

Geomorfología en España
J. Arnáez, J. M. García Ruiz & A. Gómez Villar, Edrs.
1994, Sociedad Española de Geomorfología
Logroño

VARIACIONES ACTUALES EN EL MEANDRO DE EL SANTO (RÍO ALBERCHE)

A. Díez Herrero & J. de Pedraza Gilsanz

Dpto. de Geodinámica. Facultad de CC. Geológicas. U.C.M.
Ciudad Universitaria. 28.040 Madrid

RESUMEN. Mediante el estudio geomorfológico y estadístico del canal del río Alberche en el meandro de El Santo (Aldea del Fresno, Madrid), en el periodo 1898-1988, se han detectado una serie de variaciones significativas en el trazado y configuración del cauce. Estas modificaciones muestran una tendencia general a la pérdida de equilibrio dinámico en el meandro, un mayor confinamiento y estabilización del canal, y una progresiva revegetación de sus márgenes. Genéticamente parecen relacionarse con las importantes intervenciones antrópicas llevadas a cabo aguas arriba en el último siglo (embalses de El Burguillo, Las Picadas y San Juan), que han alterado notablemente el régimen hidrológico del río.

Palabras clave: Alberche, meandro, variaciones del canal, río regulado.

ABSTRACT. Geomorphological and statistical analysis show us that important channel and configuration modifications have occurred in the main meander of Alberche River, near Aldea del Fresno (Madrid, Spain) from 1898 to 1988. These changes demonstrate to us that the meander has lost its equilibrium. Furthermore, there are signs that the channel is gaining stability and confinement; this is underlined by the fact that vegetation is now growing on the banks and floodplain. We can conclude these changes are a result of the building of three large dams upstream the meander.

Key words: Alberche, meander, river channel changes, regulated river.

INTRODUCCIÓN

Los cambios en los canales fluviales han sido extensamente abordados en la literatura geomorfológica clásica, desde análisis geométricos de las variaciones en planta o perfil, a estudios cuantitativos de las interrelaciones dinámicas entre los parámetros que definen el canal, enfocados fundamentalmente a predecir las alteraciones.

En el marco de la realización de la Tesis Doctoral de uno de los autores, se pretenden localizar aquellos alcances representativos del río Alberche donde se detecten importantes cambios actuales y subactuales en el canal y su llanura de inundación con objeto de caracterizarlos, interpretarlos genéticamente, y ensayar un modelo predictivo de sus variaciones.

Contexto morfoestructural y geomorfológico: localización de la zona

El río Alberche, afluente del río Tajo por su margen derecha, discurre por dos importantes unidades fisiográficas del centro de la península Ibérica: el Sistema Central y la Submeseta Surcastellana o Cuenca del Tajo. Desde su nacimiento en la ladera Sur del Pico Moros (Sierra de Gredos, Avila) hasta su desembocadura cerca de Talavera de la Reina (Toledo), describe en planta un trazado en U tumbada con la concavidad dirigida hacia el W-SW, consecuencia de la peculiar configuración morfoestructural de la zona por la que discurre (Figura 1).

