámetros numéricos. La denominación de estas variables se hace de manera simple, atendiendo a la adecuación de cada una de ellas a las posibilidades que

ofrece el código de caracteres ASCII, omitiendo subíndices y caracteres del alfabeto griego (cuadro 1).

CUADRO 1  
Equivalencias de caracteres utilizados en la descripción del análisis de perturbación lineal (I) y los aplicados en el programa (II)

Parámetros iniciales											
Variables alfanuméricas				Variables numéricas							
I	c. fluvial	control	$L_p$	$L_D$	B	h	i	Rh	n	c	
II	RÍOS	LC\$	LP	LD	BM	HM	I	RH	N	CC	
I			g	u	D	$D_{90}$	ps	p	m		
II			GG	U	D	DD	PS	P	R		
Parámetros deducidos											
I	dp	8	$f(\theta)$	$C_{90}$	8'	Lw	Ls	Ls/Lw	$Lw/L_D$	$2\pi/L_p.Lw$	b
II	D1	DA2	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	B

A continuación se presentan las subrutinas de entrada de los datos iniciales (A) y de su procesamiento matemático (B), a través de listados parciales del programa:

(A)

```

REM ** PROCEDIMIENTO DE ENTRADA DE DATOS PRIMARIOS **
VARIA=0:LONG=10:YY=5:XX=18:TXT$="":GOSUB 8950:GOSUB 8630:GOSUB 9010
COLOR 15,0:LOCATE 5,18:PRINT TXT$+" "
RIOS=TXT$:TXT$="":B=0
LONG=14:YY=5:XX=56:GOSUB 8950:GOSUB 8630:GOSUB 9010
COLOR 15,0:LOCATE 5,56:PRINT TXT$+" "
LC$=TXT$:TXT$="":B=0
VARIA=1:LONG=8:YY=10:XX=20:GOSUB 8950:GOSUB 8630:GOSUB 9010
COLOR 15, 0:LOCATE 10,20:PRINT TXT$+" "
LP=VAL(TXT$):TXT$="":B=0:IF LP>1000 THEN GOTO 3290 ELSE GOTO 1470
GOTO 1430
YY=10:XX=41:GOSUB 8950:GOSUB 8630:GOSUB 9010
COLOR 15,0:LOCATE 10,41:PRINT TXT$+" "
LD=VAL(TXT$):TXT$="":B=0:IF LD>100 THEN GOTO 3330 ELSE GOTO 1510
GOTO 1470
    
```

```

YY=10:XX=62:GOSUB 8950:GOSUB 8630:GOSUB 9010
COLOR 15,0:LOCATE 10,62:PRINT TXT$+" "
BM=VAL(TXT$):TXT$="":B=0:IF BM>100 THEN GOTO 3370 ELSE GOTO 1550
GOTO 1510
YY=12:XX=20:GOSUB 8950:GOSUB 8630:GOSUB 9010
COLOR 15,0:LOCATE 12,20:PRINT TXT$+" "
HM=VAL(TXT$):TXT$="":B=0:IF HM>10 THEN GOTO 3410 ELSE GOTO 1590
GOTO 1550
YY=12:XX=41:GOSUB 8950:GOSUB 8630:GOSUB 9010
COLOR 15,0:LOCATE 12,41:PRINT TXT$+" "
I=VAL(TXT$):TXT$="":B=0:IF I>10 THEN GOTO 3450 ELSE GOTO 1630
GOTO 1590
YY=12:XX=62:GOSUB 8950:GOSUB 8630:GOSUB 9010
COLOR 15,0:LOCATE 12,62:PRINT TXT$+" "
RH=VAL(TXT$):TXT$="":B=0:IF RH>10 THEN GOTO 3490 ELSE GOTO 1670
GOTO 1630
YY=14:XX=20:GOSUB 8950:GOSUB 8630:GOSUB 9010
COLOR 15,0:LOCATE 14,20:PRINT TXT$+" "
N=VAL(TXT$):TXT$="":B=0:IF N>10 THEN GOTO 3530 ELSE GOTO 1710
GOTO 1670
YY=14:XX=41:GOSUB 8950:GOSUB 8630:GOSUB 9010
COLOR 15,0:LOCATE 14,41:PRINT TXT$+" "
CC=VAL(TXT$):TXT$="":B=0:IF CC>10 THEN GOTO 3570 ELSE GOTO 1750
GOTO 1710
YY=14:XX=62:GOSUB 8950:GOSUB 8630:GOSUB 9010
COLOR 15,0:LOCATE 14,62:PRINT TXT$+" "
GG=VAL(TXT$):TXT$="":B=0:IF GG>10 THEN GOTO 3610 ELSE GOTO 1790
GOTO 1750
YY=16:XX=20:GOSUB 8950:GOSUB 8630:GOSUB 9010
COLOR 15,0:LOCATE 16,20:PRINT TXT$+" "
U=VAL(TXT$):TXT$="":B=0:IF U>10 THEN GOTO 3650 ELSE GOTO 1830
GOTO 1790
YY=16:XX=41:GOSUB 8950:GOSUB 8630:GOSUB 9010
COLOR 15,0:LOCATE 16,41:PRINT TXT$+" "
D=VAL(TXT$):TXT$="":B=0:IF D>10 THEN GOTO 3690 ELSE GOTO 1870
GOTO 1830
YY=16:XX=62:GOSUB 8950:GOSUB 8630:GOSUB 9010
COLOR 15,0:LOCATE 16,62:PRINT TXT$+" "
DD=VAL(TXT$):TXT$="":B=0:IF DD>10 THEN GOTO 3740 ELSE GOTO 1910
GOTO 1870
YY=18:XX=20:GOSUB 8950:GOSUB 8630:GOSUB 9010
COLOR 15,0:LOCATE 18,20:PRINT TXT$+" "
PS=VAL(TXT$):TXT$="":B=0:IF PS>10 THEN GOTO 3780 ELSE GOTO 1950
GOTO 1910

