

## HIDROLOGÍA DE PALEOCRECIDAS Y SEGURIDAD DE PRESAS

G. Benito<sup>1</sup>, M. Rico<sup>1</sup>, A. Díez Herrero<sup>2</sup>, Y. Sánchez-Moya<sup>3</sup>, A. Sopena<sup>3</sup> y V. R. Thorndycraft<sup>1</sup>

- (1) CSIC-Centro de Ciencias Medioambientales, Serrano 115 bis, 28006 Madrid. benito@ccma.csic.es; mayte@ccma.csic.es; varyl@ccma.csic.es  
 (2) Dpto. de Ingeniería Geológica y Minera, Universidad de Castilla-La Mancha, 45071 Toledo. andres.diez@uclm.es  
 (3) Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid. yol@geo.ucm.es; sopena@geo.ucm.es.

**RESUMEN:** En el Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses se recomienda, en función de la categoría de la presa considerada, el uso de las Avenidas de Proyecto con periodo de retorno de 1.000 años para la Avenida de Diseño, y de hasta 10.000 para la Avenida Extrema. Su estimación a partir de las exiguas series de datos foronómicos o meteorológicos del registro sistemático (ordinario) carece del rigor científico que requiere la envergadura de estos proyectos. En este trabajo se presentan los resultados del análisis de paleocrecidas en el río Guadalentín aguas arriba del embalse de Valdeinfierno (372 km<sup>2</sup>) con un aliviadero de 550 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, y su aplicación a la determinación de los cuantiles requeridos para la determinación de las avenidas de diseño y máxima. Los depósitos analizados corresponden a arenas y limos acumulados durante las crecidas en zonas de remanso (slackwater flood sediments). En el análisis de frecuencia de crecidas se han combinado los caudales estimados para estos depósitos con los datos de aforo utilizando el método de máxima verosimilitud para ajustar una distribución Gumbel. En este análisis se obtiene un caudal de 2350 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> para la avenida de diseño (1.000 años de periodo de retorno), y 3450 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> para la avenida máxima (10.000 años de periodo de retorno). Los caudales asociados a crecidas con periodos de retorno elevado se han comparado con los resultantes del cálculo de la avenida máxima probable (PMF), que es de 5786 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>.

**Palabras clave:** Paleocrecidas, avenida de diseño, seguridad de presas, análisis de frecuencia de avenidas, río Guadalentín.

### Palaeoflood hydrology and dam safety

**ABSTRACT:** *Spanish regulations on dam safety recommend the estimation of a return period of 1000 years for the Design Flood and of 10,000 for the Safety Check Flood. The criteria used for the calculations are based on Flood Frequency Analysis (FFA) from gauge record data or on the Probable Maximum Flood (PMF) which is the hypothetical maximum of rainfall turned into runoff. The short gauge records affords little support for the FFA and for the hypothetical PMF, which in addition to the absence of a associated probability, limits the utility of*

*these indices for risk-based dam safety decisions. Palaeoflood techniques are a means of directly assessing the probability of extreme floods and testing the validity of the PMF-based models. In this paper, palaeoflood record was applied to a case study in the Guadalentín river, upstream of the Valdeinfierno reservoir (372 km<sup>2</sup>) with a spillway capacity of 550 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> (design flood). In addition, available historical flood data was collected. Palaeoflood data and gauge record, were combined for the FFA, using existing methods for the fitting of distribution functions, such as the maximum likelihood. Palaeoflood analysis provides a discharge of 2350 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> for the design flood (1000-yr return period), and 3450 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> for the safety check flood (10,000 yr-return period). The discharge estimated by the PMF is 5786 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, showing an overestimation of this empirical method. Some recommendations for the calculation of the safety check flood and design flood are provided which can improve existing legislation on dam safety.*

**Key words:** *Palaeofloods, design flood, dam safety, flood frequency analysis, Guadalentín river.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Las corrientes fluviales presentan, con periodicidad e intensidad variables, eventos de crecida que suponen un aumento significativo de los caudales circulantes. Estas crecidas pueden ocasionar situaciones de riesgo en las obras hidráulicas y en particular en las presas de embalse. En el proyecto para la construcción de presas se contempla un adecuado dimensionamiento de los órganos de desagüe (vertederas de superficie, aliviaderos y desagües de fondo), con objeto de evacuar las crecidas que pueden generarse en sus cuencas hidrográficas. Así surge el concepto de avenida de diseño, crecida (expresada como caudal punta o volumen de crecida) que sirve para dimensionar los órganos de desagüe, y cuya estimación viene marcada por una normativa o reglamento.