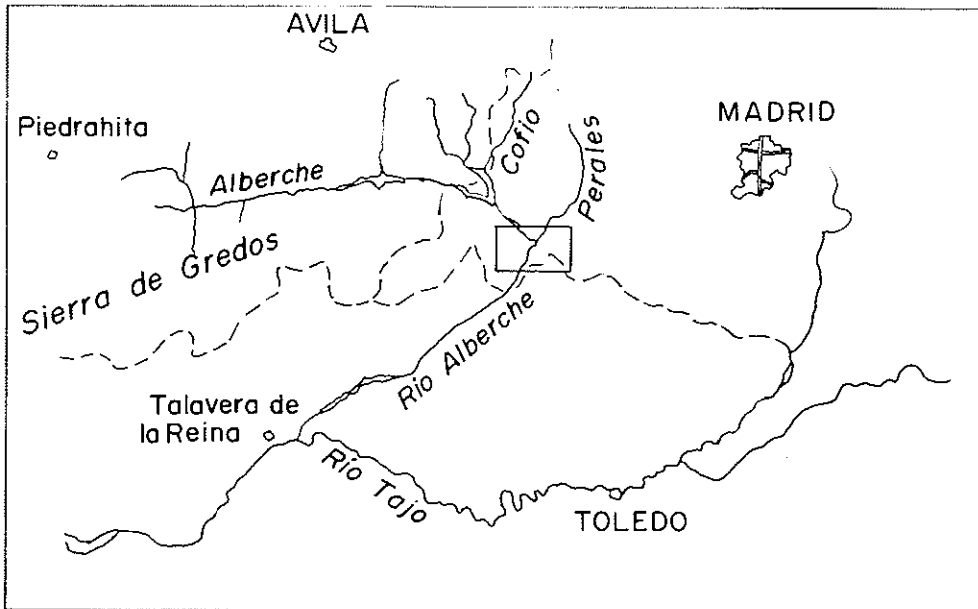


Figura 1. Localización del área de estudio (recuadrada) en el marco regional

Su curso y la morfología de su cuenca están condicionados por la disposición de diferentes alineaciones y depresiones tectónicas, tanto en su recorrido por la zona de transición entre las sierras de Gredos y Guadarrama, como en su trayecto por el borde septentrional de la cuenca del Tajo. De esta forma, se han delimitado 3 grandes tramos en el río (Pedraza, 1976): Alto, Medio y Bajo Alberche.

El tránsito entre el Medio y Bajo Alberche se articula mediante el encajamiento en el macizo de La Cabrera-Las Picadas, finalizando en la denominada línea morfotectónica meridional del Sistema Central, que da paso a la depresión Aldea del Fresno-Almorox.

Esta fosa de borde o depresión periférica de dirección NE-SW se ubica en el límite de carácter progresivo entre los materiales del macizo hercínico (esquistos y monzogranitos) y las facies detríticas cenozoicas (fundamentalmente arcóscicas). El contacto entre ambas unidades se realiza mediante un sistema de fallas inversas de origen tardihercínico, con tendencia general NE-SW pero variadas orientaciones, reactivado en el alpino y con posibles movimientos neotectónicos cuaternarios, subsidentes en la fosa.

La configuración geomorfológica general del borde nororiental de la depresión, comienza con la superficie inferior al Pediment, probablemente una simple desnivelación de éste en el Plioceno Medio-Superior a favor de fracturas, a partir de la cual se han desarrollado 3 superficies de encajamiento con perfil de glacis suavemente inclinadas hacia los cauces; éstas toman formas de: vertientes glacis escalonadas pliocuaternarias (620-540 m), glacis simples de ladera (540-500 m) de edad Pleistoceno Medio-Superior, y glacis de ladera-conos de edad Pleistoceno Superior e íntimamente ligados a los sistemas de terrazas.

El sistema de terrazas, con 7 niveles en total, se subdivide en Vegas altas y Vegas bajas, correspondientes a 2 fases mayores de aluvionamiento y a 4 menores respectivamente (Pedraza, 1978). En la primera fase mayor de aluvionamiento, de edad Pleistoceno Inferior, se encuentran definidos los niveles T_7 (+40) y T_6 (+35); en la segunda, Pleistoceno Medio, los niveles T_5 (+30), T_4 (+25), y, cuando es erosivo, T_3 (+16-18). Las cuatro fases menores definen los niveles T_3 (sedimentario), T_2 (+8-10) y T_1 (+4-6), de edad Pleistoceno Superior-Holoceno, así como el aluvial actual.

El canal actual del río en su entrada en la depresión, tras su encajamiento en la zona de Las Picadas, traza un amplio meandro que finaliza en la confluencia del Alberche con el río Perales, produciendo el cambio generalizado de la dirección del río antes referido.

Tanto el meandro como la confluencia fueron objeto de un debate acerca de su posible origen en una captura fluvial de un afluente del río Perales al remontar hacia la zona superior del Pediment. La continuidad morfoestructural de la depresión hacia el NE hace pensar que el canal propio de la depresión es el río Perales, siendo el Alberche su afluente, aunque al aportar éste mayor caudal, la unión de ambos toma el nombre de Alberche hasta la desembocadura.

El tramo del río Alberche en el que se estudiarán las variaciones actuales del canal se ubica entre la Presa de Las Picadas (Navas del Rey-San Martín de Valdeiglesias) y las proximidades del Puente de la Pedrera (Aldea del Fresno), comprendido en su totalidad dentro del sector suroccidental de la provincia de Madrid (Figura 2).