```

```

YY=18:XX=41:GOSUB 8950:GOSUB 8630:GOSUB 9010
COLOR 15,0:LOCATE 18,41:PRINT TXT$+" "
P=VAL(TXT$):TXT$="":B=0:IF P>10 THEN GOTO 3820 ELSE GOTO 1990
GOTO 1950
YY=18:XX=62:GOSUB 8950:GOSUB 8630:GOSUB 9010
COLOR 15,0:LOCATE 18,62:PRINT TXT$+" "
RA=VAL(TXT$):TXT$="":B=0:IF RA>10 THEN GOTO 3860 ELSE GOTO 2030

```

## (B)

```

REM ** PROCESO DE CALCULO DE TODOS LOS DATOS **
CLS:B=0
IF P=0 THEN D1=0 ELSE D1=(PS-P)/P
IF D1*D=0 THEN DA2=0 ELSE DA2=(HM*I)/(D1*D)
D2=(.85*(DA2)^.5)
IF DD=0 THEN DA3=0 ELSE DA3=(12*HM)/DD
IF DA3=0 THEN D3=0 ELSE D3=(LOG(DA3)/2.30239)*18
IF DA3=0 OR D1=0 OR D=0 THEN D4=0 ELSE D4=(U^2)/((D3^2)*(D1*D))
IF HM=0 THEN D5=0 ELSE D5=(1/((3.14)^2))*((BM/HM)^2)*(D2*HM)
IF GG=0 THEN D6=0 ELSE D6=(CC/(2*GG))*HM
IF D6=0 THEN D7=0 ELSE D7=D5/D6
IF LD=0 THEN D8=0 ELSE D8=D6/LD
IF LP=0 THEN D9=0 ELSE D9=(6.28/LP)*D6
REM ** TABLA DE CONDICIONES PARA ESTIMAR EL PARAMETRO B **
IF D4>.9 THEN B=3.1
IF D4>=.85 AND D4<=.89 THEN B=3.12
IF D4>=.8 AND D4<=.84 THEN B=3.15
IF D4>=.75 AND D4<=.79 THEN B=3.17
IF D4>=.7 AND D4<=.74 THEN B=3.2
IF D4>=.65 AND D4<=.69 THEN B=3.22
IF D4>=.6 AND D4<=.64 THEN B=3.25
IF D4>=.55 AND D4<=.59 THEN B=3.27
IF D4>=.5 AND D4<=.54 THEN B=3.3
IF D4>=.45 AND D4<=.49 THEN B=3.35
IF D4>=.4 AND D4<=.44 THEN B=3.4
IF D4>=.35 AND D4<=.39 THEN B=3.45
IF D4>=.3 AND D4<=.34 THEN B=3.5
IF D4>=.25 AND D4<=.29 THEN B=3.6
IF D4>=.2 AND D4<=.24 THEN B=3.7
IF D4>=.18 AND D4<=.19 THEN B=3.8
IF D4>=.15 AND D4<=.17 THEN B=3.9
IF D4>=.13 AND D4<=.14 THEN B=4.1
IF D4>=.11 AND D4<=.12 THEN B=4.3

```



```

IF D4=.1 THEN B=4.6
IF D4#=9.000001E-02 THEN B=5
IF D4=.08 THEN B=5.5
IF D4=.07 THEN B=6.6
IF D4=.06 THEN B=8.5
IF D4=.05 THEN B=14
IF D4<=.04 THEN B=20
D10=B
D11=2/(B-3)
D12=(.5*(B+1)-.5*((B+1)^2-2*(B-3))^5)^-1