En la mayor parte de los países desarrollados, el establecimiento de la avenida de diseño se asocia a un caudal punta (m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>) con una determinada probabilidad de ocurrencia ( $p$ ) o su equivalente periodo de retorno estadístico ( $T$ ). Para el caso español, los órganos de desagüe de buena parte de las presas se han diseñado para ser capaces de evacuar el caudal punta correspondiente a un periodo de retorno de 500 años (probabilidad anual de ocurrencia de 0,002).

## 2. LA AVENIDA DE DISEÑO Y LA SEGURIDAD DE LAS PRESAS

En el ámbito estatal español, la normativa sobre la avenida de proyecto se remonta al año 1962, cuando la Comisión de Normas para Grandes Presas (creada en 1959) edita la “*Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas*”, aprobada por Orden Ministerial de 21 de agosto. El artículo 20 indicaba que “*la capacidad de desagüe de los aliviaderos se determinará en función de la crecida máxima previsible. Como mínimo, deberá preverse la evacuación del caudal de riada cuya frecuencia probable sea de una vez en quinientos años*”. Asimismo, recomendaba el uso de métodos probabilísticos, contrastados con otros métodos.

En el año 1967, la Comisión Permanente de Normas de Grandes Presas modifica la anterior norma mediante la “*Instrucción de Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas*”, aprobada por Orden Ministerial de 31 de marzo. Dicha instrucción establece claramente el empleo de métodos probabilísticos sobre caudales y precipitaciones máximas, aunque recomienda la consideración de datos históricos y el contraste de diferentes métodos. En su artículo 14.7 señalaba que a efectos de la capacidad del sistema de desagüe se denominará “avenida máxima” aquella cuyo periodo de recurrencia sea de 500 años, con lo que se fijaba estrictamente este umbral para el dimensionamiento. Con tales criterios han sido diseñadas las presas construidas en España durante los últimos treinta años.

Según el Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses (MOPTMA, 1996), la categoría de una presa desde el punto de vista de la seguridad está condicionada por el riesgo previsible que genera a elementos situados aguas abajo. Así, retoma de la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el riesgo de inundaciones (MJI, 1995) sus categorías, y cataloga las presas en tipos: A, afecciones graves a núcleos urbanos; B, daños materiales o medioambientales importantes; y C, daños materiales moderados. Aunque insiste en el empleo de métodos de cálculo de tipo probabilístico (análisis estadístico y cálculo hidrometeorológico) en el cálculo de la avenida de diseño, recomienda nuevamente la consideración de datos históricos. Diferencia entre avenida de proyecto (máxima para un correcto funcionamiento de órganos de desagüe) y avenida extrema: avenida mayor que la presa debe soportar sin que se produzca su rotura. Para determinar dichas avenidas la Guía Técnica de Seguridad de Presas (Comité Español de Grandes Presas, 1997) recomienda los siguientes periodos de retorno (tabla 1).

**Tabla 1.** Periodos de retorno (en años) empleados para las avenidas de proyecto y extrema de presas, en función de la categoría de la presa.

CATEGORÍA DE LA PRESA	AVENIDA DE PROYECTO	AVENIDA EXTREMA
A	1.000	5000-10000
B	500	1000-5000
C	100	100-500

En la estimación de los caudales de avenida se emplean habitualmente técnicas hidrológicas que pueden ser englobadas en dos conjuntos: análisis estadístico de caudales de crecida y cálculo hidrometeorológico de caudales (Comité Español de Grandes Presas, 1997; Berga, 1998). Ambas técnicas precisan como datos de partida series de caudales registrados en estaciones de aforo y secuencias de precipitaciones máximas recogidas en estaciones meteorológicas. Estos datos deben ser tratados estadísticamente para obtener las funciones de distribución de frecuencias que mejor modelan la probabilidad de ocurrencia de un caudal o precipitación dados.

Sin embargo, la escasez de ambos tipos de estaciones, su validez puntual y compleja extrapolación espacial, y la escasa longitud de las series disponibles (que normalmente no superan los 20 años de registro), hacen que el tratamiento estadístico de los datos carezca de la representatividad y rigor necesarios. Se trata de estimar caudales con periodos de retorno

de 500 años para dimensionar los órganos de desagüe de la presa, y se parte de series de 30 a 35 datos anuales de caudales o precipitaciones máximas; el cálculo no soporta ni la más elemental de las pruebas de representatividad estadística.