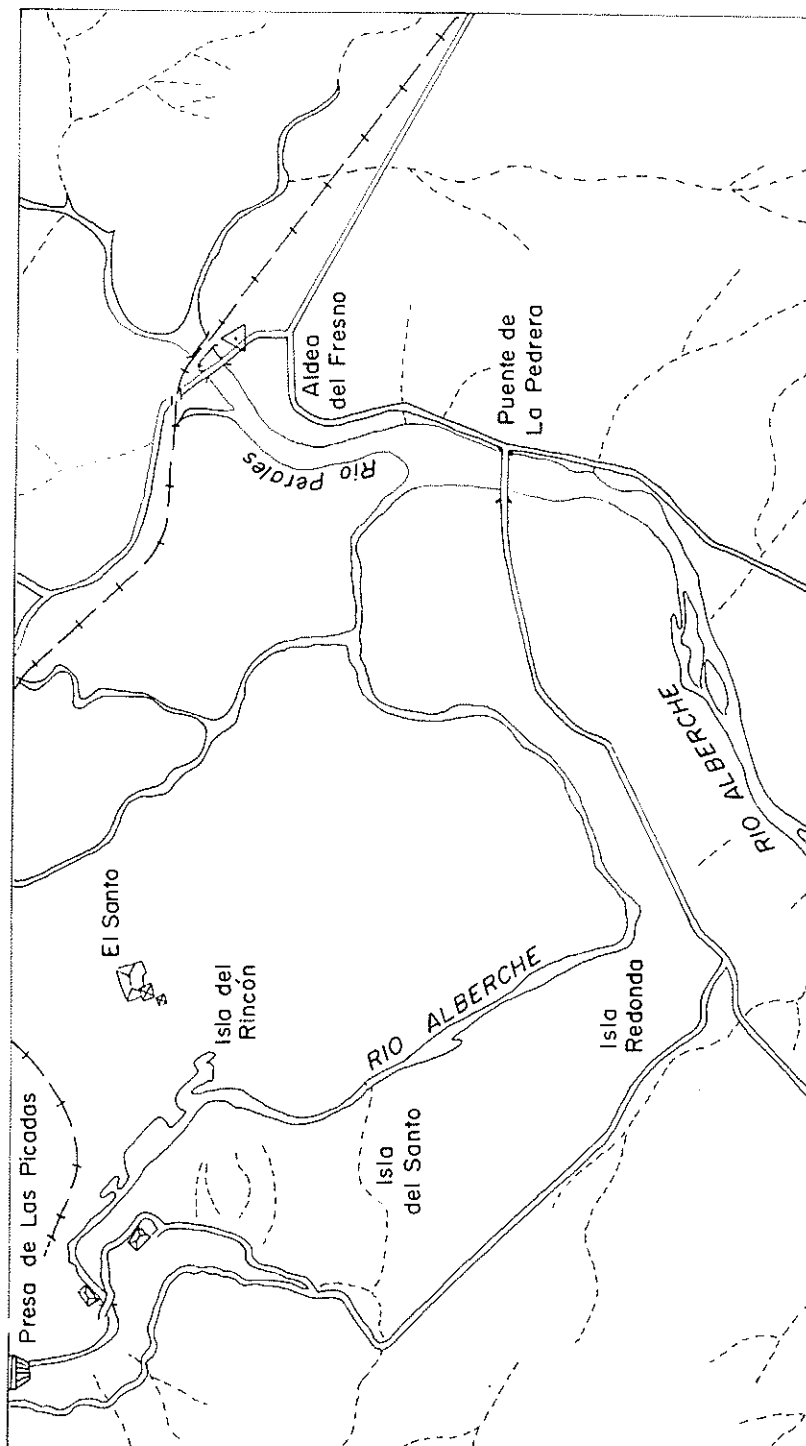


Figura 2. Esquema de detalle del área de estudio y los topónimos referidos en el texto.

Con una longitud total de unos 6 kms, la altura del canal varía entre los 475 m a pie de presa, y los 453 m de la zona del puente. Especial atención se prestará al sector en el que el río discurre sobre las facies arcóscicas cenozoicas, con una longitud (L) de 4.175 m, y en el que el río traza una flexión correspondiente a 1.25 de meandro. Este área es conocido en la toponimia local como El Santo, por lo que hemos asignado tal denominación a la totalidad del meandro.

FUENTES Y METODOLOGÍA

Para el análisis de las variaciones en planta del canal y su llanura de inundación, se utilizarán cartografías y fotogramas aéreos seriados que abarcan un intervalo temporal de casi un siglo, dando prioridad en caso de duplicidad a las fotografías, por su fidelidad y mayor contenido de información geomorfológica.

En concreto, se han seleccionado la primera edición del M.T.N. 1:50.000, hoja 580 (Mérida), y los fotogramas de los vuelos: Ejército del Aire de 1945 (1:40.000); Servicio Geográfico del Ejército de 1956 (1:33.000); COPLACO de 1979 (1:18.000); y C.A.M. de 1988 (1:18.000).

Paralelamente, se han recopilado para el estudio del régimen hidrológico del río Alberche los datos de caudales instantáneos máximos anuales de entrada y salida de las 3 presas que el río posee aguas arriba de la zona de estudio (El Burguillo, San Juan y Las Picadas), amablemente facilitados por la Dirección de Movimiento de Energía de Unión Fenosa.