```

### CRITERIOS ADOPTADOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE MODELOS DE CAUCE

De los planteamientos anteriores se deduce que la longitud de amortiguación ( $L_D$ ) y la longitud de onda ( $L_p$ ) de las perturbaciones del lecho están relacionadas con la razón  $Ls/Lw$ . Por otra parte el valor obtenido al dividir la longitud de adaptación de la corriente principal por la longitud de disminución o decrecimiento de la perturbación puede utilizarse para determinar la tendencia de evolución del lecho fluvial. Si  $Ls/Lw > 0$  la perturbación se reduce en dirección aguas abajo; si, por el contrario, dicho valor es inferior a 0, el lecho experimentará una progresiva deformación en la misma dirección. Por otra parte, como ya han puesto de manifiesto STRUIKSMA y KLAASSEN (1988), el número de onda  $2\pi Lw/Lp$  sólo puede definirse para un rango restringido de  $Ls/Lw$  (0, 2-5, 0). Por encima de este rango, dicha aproximación, basada en  $m=1$  (un único cauce) no es apropiada. Probablemente en este caso, aumentará la rugosidad de los materiales del lecho, se desarrollarán cauces secundarios y barras que originarán una disposición trenzada, y se obtendrán valores de  $Ls/Lw$  relativamente altos. De este modo, el criterio para determinar la transición de caucei meandriformes a trenzados puede formularse de acuerdo con las siguientes premisas:

- 1) Si « $Lw/L_D > 0$ » y « $m=1$ »  $\dashrightarrow$  meandriforme
- 2) Si « $Lw/L_D < 0$ » y « $m=1$ »  $\longrightarrow$  transitorio
- 3) Si « $Lw/L_D < 0$ » y « $m>1$ »  $\longrightarrow$  trenzado

Un segundo criterio pone especial énfasis en el índice  $b$  y en el parámetro de Shield, definiéndose a través de él una razón  $Ls/Lw^*$  cuando se prescinde de  $Lw/L_D$ , y una razón  $Ls/Lw^{**}$  en el caso de que  $2\pi Lw/Lp$  tenga valor 0, o se omita este dato.

Ambos criterios han sido verificados tanto en ríos naturales (LEOPOLD y WOLMAN, 1957; CHITALE, 1970; MOSLEY, 1976; STRUIKSMA y KLAASSEN, 1988), como en cauces simulados bajo condiciones de laboratorio (HONG y DAVIES, 1979; ASHMOKE, 1982; FUJITA y MURAMOTO, 1982), utilizándose para ello los datos inherentes a los

propios cauces aluviales (anchura, altura y pendiente del cauce, velocidad de la corriente, mediana y 90 centilo del tamaño de los sedimentos...).

*Meantren.bas* contempla, de acuerdo con la idea central de este trabajo, dos subrutinas, una para dar entrada al tipo de cauce observado (A) y otra, después del procesamiento numérico, que permite obtener el modelo predecido (B):

## (A)

```

IF CAU$="m" OR CAU$="M" THEN CAU$="MEANDRIFORME":GOTO 2090
IF CAU$="t" OR CAU$="T" THEN CAU$="TRANSICION":GOTO 2090
IF CAU$="r" OR CAU$="R" THEN CAU$="TRENZADO":GOTO 2090
GOTO 2030
LOCATE 22, 1 :PRINT " "
LOCATE 23, 1 :PRINT " "
LOCATE 24, 1 :PRINT " "
COLOR 11,0:LOCATE 23,20:PRINT " CORRECTO (S/N) : ":COLOR 7,0:COR$
=INPUT$(1)
IF COR$="s" OR COR$="S" THEN GOTO 2200
IF COR$="n" OR COR$="N" THEN GOTO 1200
LOCATE 23,20:PRINT "Por favor, pulse sólo S o N"
BEEP
FOR QQ=1 TO 4000:NEXT QQ
LOCATE 23,20:PRINT " "
GOTO 2120

```

## (B)

```

IF CAU$="MEANDRIFORME" OR CAU$="meandriforme" THEN GOTO 5110
IF CAU$="TRANSICION" OR CAU$="transicion" THEN GOTO 5150
IF CAU$="TRENZADO" OR CAU$="trenzado" THEN GOTO 5190
CLOSE #1
LOCATE 22, 1 :PRINT " "
LOCATE 23, 1 :PRINT " "
LOCATE 24, 1 :PRINT " "
COLOR 11,0
LOCATE 23,20:PRINT "Desea introducir más Datos (S/N):":DZ$=INPUT$(1)
COLOR 7,0
IF DZ$="s" OR DZ$="S" THEN GOTO 1200
IF DZ$="n" OR DZ$="N" THEN COLOR 11,0:LOCATE 23,20:PRINT "Espere, estoy
cerrando ficheros"
GOTO 850:BEEP:GOTO 4020