El problema se agrava cuando las más recientes normativas nacionales, y las directrices que marcan las tendencias europeas, exigen el establecimiento de mayores periodos de retorno para el cálculo de las avenidas de proyecto y extrema. La propuesta de la Guía Técnica de Seguridad de Presas (Comité Español de Grandes Presas, 1997), en función de la categoría de la presa considerada (ver tabla 1), recomienda el uso de hasta la avenida con periodo de retorno de 10.000 años. Su estimación a partir de las exiguas series de datos foronómicos o meteorológicos del registro sistemático (ordinario) carece del rigor científico que requiere la envergadura del proyecto.

Se hace preciso, pues, incorporar nuevas fuentes de datos que permitan ampliar las series a la vez que, al ampliar el periodo de registro, contemplar la posible existencia de eventos de baja frecuencia y alta magnitud. Estas fuentes de datos proceden del ámbito de la Paleohidrología, y ofrecen información de paleocrecidas en el registro geológico e histórico.

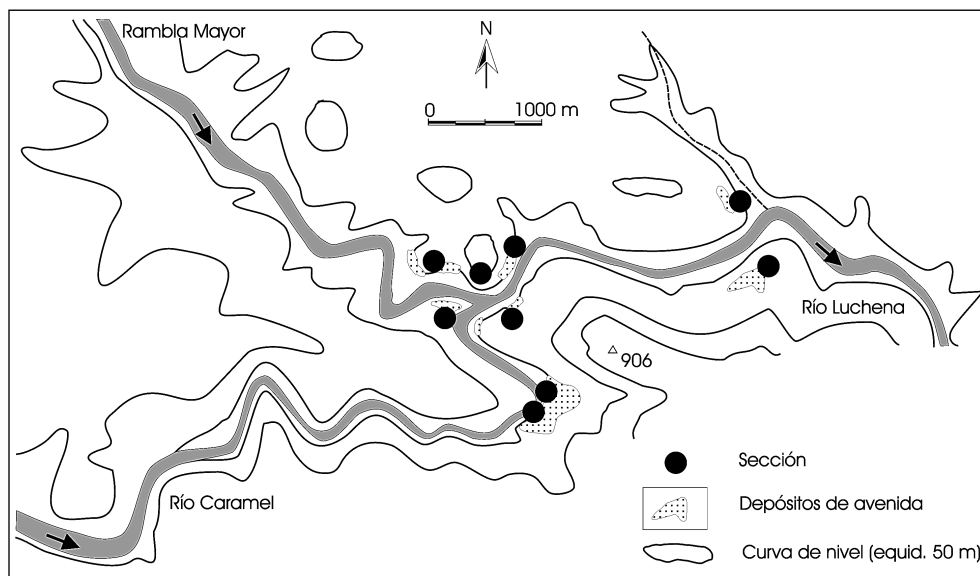
De forma simultánea se precisa incorporar técnicas de estimación de eventos máximos de crecida que cabe esperar que se produzcan en un determinado lugar, ya que periodos de retorno tan elevados equivalen en la práctica a las avenidas más extremas que podrían físicamente generarse (avenida máxima probable o PMF). Estas metodologías requieren concienzudos estudios meteorológicos que, conociendo la dinámica atmosférica de la zona, permiten maximizar las situaciones que producen precipitaciones extremas hasta obtener una máxima precipitación probable (PMP), que es transformada en caudales mediante modelos hidrometeorológicos de precipitación-escorrentía. Entre los principales problemas que plantean los máximos hipotéticos resultantes de la PMF está, por definición, la falta de una probabilidad asociada a dicho resultado. Esta falta de probabilidad asociada a la PMF limita su utilización para la toma de decisiones basadas en el riesgo de la seguridad de la presa.

### 3. CASO DE ESTUDIO DE LA CUENCA ALTA DEL GUADALENTÍN

#### 3.1. Datos de paleocrecidas

La canalización del flujo durante una avenida deja una serie de indicadores a partir de los cuales puede inferirse el nivel de agua o 'paleoestado'. Los indicadores pueden reflejar la elevación de la inundación mediante marcas de erosión o pueden indicar la altura mínima que alcanzó el agua durante el caudal punta, mediante depósitos de limos y arenas. Estos depósitos de inundación de baja energía o "*slackwater deposits*" son los formados de materiales finos (limos y arenas) arrastrados por la avenida, que se sedimentan como consecuencia de la disminución de la velocidad del agua en zonas de estancamiento. Estos depósitos son los indicadores que permiten la obtención del registro más completo sobre las inundaciones pasadas (Baker et al., 1983).