Todo ello queda complementado con una amplia toma de datos en campo: mediciones, levantamiento de columnas sedimentológicas y cortes, y realización de fotografías seriadas de los puntos de control desde los años 70 a la actualidad.

En cada grupo de fotogramas se ha delimitado el canal, cartografiado los elementos geomorfológicos más representativos de la llanura de inundación, los usos del suelo en ella establecidos, y se han reseñado aquellos elementos, tanto vegetales como antrópicos, que de alguna forma tengan o hayan tenido repercusiones en la dinámica del río.

Tras la homogenización de las escalas, se han escaneado los canales para su comparación y análisis geométrico, además de trazarse las centrolíneas y digitalizarse para el análisis estadístico de sus direcciones.

La inexistencia de datos de profundidades y velocidades de corriente asociables a las cartografías antiguas, así como de perfiles transversales seriados, ha condicionado que nuestro análisis se limite al estudio del patrón en planta, enfocado fundamentalmente al equilibrio dinámico y las variaciones geométricas.

El primero de estos aspectos se abordará utilizando el modelo clásico propuesto por Langbein & Leopold (1966), o teoría de la mínima varianza. Básicamente formula que la geometría más probable para un río entre dos puntos es aquella en la que la dirección angular del canal en un punto respecto a la dirección media del valle corriente abajo es una

función sinusoidal de la distancia medida a lo largo del canal. Esta función, matemáticamente expresada como una integral elíptica, nos permite obtener una curva sino-generada que corresponde a la de mínimo trabajo total, minimizando la erosión.

$$s = \frac{1}{\sigma} \int \frac{\delta\phi}{\sqrt{2(\alpha - \cos\phi)}} \quad \phi = \omega \sin \frac{s}{M} 2\pi$$

Calculando la curva sino-generada patrón para el meandro de El Santo y estudiando las variaciones respecto a ella que se producen en las distintas cartografías, podemos llegar a deducir el grado de aproximación de cada trazado al estado de equilibrio dinámico, y por tanto la tendencia evolutiva del río. Para ello empleamos 2 fórmulas que tienden a valores mínimos cuando la geometría se acerca a la de la curva sino-generada:

$$\sum \frac{(\Delta\phi)^2}{\Delta s} \quad \text{Fórmula 1, que representa la mínima variación respecto a la anterior orientación del canal. (Langbein & Leopold, 1966)}$$

$$\sum \frac{(\phi - \phi_{sg})^2}{\Delta s} \quad \text{Fórmula 2, que representa la mínima variación respecto al valor correspondiente en la curva patrón sino-generada (propuesta en este trabajo).}$$

El análisis geométrico se realiza sobre una traza de meandro completa, utilizándose las técnicas de comparación de parámetros morfométricos básicos y el análisis del poder espectral.

El estudio del régimen hidrológico, a falta de datos de caudales previos a la construcción de las presas, consiste en la investigación de los caudales máximos instantáneos y su evolución espacio-temporal, completada con un análisis de los periodos de retorno de avenidas aguas abajo de Las Picadas utilizando las fórmulas de Weibull y Gringorten, y distribuciones Log-Pearson tipo III y Gumbel.

DATOS OBTENIDOS

Del análisis de las fuentes documentales de partida mediante las metodologías y procedimientos reseñados se han obtenido los siguientes datos:

Sobre la evolución temporal del canal y su llanura de inundación

A grandes rasgos, el trazado en planta del canal en el meandro del Santo mantiene el mismo patrón en el periodo de tiempo considerado: un canal simple con barras longitudinales y laterales y trazado meandriforme.

Sin embargo, existen una serie de localizaciones representativas donde se han producido a lo largo del último siglo cambios en el canal, fundamentalmente cortas de meandro (*chute-cut off*) y movimientos extensivos ligeramente combinados con rotaciones. Tales es el caso de los parajes conocidos como isla del Rincón, isla del Santo e isla Redonda (de ahí sus nombres).

En las zonas de mayor pendiente y en las márgenes cóncavas de las flexiones, es igualmente notable un encajamiento del canal del orden de 1 a 2 m en su propio aluvial y llanura holocena, a la que disecta claramente en isla Redonda, con una tasa erosiva media (1945-1983) de 4.3 m/año.

Además, observando la configuración geomorfológica de su llanura de inundación, podemos detectar una clara tendencia desde 1898 a la actualidad a disminuir el margen de actuación del canal, que aparece en la actualidad notablemente confinado. Este fenómeno está íntimamente vinculado a la progresiva revegetación de la llanura, de los diques naturales (*levees*) y de las barras e islas, especialmente observable después de 1945, y en ocasiones favorecida por plantaciones de árboles de ribera. Los cordones de arena (*sand ribbons*), los derrames (*crevasse splay*), y las antiguas posiciones del canal en la llanura, perfectamente reconocibles en 1945 y 1956, se encuentran poco después desdibujados por efecto de su colonización vegetal y abandono incluso en periodos de crecida.