```

## ESTRUCTURA Y APLICACIONES DEL PROGRAMA-DEMOSTRATIVO (DEMO)

El programa demostrativo (DEMO) ((Predicción de modelos de cauce (meandriforme, *trenzado o transitorio*)» *es una aplicación informática para predecir el trazado de un cauce* a partir de datos de índole diversa (morfológicos, hidrológicos...), la mayoría de los cuales requieren una obtención directa. El objetivo principal de esta aplicación es el procesamiento de unos datos de entrada (*parámetros iniciales*), según la teoría de estabilidad de cauces, que permita la salida de unos datos referidos al grado de perturbación lineal que presentan (*parámetros deducidos*) y, de acuerdo con ellos, la predicción de los modelos fluviales correspondientes.

El tratamiento de la información está completamente depurado, dado que todos los datos admiten unos valores máximos y mínimos determinados. Por ello, el usuario de la aplicación no podrá, en ningún momento, introducir información que sea imposible de procesar (POZO CHIA, 1983). Los parámetros iniciales son tratados con una doble depuración: de *valor* (intervalo numérico) y de *longitud* (intervalo físico). El tratamiento de los datos de salida es semejante al anterior, pero éstos sólo son depurados físicamente y sufren un truncamiento si la longitud del número introducido supera la del *campo* correspondiente.

Para el cómodo uso del programa por el usuario, éste dispone de menús y submenús para acceder a las distintas opciones que contiene la aplicación. Presenta un menú principal de cinco opciones, a partir del cual podrá desarrollarse cualquiera de las posibilidades que ofrece el programa. Da acceso directo a todas las opciones y además a los submenús conectados a él (menú de ficheros de datos, menú de impresión). (Fig. 1).

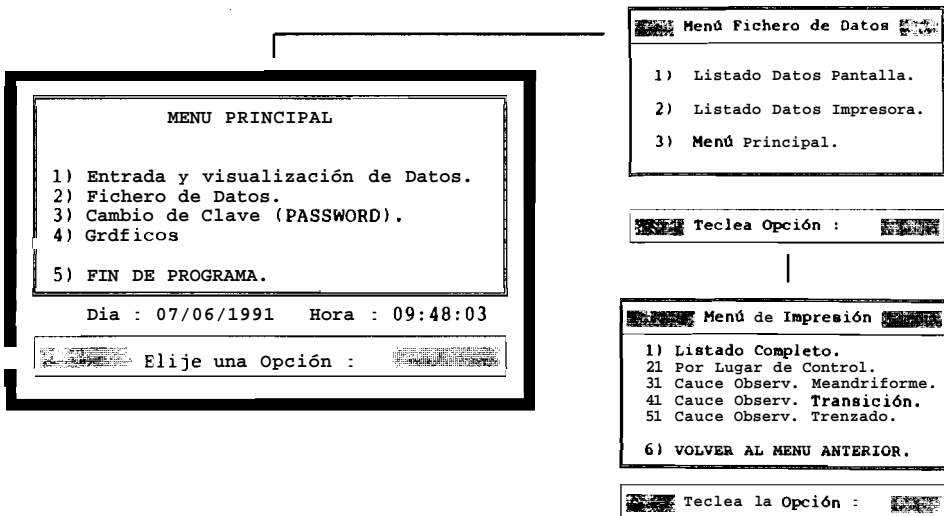


FIGURA 1. Menú principal y submenús de opciones.

La primera opción del menú principal permite dar entrada a los datos iniciales de cada caso estudiado (fig. 2.a), visualizando, previa confirmación de éstos, una tabla de resultados (fig. 2.b) a través de los cuales se establece el modelo de cauce predecido.

(a) \*\* Parámetros Iniciales \*\*

Rio : Segura	Lugar de Control : Sur de Cieza
--------------	---------------------------------

Lp (m) : 550	Ld (-) : 37	B (m) : 30
h (m) : 1.7	i (m) : 0.002	Rh (m) : 2.84
n (-) : 0.05	c <sup>2</sup> (-) : 0.00031	g (m/s <sup>2</sup> ) : 0.006
u (m/s) : 0.70	D (m) : 0.0001	D90 (m) : 0.0008
ps (k/m <sup>3</sup> ) : 2.15	p (kg/m <sup>3</sup> ) : 1	R. Armo. : 1

| — Borrar | ↵ Confirmar | \* Salir |

(b) \*\* Parámetros Deducidos \*\*

Rio : Segura	Lugar de Control : Sur de Cieza
--------------	---------------------------------

Pd (Kg/m <sup>3</sup> ) : 1.15	Fθ (-) : 4.621	c90 (-) : 79.3
θ' (-) : .677	Ls (-) : 248.16	Lw (-) : 43.91
Ls/Lw (-) : 5.6508	Lw/Ld (-) : 1.186	(2π/Lp)*Lw : .501
b (-) : 3.22	(Ls/Lw)* : 9.09	(Ls/Lw)** : 38.1
Cauce Predec. MEANDRIFORME		Cauce Observ. : MEANDRIFORME

¿Desea grabar los datos (SIN)?

