

# Contribuciones Recientes sobre Geomorfología

VIII Reunión Nacional de Geomorfología (Vol. I)



*Editado por:*

G. Benito & A. Díez Herrero



Sociedad Española  
de Geomorfología

# CARTOGRAFÍA DE ÁREAS INUNDABLES: COMPARACIÓN ENTRE MAPAS DE PELIGRO Y MAPAS DE INUNDACIONES CONCRETAS

A.M. Camarasa<sup>1</sup> y A. Bescós<sup>2</sup>

- (1) Departamento de Geografía. Facultad de Geografía i Historia. Universitat de València. Avda. Blasco Ibáñez, 28. 46010 Valencia. E-mail: ana.camarasa@uv.es  
(2) Gestión Ambiental Viveros y Repoblaciones de Navarra. Padre Adoain, 219 bajo. 31015 Pamplona. E-mail: amaia.bescos@gavrn.com

**RESUMEN:** Este trabajo compara el ajuste, en el llano de inundación del río Arga (Navarra), entre las zonas inundables delimitadas, por una cartografía de peligro (a partir del modelo hidráulico HEC-RAS) y las áreas realmente inundadas en tres crecidas concretas, delimitadas mediante fotografía aérea y trabajo de campo.

La comparación pone de manifiesto el gran potencial del modelo para delimitar estas zonas en aquellos sectores donde el llano transcurre confinado y en los sucesos de menor magnitud, donde se infravalora la zona expuesta y los errores quedan del lado de la seguridad. En la crecida de mayor caudal y en los ensanchamientos de llano, el modelo pierde capacidad predictiva, en gran medida como consecuencia de que la definición topográfica del llano (a escala 1:5.000) resultó excesivamente grosera.

**Palabras clave:** mapa peligro, inundación, riesgo, desbordamientos, crecida.

**Flood cartography: comparison of risk maps and flooded areas in extreme events**

**ABSTRACT:** *This paper compares the risk map elaborated for the floodplain of River Arga (Navarra, Spain) with the actual flooded maps delineated after three extreme events. The risk maps were elaborated using the HEC-RAS model, and the actual flooded maps were obtained from the photointerpretation of aerial photographs and field work. Results show that the model is quite strong for the events of low discharge and, also, to identify flooded areas in the narrow sectors of the floodplain. The highest errors were found in the wider sectors of the floodplain due to the small scale (1:5000) of the topographic models available for the study.*

**Key words:** *risk map, flood, overflow, floodplain.*

## 1. INTRODUCCIÓN: CARTOGRAFÍA DE ZONAS INUNDABLES

La cartografía de áreas inundables contempla tres grupos de mapas: los mapas de zonas inundadas en un suceso concreto, los de peligro de inundación y los de riesgo de inundación.

G. Benito & A. Díez Herrero (eds.) (2004). *Riesgos naturales y antrópicos en Geomorfología*. (Actas de la VIII Reunión Nacional de Geomorfología, Toledo, 22-25 de septiembre de 2004). SEG y CSIC, Madrid, 543 págs.

Los mapas de una inundación delimitan la zona afectada por un suceso determinado. Deberían trazarse inmediatamente después de transcurrido el mismo, con objeto de poder rastrear las marcas de crecida y evaluar, lo más fidedignamente posible, la altura alcanzada por el agua. Además, la memoria colectiva de las poblaciones afectadas se encuentra fresca y puede aportar información muy valiosa (Dunne y Leopold, 1978). Otra técnica útil resulta de la interpretación de fotografías aéreas tomadas en el momento álgido de la avenida, como la inundación del Júcar de 1982 (La Roca y Carmona, 1983). En los últimos años la teledetección espacial se ha demostrado, donde la escala lo permite, un método óptimo para analizar el seguimiento del fenómeno, como por ejemplo las inundaciones de los ríos Assiniboine (Canadá), en abril de 1995; Limpopo (Mozambique) año 2000; Lena (Rusia) en mayo de 2001; Mekong (Camboya), en septiembre del 2001, etc. El seguimiento espacial presenta, no obstante, dificultades derivadas de que los sensores ópticos sólo pueden adquirir datos cuando la cobertura de nubes es baja, lo que no es frecuente en el caso de las inundaciones. Este problema se solventa mediante la utilización de sensores microondas (Camarasa *et al.*, 2001.)