La migración por extensión del canal únicamente se produce en zonas de máxima curvatura, generando el desarrollo de importantes barras de meandro (*point bars*), que sólo han sido funcionales al ser atravesadas entre los cordones de meandro (*scroll bars*) por hilos de corriente secundarios durante las crecidas. Recientemente, una de estas cortas de meandro generadas en las crecidas de principios de los 90, ha pasado a constituir el canal principal en isla Redonda, rompiendo la tendencia extensiva de zapado que mantenía desde 1956.

También se detecta entre 1898 y 1979 un mayor desarrollo de los conos de deyección de los torrentes estacionales que confluyen en la llanura de inundación, así como del cono de la confluencia con el río Perales, ante la aparente incapacidad del río Alberche para evacuar estos materiales.

Sobre la geometría del meandro y su equilibrio dinámico

El meandro del Santo traza en planta una S tumbada con dirección general del flujo N 110°E, cuyos principales parámetros, considerando una única, son:

$$\begin{aligned} r_c &= 475 \text{ m} \\ w_m &= 33.1 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda &= 1.875 \text{ m} \\ S_m &= 1.77 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A &= 1.125 \text{ m} \\ L &= 3.332 \text{ m} \end{aligned}$$

Para la longitud total del área de control, es notable el aumento de la distancia a lo largo del talweg, lo que se ve reflejado en un tenue pero constante incremento de la sinuosidad (tabla 1).

TABLA I

	1898	1945	1956	1966	1979	1988
Distancia talweg (m)	5564	5526	5619	5456	5750	5964
Indice de sinuosidad	1.30	1.29	1.31	1.27	1.34	1.40
Curvatura total (rad)	0.67	0.67	0.73	0.73	0.94	0.94

Los datos obtenidos por la aplicación del modelo de Langbein & Leopold al meandro del Santo se reflejan gráficamente en las figuras 3 y 4.

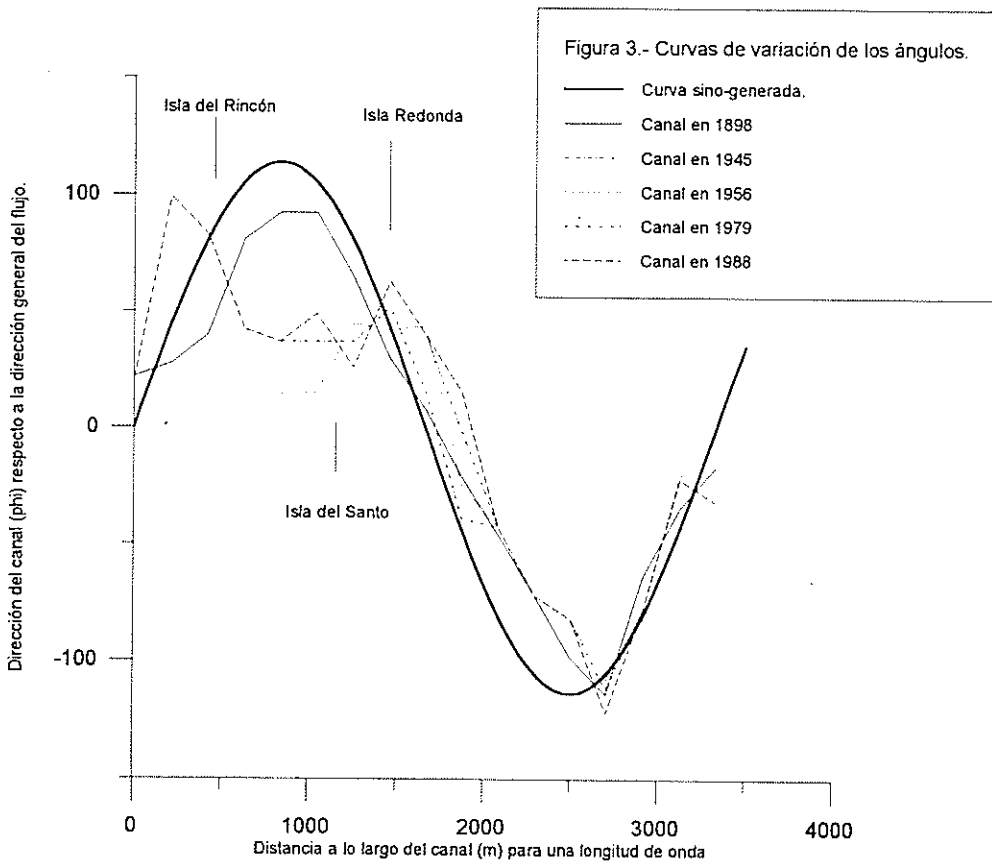


Figura 3.