FIGURA 2. Máscaras para la introducción de datos iniciales (a) y para la visualización de parámetros deducidos por el programa, de acuerdo con el análisis de perturbación lineal (b).

Desde el submenú «fichero de datos» (segunda opción del menú principal) se puede acceder a un listado de datos por pantalla (fig. 3) o por impresora.

Nom.Rio : Segura	
Control : S. de Cieza	
Pd(k/m3):	1,150
F $\theta$ (-):	4,621
c90(-):	79,300
$\theta'$ (-):	0,677
Ls (-):	248,160
Lw (-):	43,910
Ls/Lw(-):	5,651
b (-):	3,220
Ls/Lw*:	9,090
Ls/Lw**:	38,100
(Ls/Lw)<(Ls/Lw*)	
TIPO DE CAUCE	
Predec.:	MEANDRIFORME
Observ.:	MEANDRIFORME

Nom.Rio :Segura	
Control :S.de Archena	
Pd(k/m3):	1,150
F $\theta$ (-):	4,576
c90(-):	75,100
$\theta'$ (-):	0,722
Ls (-):	209,170
Lw (-):	32,810
Ls/Lw(-):	6,375
b (-):	3,200
Ls/Lw*:	9,990
Ls/Lw**:	41,700
(Ls/Lw)<(Ls/Lw*)	
TIPO DE CAUCE	
Predec.:	MEANDRIFORME
Observ.:	MEANDRIFORME

Nom.Rio :Luchena	
Control :N.emb.Puentes	
Pd(K/m3):	0,850
F $\theta$ (-):	9,135
c90(-):	59,000
$\theta'$ (-):	0,233
Ls (-):	1,681,500
Lw (-):	37,800
Ls/Lw(-):	44,484
b (-):	3,700
Ls/Lw*:	2,850
Ls/Lw**:	13,200
(Ls/Lw**)<(Ls/Lw)	
TIPO DE CAUCE	
Predec.:	TRENZADO
Observ.:	MEANDRIFORME

Pulse <INTRO> para Continuar

Nom.Rio : Guadalentin	
Control : S.emb.Puentes	
Pd(k/m3):	0,950
F $\theta$ (-):	7,880
c90(-):	63,700
$\theta'$ (-):	0,159
Ls (-):	3,979,200
Lw (-):	42,870
Ls/Lw(-):	92,810
b (-):	3,900
Ls/Lw*:	2,220
Ls/Lw**:	10,600
(Ls/Lw**)<(Ls/Lw)	
TIPO DE CAUCE	
Predec.:	TRENZADO
Observ.:	TRENZADO

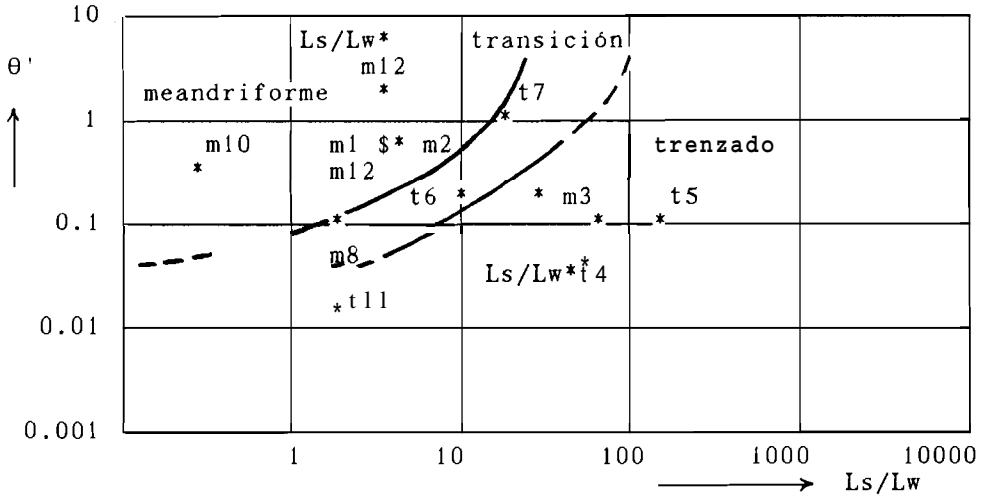
Nom.Rio :Mula	
Control :Baños de Mula	
Pd(k/m3):	0,950
F $\theta$ (-):	34,700
c90(-):	88,200
$\theta'$ (-):	0,084
Ls (-):	1,117,200
Lw (-):	9,380
Ls/Lw(-):	119,100
b (-):	5,500
Ls/Lw*:	0,820
Ls/Lw**:	5,100
(Ls/Lw**)<(Ls/Lw)	
TIPO DE CAUCE	
Predec.:	TRENZADO
Observ.:	TRENZADO