A pesar de que el análisis de casos puntuales puede aportar mucha información acerca de los procesos de crecidas (Camarasa, 1995), la delimitación de zonas inundables de cara a la planificación requiere de un mayor número de fenómenos. Los estudios de eventos concretos pueden resultar excesivamente puntuales y no aseguran la robustez estadística que necesita el planificador, para la asignación de usos del suelo, o el ingeniero, para la construcción de obras de protección, de acuerdo con la normativa vigente. Surgen así los mapas de peligro que incluyen parámetros estadísticos sobre la probabilidad de ocurrencia de un determinado caudal (períodos de retorno).

Por último encontramos la cartografía de riesgo, de concepción más amplia y completa, que tiene en cuenta, no sólo el peligro natural, sino la vulnerabilidad de la población y su grado de exposición (Pita *et al.*, 1999). En algunos casos esta cartografía incluye incluso la dimensión temporal, como el estudio de Zavala (2002) sobre la vulnerabilidad sísmica de la ciudad de Arica (Chile), donde se incluyen mapas de localización de la población expuesta, distinguiendo entre días laborables y festivos y por franja horaria.

La cartografía de riesgo de inundación constituye uno de los instrumentos básicos para el conocimiento y gestión de las avenidas fluviales. No sólo ofrece una delimitación de las zonas inundables de una cuenca y su nivel de peligro, sino que pone de manifiesto el grado de vulnerabilidad de las sociedades expuestas. Sintetiza, por tanto, un conjunto de conocimientos hidrológicos, geomorfológicos, hidráulicos y socio-económicos (Mateu, 1989; Rosselló 1989).

Según el Libro Blanco del Agua (1998) la cartografía de zonas inundables de primer orden debería realizarse a escala 1:5.000 y seguir las pautas que a continuación se detallan. En primer lugar debería incluir un *análisis hidrogeomorfológico* previo para la caracterización cualitativa del área conflictiva; un *estudio hidrológico* para la determinación de períodos de retorno para caudales de diferente magnitud; un *estudio hidráulico* para el cálculo de calados de anegamiento y un *análisis económico* para estimar las pérdidas asociadas. Debería contar además con información del nivel de agua alcanzado en la zona inundada (por encima de los 0,8 m los daños se consideran muy graves); la velocidad de la corriente (superior a  $1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  conlleva alto riesgo); la duración del anegamiento y el tiempo de respuesta de la cuenca. Asimismo, debería incorporar un inventario geo-referenciado de puntos singulares, como equipamientos e infraestructuras, especificando su vida útil remanente y una evaluación sistemática del comportamiento de las obras de desagüe, badenes y tramos inundables.

Lamentablemente este procedimiento propuesto por el Libro Blanco del Agua presenta aún un escaso desarrollo en España y, hoy por hoy, tan sólo la Comunidad Valenciana y el País Vasco disponen de una cartografía de riesgo más o menos estandarizada (Francés *et al.*, 2000).

Sí que resulta, sin embargo, cada vez más común, distinguir, dentro de la amplia noción de *riesgo*, entre el factor de *peligro* o *peligrosidad*, que hace referencia al evento físico y a la probabilidad de alcanzar valores extremos, y el de *vulnerabilidad*, en relación al grado de adaptación de las sociedades susceptibles de ser afectadas. En este sentido cabe destacar la considerable producción de cartografía de peligro (Díez y Pujadas, 2002) que, aunque de carácter puntual y variada metodología, reconoce las zonas inundables para episodios concretos (Ribera del Júcar en 1982 –La Roca y Carmona, 1983–, Biescas en 1995 –García Ruiz *et al.*, 1996–, Bilbao en 1983) o para cuencas problemáticas (Río Júcar –Mateu y Carmona, 1991–; Río Turia –Carmona, 1990–, Río Ebro –Ollero, 1996–; Río Palancia –Segura, 1991; Francés, 1994–; Ramblas de Carraixet y Poyo –Camarasa, 1995–, etc.).

El grado de peligro puede ser caracterizado según los parámetros de magnitud y frecuencia que, conjuntamente, son los que resaltan el carácter extremo y azaroso del evento. De hecho, la mayor parte de las denominadas cartografías de riesgo, deberían denominarse cartografías de peligro, determinando éste en función de su magnitud y probabilidad de ocurrencia (Camarasa *et al.*, 2001).

Una vez delimitada la zona de peligro, que establece zonas inundables para un determinado período de retorno, la inminente cuestión que se plantea es ¿qué grado de fiabilidad tiene? y, en consecuencia, ¿hasta que punto debe determinar la planificación de usos del suelo y gestión territorial?. En este sentido, no se debe pasar por alto que el alarmismo no deja de tener efectos perversos a medio-largo plazo. Una delimitación del riesgo exagerada y poco eficaz puede conllevar lo que Calvo García-Tornell (2001) denomina como “síndrome del aullido del lobo”, ocasionado por repetidas alarmas sin inundación. En otras palabras, una cartografía de peligro poco realista o a una escala poco apropiada puede provocar un efecto contrario al pretendido y en lugar de funcionar como garantía de seguridad puede provocar la desconfianza y el desuso de la misma.