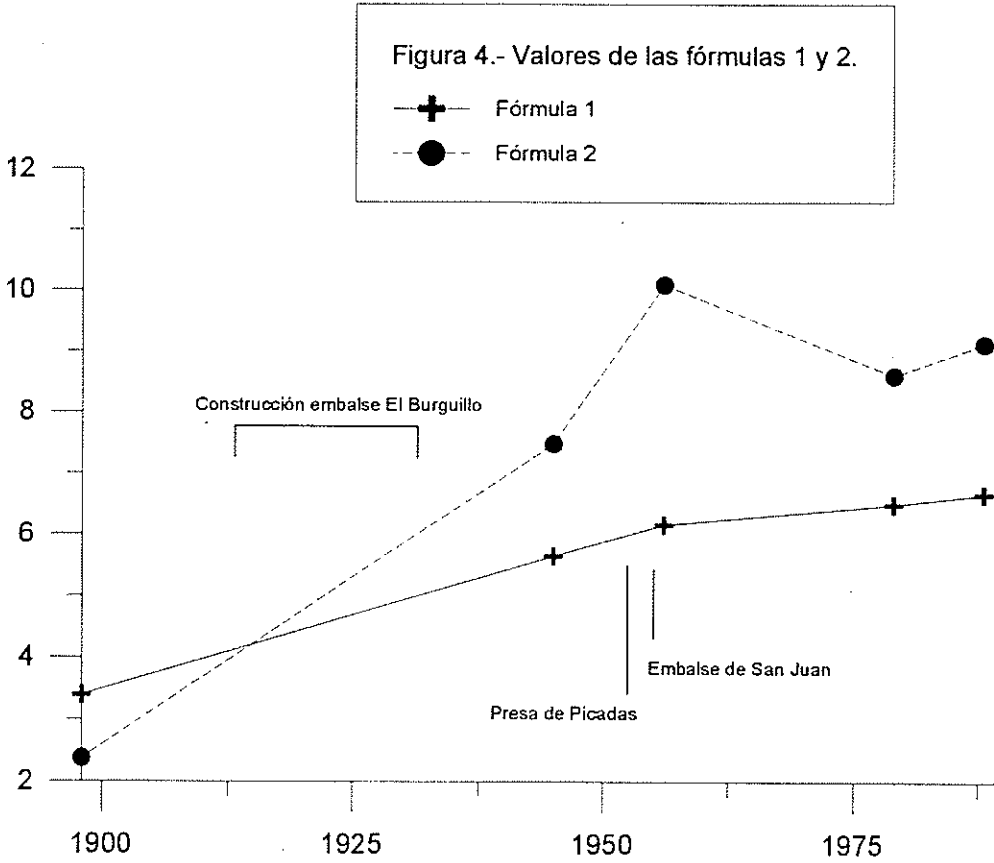


Figura 4.

Las diferentes curvas de variación del ángulo de orientación se ajustan a la curva sinogenerada en una buena parte del trazado, especialmente la curva correspondiente al canal en 1898 (Fig. 3). Tres son las zonas donde mayores anomalías presentan las curvas de 1945, 1956, 1979 y 1988, respecto al patrón: la primera, denominada isla del Rincón, corresponde al tránsito entre una zona de máxima curvatura y un punto de inflexión; la segunda, o isla del Santo, se asocia a un punto de inflexión; y por último, isla Redonda, a otra zona de máxima curvatura. La interpretación dinámica de estas desviaciones es un alejamiento de las condiciones de equilibrio entre 1898 y 1945.

Resultado de la aplicación de las fórmulas 1 y 2 para los datos de los canales en las diferentes fechas obtenemos las curvas de la figura 4. Ambas gráficas manifiestan una tendencia progresiva al aumento de los valores, si bien la correspondiente a la fórmula 2 presenta una inflexión entre los años 1956 y 1979, recuperando seguidamente su tendencia creciente. El aumento de los valores se interpreta, en los términos que Langbein & Leopold (1966) proponen, como un alejamiento de las posiciones de equilibrio

dinámico, que tendería a concentrar la erosión en las márgenes o, por incremento de la curvatura angular (ver tabla 1), a incrementar la tasa de erosión total.