En el río Guadalentín (tramo alto conocido como río Luchena), se han realizado nueve perfiles estratigráficos en los depósitos de crecida en un tramo de 2,5 km situado en el entorno de la confluencia de la Rambla Mayor y río Caramel (Fig. 1), aguas arriba del embalse de Valdeinfierno. El río Guadalentín presenta un régimen mediterráneo, marcadamente torrencial. Las estaciones de aforo se localizan en los embalses de Valdeinfierno y Puentes. El embalse de Valdeinfierno se construyó entre 1806-1892, con una altura de la cerrada de 49,21 m, longitud de coronación de 165 m, volumen de embalse de 14,19 hm<sup>3</sup>, y una capacidad de



**Figura 1.** Localización de secciones estratigráficas estudiadas en la Rambla Mayor y el río Caramel.

aliviadero de  $550 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (avenida de diseño). Se trataría de una presa de tipo A por sus dimensiones y por el riesgo que supondría su rotura sobre la presa de Puentes, localizada aguas abajo.

Los depósitos de crecidas se localizan en los laterales más alejados o protegidos de los cursos de los ríos Caramel y Rambla Mayor, aguas arriba de un cañón rocoso de unos 25-30 m de anchura donde confluyen ambos ríos. Igualmente, se han encontrado depósitos en pequeñas cavidades desarrolladas en las paredes del cañón rocoso, y en el interior de algunos barrancos afluentes. En estos depósitos se han realizado los nueve perfiles estratigráficos, reconociéndose al menos 25 eventos de crecida. Los depósitos de inundación están constituidos por arenas, limos y, ocasionalmente arcillas, presentando espesores que oscilan entre unos pocos centímetros y 0,4 m. Desde el punto de vista sedimentológico, las secuencias verticales más comunes son granodecrecientes, con estructuras masiva, laminación horizontal y laminación cruzada. Con mucha frecuencia, las unidades arenosas terminan con estructuras producidas por la migración de climbing ripples, sobre los que se deposita una fina lámina de limos que representa el final de la crecida. En sentido estricto, los depósitos de avenida representan siempre un indicador de mínimo 'paleoestado' o nivel del flujo, ya que la superficie del agua de avenida ha estado situada por encima de estos depósitos. Sin embargo, en la práctica, se ha observado cómo la máxima elevación de estos depósitos se encuentra próxima a la altura del pico de avenida (Kochel y Ritter, 1987). En los sedimentos de avenida se han realizado 13 dataciones mediante C-14 (AMS), obteniéndose en los depósitos más antiguos una edad de  $1985 \pm 50 \text{ BP}$ , aunque la mayor parte de los niveles presentan edades correspondientes a los últimos 1000 años.

### 3.2. Estimación de caudales punta

Conocida la altura mínima del flujo durante el caudal punta a partir de los sedimentos, la exactitud en la estimación de caudal depende de los métodos hidráulicos utilizados para los cálculos y de la apropiada selección de parámetros tales como las condiciones de contorno y coeficientes de pérdida de energía del flujo (O'Connor y Webb, 1988; Benito, et al., 2003 a y b). En este estudio se ha utilizado el modelo de flujo unidimensional HEC-RAS (HEC, 1995), que utiliza un procedimiento de cálculo de carácter iterativo de tipo prueba-error basado en la resolución de la ecuación de la energía en una dimensión, derivado de la fórmula de Bernuilli para flujo estacionario gradualmente variado.