El presente trabajo constituye un análisis comparativo en el río Arga (Navarra) entre la cartografía de peligro de inundación para diferentes períodos de retorno y las áreas realmente anegadas durante tres crecidas ocurridas en diciembre de 1993 (días 25 a 27), diciembre de 1996 (días 5 y 6) y enero de 1997 (días 21 y 22). Pretendemos, con ello, identificar las zonas y el grado de coincidencia entre ambas cartografías, con objeto de valorar la capacidad predictiva del mapa del peligro y su uso como herramienta de gestión del riesgo.

## 2. EL LLANO DE INUNDACIÓN DEL BAJO ARGA

Los espacios inundables son, por excelencia, las llanuras de inundación. Como su propio nombre indica son superficies, casi planas, adyacentes al canal, que el río ha construido (y que está continuamente remodelando) para que absorba el exceso de caudal y sedimentos en las crecidas. Son, por tanto, fajas de tierra sujetas a inundaciones periódicas y a una dinámica geomorfológica extraordinariamente activa (Rosselló, 1989).

El río Arga, afluente navarro del Ebro, ha formado una llanura de inundación de aproximadamente unos 100 km<sup>2</sup>, que se abre desde Puente la Reina hasta su confluencia con el río Aragón. Presenta una pendiente muy baja (0,11%) y un canal de marcada tendencia mean-

driforme. En los últimos 10 km, el río discurre por un cauce artificial y rectilíneo. A ambos lados del cauce, la vega ha sido ampliamente ocupada por regadíos y por la expansión de los pueblos ribereños, sobre todo de Falces, Peralta y Funes, hecho que ha incrementado el riesgo considerablemente en los últimos treinta años (Bescós y Camarasa, 1998).

Desde el punto de vista geomorfológico, la llanura del Arga presenta una tipología lisa o ligeramente cóncava formada, principalmente, por acreción lateral en régimen meandrizante. A un sustrato compuesto por *point bars* y depósitos de canal, le sigue un sobre-sustrato formado por depósitos más finos procedentes de los desbordamientos (Bescós, 2003).

En los últimos años el llano del Arga ha sufrido importantes transformaciones de carácter antrópico. Por lo que respecta al sistema de aprovechamiento, la vega se encuentra organizada en torno a tres unidades: los campos, las huertas y los sotos. Los primeros corresponden a campos de cultivo, de propiedad privada y alta productividad agrícola. Están dedicados, mayoritariamente a cultivos herbáceos en regadío. Los sotos son los espacios inmediatos a los cauces. Suelen ser de propiedad comunal y se dedican al pastoreo y producción de madera. Últimamente han sufrido un gran retroceso porque las tierras han sido acondicionadas para el cultivo intensivo mediante riego artificial. Por último están los pequeños huertos domésticos, habitualmente cercados con tapia y maleza, dedicados al autoconsumo de fruta y verduras. Una de las principales transformaciones agrícolas que ha sufrido el espacio de cultivo desde mediados del s. XX, ha sido la concentración parcelaria y ampliación del regadío (Floristán, 1995), que ha supuesto, además, cambios importantes en la topografía de la llanura, directamente relacionados con la dinámica de los flujos de inundación (Bescós, 2003).

Sin embargo, las intervenciones de mayor trascendencia se han derivado de las obras de encauzamiento, rectificación y corta de meandros que afectan al sector más meridional y que han dificultado la movilidad del canal y han reducido los aportes de sedimentos a la llanura, al menos en las crecidas de mayor frecuencia (Bescós, 2003).

### 3. ELABORACIÓN DEL MAPA GENERAL DE PELIGRO DE INUNDACIÓN

El mapa de peligro del bajo Arga delimita el área afectada por caudales de avenida, asociados a distintos períodos de retorno, mediante métodos estadísticos. Para ello se utilizaron las estaciones foronómicas de Echauri y Funes (Fig. 1), con series de caudales máximos instantáneos y medios diarios de 39 y 63 años completos, respectivamente. A los máximos anuales de ambas series se les aplicó dos leyes de frecuencia: la de Gumbel y la Valores Extremos Generalizados (G.E.V.). Finalmente se utilizó la ley G.E.V. porque mostró, para ambos casos, un mayor grado de ajuste con los datos reales y, sobre todo, con las crecidas de mayor magnitud (Bescós, 2003).