Nom.Rio :Rambla Salada	
Control :S.e.Santomera	
Pd(K/m3):	1,050
F $\theta$ (-):	12,670
c90(-):	64,600
$\theta'$ (-):	0,200
Ls (-):	359,840
Lw (-):	29,550
Ls/Lw(-):	12,175
b (-):	3,700
Ls/Lw*:	2,850
Ls/Lw**:	13,200
Ls/Lw*<Ls/Lw<Ls/Lw**	
TIPO DE CAUCE	
Predec.:	TRANSICION
Observ.:	TRENZADO

Pulse <INTRO> para Continuar

FIGURA 3. Listado de parámetros y relaciones que determinan el modelo de cauce predicho. (Ejemplos pertenecientes a la cuenca hidrográfica del Segura).

La tercera opción permite cambiar la clave de acceso al programa ejecutable. Por último, la cuarta opción puede seleccionarse para obtener una salida gráfica de los datos calculados por el programa. En concreto, se trata de un diagrama de clasificación de los cauces estudiados, basado en el parámetro  $\theta'$  de Shield y en la relación entre las longitudes de adaptación de la topografía del lecho y de la corriente principal ( $L_s/L_w$ )(fig. 4).



- NOTAS: 1. Cada punto señalado en el diagrama se define con su número de registro y la inicial del modelo de cauce observado.  
2. El signo \$ representa dos o más puntos con valores similares.

FIGURA 4. Diagrama de clasificación de los tipos de cauce predecidos en función de  $\theta'$  y  $L_s/L_w$ .

El programa contiene además una línea de mensajes para indicar cuantas operaciones se están realizando en cada momento y para señalar, en caso de error, el fallo cometido.

Todas las pantallas de visualización (presentación del programa del programa, menús, submenús, máscaras de datos, etc.) han sido creadas con un generador de pantallas «Full-Screen», un programa herramienta (TOOLS) muy útil para la elaboración de aplicaciones informáticas.

Como *soporte lógico* para guardar la información en disco se utilizan cuatro ficheros de *tipo secuencial*, consiguiendo así que todos los datos queden almacenados y distribuidos según un campo clave determinado. De esta manera se obtiene mayor rapidez en la lectura de datos y una configuración lógica del algoritmo mucho más sencilla (BASTOS NOREÑA, 1986; JOYANES AGUILAR, 1987). Cada uno de estos ficheros se crea con la introducción de los primeros datos, y una vez creados son almacenados en el *soporte físico C* (disco duro).

Los ficheros son de tipo secuencial puesto que el tratamiento de la información pretende ser conjunto y, además, en orden de entradas, es decir, tipo «FIFO» (*first in - first out*). Hay un fichero general de datos (*paraded.dat*) en el que se almacena secuen-

cialmente toda la información teclada (datos de entrada) y procesada (datos de salida). La grabación en el fichero de datos está dividida y agrupada por registros. Cada registro se halla compuesto por los datos teclados y los datos procesados de cada muestra o caso. Además del fichero general, se crean otros ficheros, también de acceso secuencial, con datos de salida solamente (*parámetros deducidos*) y los campos clave «*río*» y «*lugar de control*»), con la finalidad de conseguir información secuencial de todos los casos anteriormente chequeados. Estos ficheros son el «*trenza.dat*», que contiene todos los datos predecidos de los cauces observados de tipo trenzado, el «*meandri.dat*», que engloba los datos predecidos para cada tipo meandriforme, y el «*transi.dat*», que realiza idéntica función para cauces observados de tipo transitorio.

Esta estructura física permite, tras una condición de afirmación, dar de alta un registro y grabarlo automáticamente en los ficheros de datos correspondientes. Los ficheros admiten la *duplicidad del campo clave* «*lugar de control*»), lo que hace posible efectuar chequeos de un mismo sector, obteniendo diferentes resultados. Además de estos cuatro ficheros de datos se genera otro fichero, que es imprescindible para ejecutar el programa. Se trata del fichero «*claves.dat*», que contiene en caracteres ASCII el código alfanumérico de 4 dígitos que se haya dado de alta.