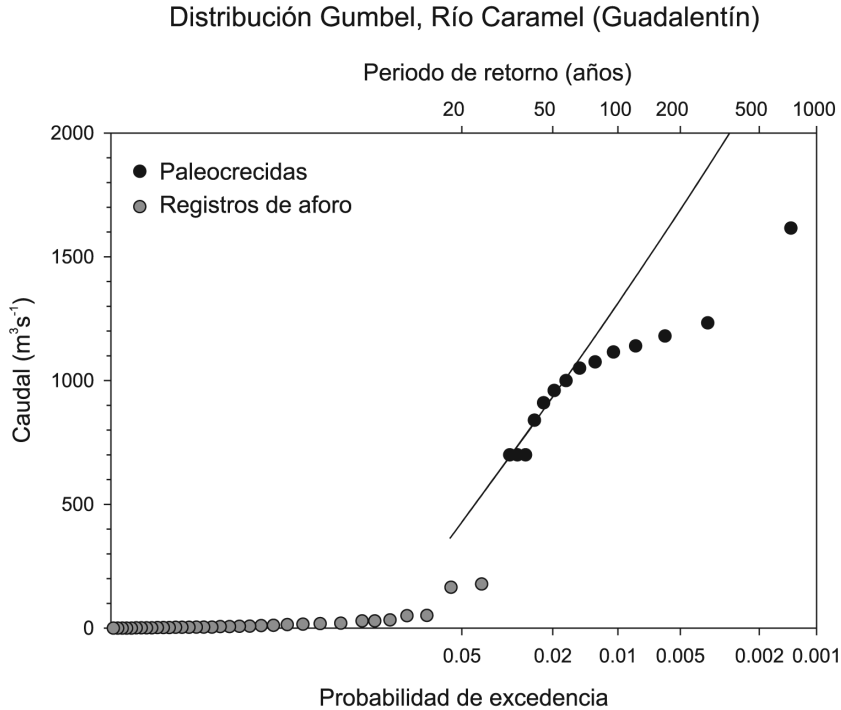
Los caudales punta estimados para estas paleocrecidas oscilan entre los  $15 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  y  $1616 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , este último corresponde a la avenida de 1973, de la cual no existe registro foronómico en esta parte alta de la cuenca. Estos caudales punta asociados a las paleocrecidas son hasta tres veces superiores a la capacidad de aliviadero de la presa de Valdeinfierno, que debería ser capaz de evacuar la avenida de periodo de retorno de 1000 años.

### 3.3. Análisis de frecuencia

La combinación de caudales estimados en las paleoinundaciones, en los datos históricos y en las estaciones de aforo pueden enriquecer en gran medida el análisis de frecuencia de inundaciones (Francés, 2004). Stedinger y Cohn (1986), Francés et al. (1994) y Francés (1998), entre otros, han desarrollado algoritmos que mediante el análisis de máxima verosimilitud integran los datos procedentes de estas fuentes. Estos métodos permiten la descripción de los datos en forma de valores concretos, rangos de caudales o umbrales mínimos sobrepasados o máximos no excedidos. Según estos autores, si asumimos que las avenidas presentan una distribución paramétrica dada, el método de máxima verosimilitud (MMV) estima los parámetros de distribución maximizando la probabilidad de los eventos de inundaciones y paleoinundaciones.

De acuerdo con Stedinger et al. (1988), mediante la técnica de máxima verosimilitud, cuando se ajusta una distribución Gumbel de 2-parámetros, cada dato de información histórica o prehistórica equivale a una media 0.05 y 0.11 años del registro sistemático. De tal manera, por cada 1000 años del periodo histórico se produce una mejora en la estimación de la distribución Gumbel equivalente a un registro sistemático de 50 y 110 años; en el caso de Gumbel 3-parámetros la mejora equivale a 300 años de registro sistemático; y en el mejor caso alcanza los 990 años. En la información obtenida mediante el estudio de paleocrecidas subyace una discriminación entre años cuyo caudal máximo superó cierto umbral y años en los que no se excedieron estos umbrales. En la información de paleocrecidas el umbral aparece concretado por la altura de los apilamientos de los depósitos.

En el caso del Guadalentín el análisis estadístico se ha realizado con la asignación de probabilidades mediante la fórmula de Weibull, a la que se ha aplicado una distribución Gumbel mediante el método de máxima verosimilitud (Fig. 2). El principal problema encontrado en este ajuste estadístico proviene de los datos de aforo, debido a que la mayor parte de los caudales del embalse de Valdeinfierno corresponden a valores medios diarios. Por ello, se ha optado por eliminar del análisis los caudales medios y utilizar los registros de caudal instantáneo en aquellos años que se dispone en la serie. De acuerdo con este análisis, las crecidas con periodo de retorno (T) de 100, 500, 1000, 5000 y 10000 años corresponden a caudales