Una vez calculados los caudales máximos para cada período de retorno, se estimó, mediante el modelo hidráulico HEC-RAS, la lámina de agua en 157 secciones transversales, definidas en función de cambios significativos del cauce (bien por accidentes naturales, bien por estructuras artificiales: puentes, azudes, canalizaciones,...). Se cubren así 59,2 km de cauce, entre Puente la Reina y Funes (incluyendo 8 presas y 9 puentes). Los datos geométricos de los perfiles para el lecho menor proceden de un levantamiento topográfico realizado por la Dirección General de Medio Ambiente en el año 2001. La prolongación para el resto de llano se ha realizado a partir de la cartografía 1:5.000 del Gobierno de Navarra, con una equidistancia entre curvas de 5 m (Bescós, 2003).



notables entre la superficie inundada, por ejemplo, entre las crecidas de  $T=10$  ( $Q=927 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) y  $T=25$  ( $Q=1209 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), al norte de Miranda de Arga; entre las de  $T=25$  y  $T=50$  ( $Q=1421 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) aguas debajo de la presa del Arquillo o en las proximidades de la confluencia con el río Aragón.

Por lo que respecta a la crecida de 500 años ( $Q=2508 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), gran referente del diseño hidráulico, únicamente apuntar que afectaría prácticamente a la totalidad del llano de inundación.

#### 4. LOS MAPAS DE INUNDACIONES CONCRETAS DICIEMBRE DE 1993, DICIEMBRE DE 1996 Y ENERO DE 1997

Una buena cartografía de inundación de casos concretos depende, entre otras cosas, de la disponibilidad de fuentes adecuadas (foto aérea, imagen de satélite, trabajo de campo, etc.) que permitan delimitar las zonas afectadas en el momento álgido de la crecida. La elección de los episodios de estudio está muy condicionada, por tanto, por la información de partida. En el presente trabajo se seleccionaron los episodios de crecida de diciembre de 1993, diciembre de 1996 y enero de 1997, porque se contaba con información suficiente de las áreas inundadas y porque son sucesos relativamente recientes, posteriores a las obras de intervención del cauce (canalización, corta de meandros y defensa de márgenes), que representan los patrones actuales de inundación del río.

El episodio de diciembre de 1993 es el más importante de los tres. Se desarrolló entre los días 25, 26 y 27, alcanzando un caudal punta de  $1118 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  en Echáuri, el día 26, y un volumen de escorrentía directa de  $116,51 \text{ hm}^3$ . En Funes se registraron  $906 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , el día 27, y un volumen de crecida de  $139,96 \text{ hm}^3$ . En el llano, la superficie inundada fue de  $2380 \text{ ha}$ , y afectó, sobre todo, a los regadíos de Mendigorria, Berbizana, Miranda de Arga, Falces, Peralta y Funes.

El episodio de diciembre de 1996 (días 6 y 7) fue el más moderado de los tres. Tuvo lugar como consecuencia de un temporal de agua y nieve que, en Echáuri, dio lugar a una crecida de  $683 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  de caudal punta y  $33,23 \text{ hm}^3$  de volumen de escorrentía directa. En Funes el máximo de caudal fue de  $588 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  y el volumen de  $36,13 \text{ hm}^3$ . Las inundaciones más notables se produjeron durante el día 6 en los municipios de Berbizana y Miranda de Arga. La superficie total afectada se estima en unas  $291 \text{ ha}$ .

Por último, la crecida de enero de 1997 (días 21 y 22) presenta una magnitud intermedia. En Echáuri circularon  $39,81 \text{ hm}^3$  de escorrentía directa, con un caudal punta de  $932 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  y en Funes el volumen fue de  $52,45 \text{ hm}^3$ , con un máximo de  $758,2 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . La superficie afectada fue de unas  $750 \text{ ha}$ .

La cartografía de la zona inundada por estos episodios se realizó a partir de informes, documentos fotográficos de la inundación, a escala aproximada 1:10.000 (amablemente cedidas por el Gobierno de Navarra) y a partir del trabajo de campo (Bescós, 2003).

#### 5. CARTOGRAFÍA DE PELIGRO VERSUS MAPAS DE SUCESOS CONCRETOS

Según las leyes de frecuencia utilizadas (Gumbel y G.E.V.), las inundaciones de diciembre de 1993, diciembre de 1996 y enero de 1997, presentarían un período de recurrencia aproximado de 10, 2 y 5 años respectivamente y el área de peligro potencial se podría seguir en el mapa de la figura 2.