La aplicación está basada en un solo algoritmo (programa principal) (DACHSLAGER et al., 1988). La programación se ha realizado en lenguaje BASIC, utilizando para su elaboración y escritura un entorno de desarrollo denominado TURBO-BASIC (BORLAND INTERNATIONAL, 1987; JOYANES AGUILAR, 1989). El programa está compilado y tiene una capacidad de 51.693 bits en programa fuente (*meantren.bas*) y de 85.183 bits en programa ejecutable (*meantren.exe*). Está preparado para futuras modificaciones y ampliaciones, previendo que muy probablemente será necesaria una readaptación, según las condiciones de los distintos regímenes fluviales.

Una dificultad encontrada en este trabajo ha sido la de transcribir las fórmulas matemáticas para la obtención de datos de salida como instrucciones correctas dentro del lenguaje de programación. Por otra parte, la aplicación que aquí se presenta es una DEMO. Admite la grabación de 13 registros, con lo que la utilidad del programa-demonstrativo queda voluntariamente restringida, habida cuenta de su carácter eminentemente didáctico.

Al ser BASIC un lenguaje de programación de poca potencia y escasa rapidez, en algunos momentos de la ejecución del programa, puede dar la sensación de austeridad y lentitud. No obstante, se ha intentado enriquecer con numerosos comandos extraídos de una bibliografía reciente (PLOUIN, 1985; DACHSLAGER et al., 1988), puliendo todo lo posible la presentación de la aplicación para un cómodo y atractivo uso por parte del operador.

## CONCLUSIONES

El programa *meantren.bas*, elaborado en un entorno TURBO-BASIC, ha sido aplicado a diferentes cursos fluviales de la cuenca hidrográfica del Segura, a fin de probar su validez. Los resultados obtenidos mediante ensayo y readaptación de las funciones del

programa son bastante aceptables. En más del 80 por ciento de los casos analizados se ha alcanzado una equivalencia entre el modelo de cauce observado y el predecido. Los cursos en los que esto no ocurre, por ejemplo el río Luchena (tipo de cauce observado: *meandriforme*; modelo predecido: *trenzado*) o la rambla Salada (tipo observado: *trenzado*; predecido: *transitorio*) presentan un lecho singularmente irregular, caracterizado por barras alternas desigualmente distribuidas, y numerosas pozas y oquedades de socavamiento en los márgenes, que provocan continuas distorsiones de la corriente. Estas irregularidades alteran el modelo de transporte de sedimentos sobre el propio lecho hasta el punto que las perturbaciones iniciales son frecuentemente amortiguadas o incrementadas, lo que indudablemente incide en la predicción del tipo de cauce, de acuerdo con la metodología adoptada (teoría de perturbación lineal).

Estos resultados, no obstante, pueden tomarse como tendencias de los actuales cursos, en función de sus condiciones sedimentológicas, morfológicas e hidráulicas, y no es de extrañar que cauces particularmente dinámicos, como es el de la rambla Salada, muestren un carácter transitorio.

Respecto a la estructura y funcionamiento del programa, éste resulta muy útil y cómodo para el usuario, si bien necesita de una información previa bastante completa, parte de la cual requiere mediciones directas en el campo. Al ser una aplicación demostrativa (DEMO), la grabación de registros queda limitada a una serie de ejemplos, suficiente para cumplir su objetivo didáctico. El programa fuente «*meantren.bas*» permite, en cambio, trabajar con ficheros más amplios y establecer comparaciones entre modelos predecidos para un gran número de cauces, desarrollando clasificaciones más precisas.

## BIBLIOGRAFÍA

- ANDERSON, A. G. (1967): «On the development of stream meanders», *Proc. 12th Cong. IAHR*, Colorado USA, vol. 1, pp. 370-378.
- ASHMORE, P. (1982): «Laboratory modelling of gravel braided stream morphology», *Earth Surface Processes*, vol. 7, pp. 201-225.
- BASTOS NOREÑA, C. (1986): *Ficheros BASIC*, Ed. C. BASTOS, Madrid, pp. 35-175.
- BETTES, R. y WHITE, W. R. (1983): «Meandering and braiding of alluvial channels», *Proc. Inst. Civ. Engrs.*, vol. 75, pp. 525-538.
- BORLAND INTERNATIONAL (1987): *TURBO-BASIC*, Ed. Borland, Barcelona, pp. 120-245; 267-380.
- CALLANDER, R. A. (1978): «River meandering», *Annual Review of Fluid Mechanics*, vol. 10, pp. 129-158.
- CHANG, H. H. (1988): «On the cause of river meandering», en *International Conference on River Regime*, Hydraulics Research, Wallingford, pp. 83-94.
- CHARLTON, F. G. y BENSON, R. W. (1966): «Effect of discharge and sediment charge on meandering of small stream in alluvium», *Hydraulic Research Station*, Wallingford.
- CHITALE, S. V. (1970): «River channel patterns», *Journ. Hydr. Div. ASCE*, vol. 96, pp. 201-221.
- DACHSLAGER, H.; HAYASHI, M. y ZUKER, R. (1988): *Programación en BASIC. Un método práctico*, Ed. Anaya, Madrid, pp. 150-412.
- DIPLAS, P.; KENNEDY, J. F. y ODGAARD, A. J. (1988): «Stability of initially straight rivers», en