**Figura 2.** Distribución Gumbel utilizando datos sistemáticos (registros de aforos) y no sistemáticos (registros de paleocreencias) para el río Guadalentín aguas arriba del embalse de Valdeinfierno.

de 1150, 1950, 2300, 3100 y 3450  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$  respectivamente. Estos datos resultan del mismo orden que los obtenidos por el CEDEX a partir del cálculo hidrometeorológico de avenidas mediante un modelo distribuido, y que corresponden a caudales de 935, 1722, 2121, 3204 y 3727  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$  para estos mismos periodos de retorno. De estos datos se deduce que la avenida de diseño utilizada para dimensionar la capacidad del aliviadero de la presa de Valdeinfierno (550  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ) se encuentra infraestimada para la magnitud de las crecidas del Guadalentín en esta parte alta de la cuenca. La dimensión de este aliviadero de acuerdo al Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses (MOPTMA, 1996) debería de realizarse para una avenida de diseño de 2300  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$  y una avenida extrema de 3450  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ .

La crecida máxima probable (PMF) es la máxima crecida físicamente posible que ocurriría cuando se diese una coincidencia completa entre todos los factores que producirían la máxima lluvia y la máxima escorrentía. Para calcular la PMF es necesario haber determinado previamente la precipitación máxima probable (PMP) que corresponde a la precipitación máxima físicamente posible que puede caer sobre la cuenca (OMM, 1990). El caudal de la avenida máxima probable (PMF) ha sido calculado mediante una simplificación que utiliza una fórmula empírica donde se establece una relación de las precipitaciones máximas registradas a nivel mundial (envolvente), en donde se han introducido modificaciones para España. De acuerdo a esta fórmula empírica la PMF para la cuenca aguas arriba de Valdeinfierno es de 5786  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$  (A. Jiménez, comunicación personal). Este método sobreestima los

valores de caudal y su aplicación en el diseño de presas puede suponer el sobredimensionado de los órganos de desagüe y los parámetros de seguridad, con el consiguiente encarecimiento de la obra.

#### **4. CONCLUSIONES**

En este trabajo se pone en evidencia el potencial que presenta el estudio de paleocrecidas para la determinación de caudales punta y sus correspondientes periodos de retorno aplicados al cálculo de las avenidas de proyecto y máxima de presas. Los trabajos se han centrado en la cuenca alta del río Guadalentín, aguas arriba del embalse de Valdeinfierno. Los depósitos de crecidas más antiguos datan de hace unos 2000 años, aunque el registro más completo comprende los últimos 1000 años, con un total de 25 eventos registrados. Los caudales punta estimados para estas paleocrecidas oscilan entre los  $15 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  y  $1616 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . De acuerdo con el análisis estadístico realizado utilizando los caudales de las paleocrecidas, junto con algunos datos de caudales punta disponibles en la estación de aforos de Valdeinfierno, la avenida de diseño de la presa de Valdeinfierno es de  $2300 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , mientras que la extrema es de  $3450 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . De este trabajo se puede concluir que los estudios de paleocrecidas proporcionan nuevas herramientas metodológicas para la determinación de los cuantiles de crecida elevados como son las avenidas de 500, 1000, 5000 y 10000 años de periodo de retorno. Estos datos de paleocrecidas corresponden a evidencias físicas de calados o niveles de agua alcanzados por las crecidas en periodos de tiempo de varios miles de años, y presentan ventajas sobre la incertidumbre de los datos estadísticos o determinísticos obtenidos a partir de datos de aforo o de precipitación de series temporales de unas pocas décadas. Por otro lado, los caudales obtenidos mediante la estimación empírica de la PMF ( $5786 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) sobreestiman los valores de caudal resultantes, y por tanto no permiten realizar una estimación realista sobre los órganos de desagüe de las presas. En resumen, este trabajo aporta una nueva propuesta metodológica dirigida a la administración y a consultoras para la incorporación de las técnicas de paleocrecidas al proceso de estimación de la avenida de diseño y extrema.

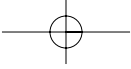
#### **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo se ha realizado con la financiación del Proyecto CICYT REN2001-1633/RIES "Incorporación de datos de paleocrecidas e inundaciones históricas al cálculo de la avenida de diseño de presas" (PALEOCAP).