La inflexión decreciente de la fórmula 2 viene a representar una ligera recuperación del equilibrio tras la fuerte desestabilización producida entre 1945 y 1956. Esta tendencia a reajustar el desequilibrio se manifiesta igualmente en la menor pendiente de ambas curvas en el período 1979-1988.

Sobre las variaciones en el régimen hídrico

La construcción de la presa de El Burguillo (1913-1931) representa una primera modificación del régimen natural en cuanto a la alteración temporal de los máximos anuales, previamente situados en Diciembre-Enero y Marzo, al producir su distribución en el tiempo (Octubre-Junio). Una segunda alteración, esta vez cuantitativa, es la laminación de ondas de crecida de considerables dimensiones, de forma que entradas superiores incluso a 600 m³/s son absorbidas por la enorme capacidad de su vaso (208 Hm³), no alcanzando las salidas más del 10 % del entrante. Mientras que 10 años presentan caudales instantáneos de entrada superiores a 400 m³/s, tan sólo en 14 años las salidas superan los 50 m³/s.

Los embalses de Picadas y San Juan, considerados en conjunto, generan similares efectos que El Burguillo. A pesar de presentar caudales de entrada considerables como consecuencia de aportaciones de tributarios (Cofio), que llegan a los 464 m³/s, las salidas de Picadas en ningún caso superan los 61 m³/s.

El caudal que se supone formador del nuevo canal (*bankfull*), q_2 Log-Pearson, es de 48.66 m³/s, próximo a los caudales correspondientes a T mucho mayores ($q_{100} = 61.47$ m³/s), denotando una gran uniformización de los caudales máximos en una banda 50-60 m³/s. En conjunto, el denominado Sistema Alberche, supone reducciones de hasta el 90 % (T=20) en los caudales correspondientes a los diferentes períodos de retorno (Figura 5).

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

La interpretación genética y evolutiva de las variaciones en el canal pasa por la propuesta de causas externas al propio sistema, bien sean ligadas a actividad neotectónica o a intervenciones antrópicas.

Las primeras, relacionarían estas tendencias evolutivas con la existencia de pequeños reajustes neotectónicos en este complejo área, materializados en basculamientos y subsidencias diferenciales a lo largo del canal y su entorno.

Los criterios esgrimidos a favor de la existencia de procesos morfogenéticos recientes ligados a la actividad neotectónica de la depresión son de 2 tipos (Pedraza, 1976):

a) Morfológicos: el escalonamiento y la disposición de las superficies encajadas en la superficie inferior al Pediment.

de su nivel de base en el río regulado durante los períodos de avenida. En nuestro caso, estos efectos se hacen especialmente patentes en el descalzado de los pilares del puente del ferrocarril sobre el río Perales en Aldea del Fresno, y en la incisión de casi 2 m en su propio cono de desembocadura actual.

CONCLUSIÓN GENERAL

Tanto el estudio geomorfológico del cauce del río Alberche como el análisis geométrico de las variaciones en su trazado en la zona del meandro del Santo, parecen concluir la existencia de una tendencia a la pérdida del equilibrio dinámico y un mayor confinamiento del canal en el período estudiado.

La coincidencia de las mayores variaciones cuantitativas con las fechas en las que se han producido importantes obras hidráulicas aguas arriba (presas de El Burguillo, Las Picadas y San Juan), de demostrado efecto sobre su régimen hídrico, nos hace pensar en la existencia de una neta interrelación entre ambos hechos.

Esta tendencia evolutiva, especialmente patente a partir de 1956, parece atenuarse progresivamente en la actualidad, fruto de la adaptación del canal a las nuevas condiciones hídricas.

AGRADECIMIENTOS

Quisieramos agradecer a Miguel Angel Sanz Santos su inestimable asesoramiento en temas informáticos, y a Unión Fenosa la amable cesión de los datos de caudales de sus embalses.

Referencias bibliográficas

- Gregory, K.J. (ed.) (1977): *River Channel Changes*, John Willey & Sons, 448 pp., Chichester, N. Ireland.
- Howard, A.D. & Hemberger, A.T. (1991): Multivariate characterization of meandering, *Geomorphology*, 4, 161-186.
- Langbein, W.B. & Leopold, L.B. (1966): River Meanders-Theory of Minimum Variance, *Geological Survey Professional Paper*, 422-H, 15 pp.
- Leopold, L.B., Wolman, M.G. & Miller, J.P. (1964): *Fluvial processes in geomorphology*, Freeman, 522 pp., San Francisco.
- Lewin, J. (1987), Historical River Channel Changes, *Palaeohydrology in Practice*, (Gregory, K.J.; Lewin, J. & Thornes, J.B.), John Willey & Sons Ltd., pp. 161-175.
- Martínez Castroviejo, R., Inbar, M., Gómez Villar, A. & García-Ruiz, J.M. (1990), Cambios en el cauce aguas abajo de una presa de retención de sedimentos, *Actas I Reunión Nacional de*

b) Tectónicos: variaciones en la línea del talweg del río, al encontrarse en algunas zonas por encima de la base de sedimentación de las terrazas medias; basculamientos en los niveles de terrazas altos; y potencias anómalas de los materiales aluviales en la depresión frente al reducido espesor que presentan cerca de la desembocadura.