- International Conference on River Regime*, W. R. WHITE (Ed.). Hydraulics Research, Wallingford, pp. 95-106.
- FERGUSON, R. I. (1984): «The threshold between meandering and braiding», *Proc. 1st Intern. Conf. on Channels and Control Structures*, Southampton.
- FUJITA, Y. y MURAMOTO, Y. (1982): «Experimental study on stream channel processes in alluvial rivers», *Bull. Disaster Proc. Res. Inst.*, Univ. de Kyoto, vol. 32, n.º 288, pp. 49-96.
- HONG, L. B. y DAVIES, T. R. H. (1979): «A study of stream braiding: summary», *Bull. Geol. Soc. Am.*, vol. 90, pp. 1.094-1.095.
- JOYANES AGUILAR, L. (1987): *BASIC avanzado. Tratamiento y diseño de archivos*, Ed. Mc Graw-Hill, pp. 86-314.
- (1989): *TURBO-BASIC. Manual de programación*, Ed. Mc Graw-Hill, pp. 10-185; 234-310.
- LANE, E. W. (1957): «Design of stable channels», *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, vol. 120, pp. 1-34.
- LEOPOLD, L. y WOLMAN, G. (1957): «River channel patterns: braided, meandering and straight», *U.S. Geol. Survey. Prof. Paper* 282-B.
- LEWIN, J. (1976): «Initiation of bedforms and meanders in coarse-grained sediment», *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 87, pp. 281-285.
- MIERLO, M. C. L. van (1985): «Influence of sloping bed on the sediment transport direction», *Delft Hydraulics*, Tow report R657-XXIX/Q186.
- MOSLEY, P. (1976): «An experimental study of channel confluences», *Journal of Geology*, vol. 84, pp. 535-562.
- ODGAARD, A. J. (1981): «transverse bed slope in alluvial channel bends», *Journal of the Hydraulic Division, ASCE*, vol. 107, n.º 12, p. 1.677.
- PARKER, G. (1976): «On the course and characteristic scales of meandering and braiding in rivers», *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 76, pp. 457-480.
- PARKER, G.; SAWAI, K. y IKEDA, S. (1982): «Bend theory of river meanders, nonlinear deformation of finite-amplitude bends», *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 115, pp. 303-314.
- PLOUIN, M. (1985): *IBM PC Características de programación y manejo*, Ed. Paraninfo, Madrid, 177 p.
- POZO CHIA, A. (1983): *Curso de informática. Introducción al BASIC*, Ed. Alhambra, Madrid, 205 p.
- SCHUMM, S. A. y KHAN, H. R. (1972): «Experimental study of channel patterns», *Geol. Soc. Am. Bull.*, vol. 83, pp. 1.755-1.770. .
- SCHUMM, S. A. (1974): «Geomorphic thresholds and complex response of drainage system», en *Fluvial Geomorphology*, MORISAWA, M.E. (Ed.), SUNY-Binghamton, pp. 299-310.
- SHEN, H. W. y KOMURA, S. (1968): «Meandering tendencies in straight alluvial channels», *Journal of the Hydraulic Division, ASCE*, vol. 94, pp. 893-908.
- STRUIKSMA, N. (1983): «Point bar initiation of alluvial rivers with dominant bed load transport», *Delft hydraulics*, Tow Report R657-XVII/W308.
- STRUIKSMA, N.; OLESEN, K. W.; FLOKSTRA, C. y VRIEND, H. J. de (1985): «Bed deformation in curved alluvial channels», *Journal of Hydraulic Research*, vol. 23, n.º 1, pp. 57-79.
- STRUIKSMA, N. y KLAASSEN, G. J. (1988): «On the threshold between meandering and braiding», en *International Conference on River Regime*, W. R. WHITE (Ed.), Hydraulics Research, Wallingford, pp. 107-120.
- WERNER, P. W. (1951): «On the origin of river meanders», *Trans. Am. Geophys. Union*, 32, pp. 898-902.