**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Baker, V.R.; Kochel, R.C.; Patton, P.C. & Pickup, G. (1983). Paleohydrologic analysis of Holocene flood slack-water sediments. En: International Conference on Fluvial Sedimentology, 2d, Glasgow, Scotland, 1981, Proceedings: Keele, England, Blackwell, 229-239.
- Benito, G.; Machado, M.J.; Pérez-González, A. & Sopeña, A. (1998). Palaeoflood analysis of the Tagus River (Central Spain). En: G. Benito, V.R. Baker & K.J. Gregory (eds.), *Palaeohydrology and Environmental Change*. John Wiley, Chichester, 317-333
- Benito, G.; Sánchez-Moya, Y. & Sopeña, A. (2003a). Sedimentology of high-stage flood deposits of the Tagus River, Central Spain. *Sedimentary Geology*, 157. 107-132.
- Benito, G.; Sopeña, A.; Sánchez, Y.; Machado, M.J. & Pérez González, A. (2003b). Palaeoflood Record of the Tagus River (Central Spain) during the Late Pleistocene and Holocene. *Quaternary Science Reviews*, 22. 1737-1756.
- Berga, L. (1998). New trends in hydrological safety. En: L. Berga (ed.), *Dam Safety*, Balkema, Rotterdam, 1099-1106.
- Comisión de Normas para Grandes Presas (1962). Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas. Orden Ministerial de 21 de agosto.
- Comisión Permanente de Normas de Grandes Presas (1967). Instrucción de Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas. Orden Ministerial de 31 de marzo.
- Comité Español de Grandes Presas (1997). Guías Técnicas de seguridad de Presas y Embalses. Guía No. 4. Avenida de Proyecto, 107 pp.
- Francés, F. (1998). Utilización de la función de distribución de probabilidad TCEV con información no sistemática dentro de un análisis regional. Aplicación a los ríos Júcar y Turia. *Ingeniería del agua*, 5 (1), 47-58.
- Francés, F.; Salas, J.D. & Boes, D.C. (1994): Flood frequency analysis with systematic, historical and paleoflood data based on the GEV model. *Water Resources Research*, 30 (6), 1653-1664.
- Francés, F. (2004). Flood frequency análisis using systematic and non-systematic information. En: G. Benito & V.R. Thorndycraft (eds.), *Systematic, paleoflood and historical data for the improvement of flood risk estimation: Methodological guidelines*, CSIC-Centro de Ciencias Medioambientales, Madrid, 55-70.
- Hydrologic Engineering Center (1995). HEC-RAS, River Analysis System, Hydraulics Reference Manual, (CPD-69). pag. var.
- Kochel, R.C. & Ritter, D.F. (1987): Implications of flume experiments on the interpretation of slackwater paleoflood sediments. En: V.J. Singh (ed.), *Regional flood frequency analysis*, D. Reidel, Boston, 365-384.
- Levish, D.R.; Ostenaar, D.A. & O'Connell, R.H. (1996). Paleohydrologic bounds and the frequency of extreme floods on the Santa Ynez river, California. 1996 California Weather Symposium, A Prehistoric look at California Rainfall and Floods, 1-19.
- MJI (1995). Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones. Resol. 31 enero, BOE, 38.
- MOPTMA (1996). Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses. Orden de 12 de marzo, B.O.E., 78.
- O'Connor, J.E. & Webb, R.H. (1988). Hydraulic modeling for paleoflood analysis. En: V.R. Baker, R.C. Kochel & P.C. Patton (eds.), *Flood Geomorphology*. John Wiley & Sons, United States, 393-402.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM) (1990). Manual para la estimación de la precipitación máxima probable. Instituto Nacional de Meteorología de España. pag. var.
- Penas, J.; Berga, L. & de Andrés, M. (1997). Clasificación de presas en función del riesgo potencial. Guía Técnica. Serie Monografías, Ministerio de Medio Ambiente, 55 pp.
- Rico, M.; Benito, G. and Barnolas, A. (2001). Combined palaeoflood and rainfall-runoff assessment of mountain floods (Spanish Pyrenees). *Journal of Hydrology*, 245. 59-72.



- Stedinger, J. & Cohn, T.A. (1986). Flood frequency analysis with historical and paleoflood information. *Water Resources Research*, 22. 785-793.
- Stedinger, J.; Therivel, R. & Baker, V.R. (1988). Flood frequency analysis with historical and paleoflood information, Salt and Verde Rivers, Arizona. En: *Proceedings of the Eighth Annual Meeting of the U.S. Committee on Large Dams, Salt River Project, Phoenix, Arizona*, 3.1-3.35.