El funcionamiento subsidente de la fosa no ha sido continuo, sino por etapas de mayor o menor actividad, e incluso de estabilización, marcadas estas últimas por fuertes encajamientos del río (Pedraza, 1981).

Por otro lado, los autores que han estudiado los efectos geomorfológicos de la construcción de grandes presas aguas abajo de éstas (Leopold, Wolman, Petts, ...), destacan la existencia de procesos degradativos, agradacionales y fenómenos de variación en el canal como consecuencia de la alteración del régimen hídrico y la retención de sedimentos en el vaso del embalse.

Los procesos erosivos se manifiestan en: una alteración de la composición granulométrica del lecho, produciendo un efecto de armado (*armouring*), una incisión del canal tendente a disminuir la pendiente bajo la presa, y una variación en la rugosidad global del lecho.

Además, la importante modificación del régimen, unificando caudales, laminando los picos de crecida e imponiendo pulsos no naturales (Petts, 1984), disminuye la competencia de transporte y la posibilidad de reelaborar los depósitos que le aportan sus tributarios, aumentando en tamaño de los conos de deyección y desembocadura. Este cambio en el régimen temporal de las avenidas puede condicionar un aumento en la densidad de la vegetación en la llanura de inundación y un mayor confinamiento del canal.

Tal y como se ha reflejado en los resultados, similares efectos a los descritos pueden observarse en diferentes grados a lo largo del meandro de El Santo, fundamentalmente a partir de 1956, cuatro años después de la conclusión de la cercana presa de Las Picadas (17 Hm³) y recién finalizado el embalse de San Juan (162 Hm³).

La falta de perfiles y secciones previos a la construcción de los embalses nos impiden conocer la magnitud de la degradación, si bien puntualmente se puede evaluar en una profundización de 1 a 2 m, y un efecto de armado especialmente notable en las cercanías de la central hidroeléctrica de la presa. Este efecto bajo la presa se ve limitado por la existencia de gruesos depósitos de bloques, por lo que la reposición de carga se efectúa por erosión extensiva en las orillas.

Por lo que respecta a la longitud afectada por la degradación, según los cálculos empíricos de Wolman (1967), debería equivaler a 69 veces la anchura del canal, esto es, unos 2284 m en el caso del Alberche en esta zona. Realmente donde mejor se reconocen los efectos en campo es en los 3 primeros kilómetros aguas abajo de la presa, ya que corriente abajo, al recibir aportes detríticos finos de los tributarios no regulados (especialmente del río Perales) y atravesar litologías poco consolidadas, el río recupera rápidamente su carga sólida.

A su vez, también puede reconocerse un rejuvenecimiento con efectos degradativos en los tributarios no regulados cerca de su desembocadura como consecuencia del descenso

- Geomorfología*, (Gutiérrez, M.; Peña, J.L. & Lozano, M.V.), I.E. Turolenses, tomo II, 457-468, Teruel.
- Pedraza, J. de (1976): Algunos procesos morfogenéticos recientes en el valle del río Alberche (sistema central español). La depresión de Aldea del Fresno-Almorox, *Boletín Geológico y Minero*, T. LXXXVII-I, pp. 1-12.
- Pedraza, J. de (1978): *Estudio geomorfológico de la zona de enlace entre las Sierras de Gredos y Guadarrama (S.C.E.)*, Tesis Doctoral, Facultad de CC Geológicas, U.C.M., 600 pp., inédita.
- Pedraza, J. de (1981): El borde meridional de la zona de transición entre las Sierras de Guadarrama y Gredos (S.C.I.): evolución morfotectónica reciente, *Cuadernos de Geología Ibérica*, 7, 667-681.
- Petts, G.E. (1979): Complex response of river channel morphology subsequent to reservoir construction, *Progress in Physical Geography*, 3 (3), 329-362.
- Petts, G.E. (1984): *Impounded Rivers*, Wiley, 326 pp., Chichester.
- Wolman, M.G. (1967): Two problems involving river channel changes and background observations, *Quantitative Geography, Part 11, Physical Cartographic Topics, Northwestern University Studies in Geography*, 14, 67-107.