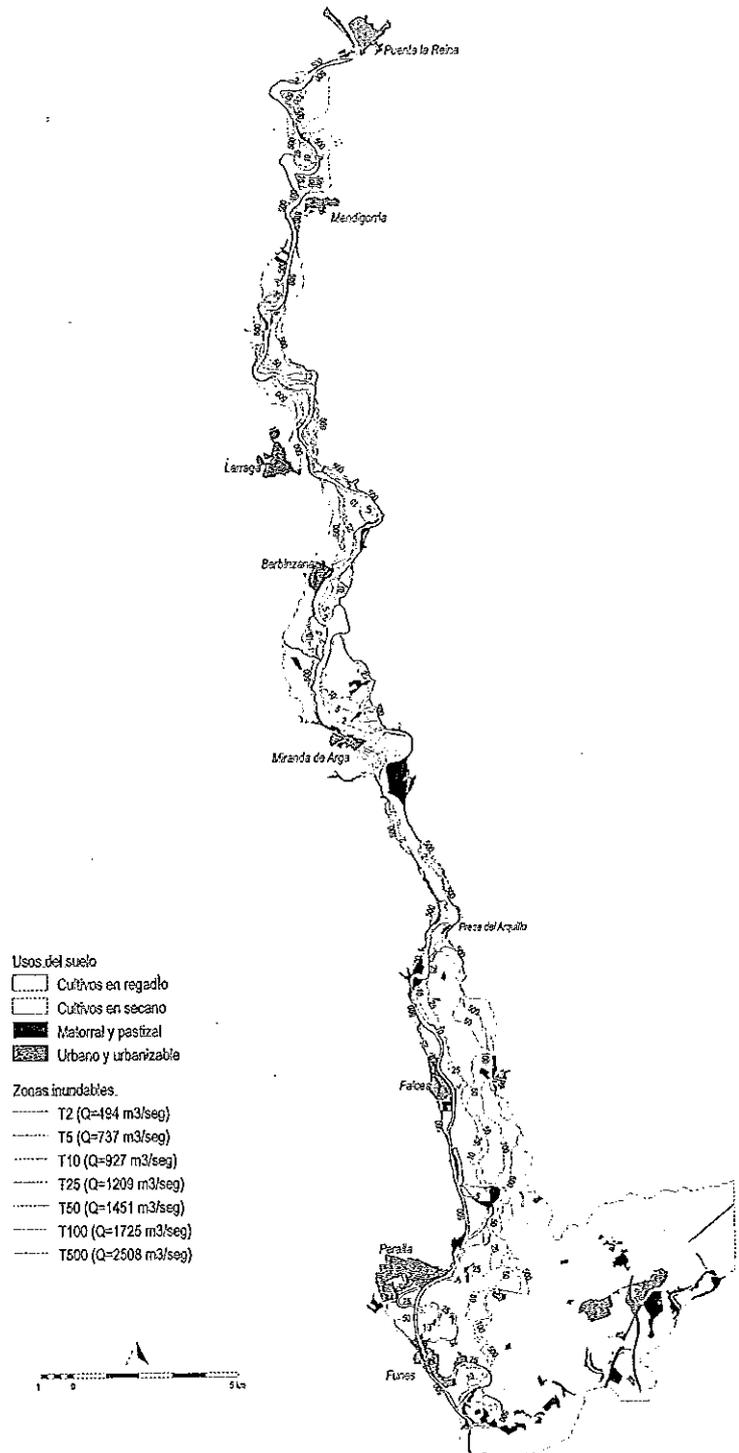


Figura 2. Mapa de peligro de inundación del llano del Arga, para diferentes períodos de retorno.

Sin embargo, con objeto de que la comparación sea lo más fidedigna posible, se ha elaborado un mapa de peligro para cada suceso, siguiendo la metodología del apartado 3, pero partiendo de los caudales máximos realmente registrados, en lugar de los probables.

La figura 3 muestra la comparación entre la cartografía de peligro y la de inundación para cada suceso. Las mayores coincidencias, en cifras absolutas de superficie total anegada, se dan en el suceso más importante, el de diciembre de 1993, mientras el de diciembre 1996 está claramente sobreestimado y en el de enero de 1997, el grado de ajuste está en una situación intermedia, aunque, como en el caso anterior, con una clara tendencia a sobrevalorar el área inundada.

Un análisis más detallado permite detectar los mejores ajustes en los sectores de estrechamiento, donde el llano discurre confinado entre los relieves circundantes y con una topografía bien definida. Así, por ejemplo, destacan los sectores entre Puente la Reina y el Rincón de Aizpea, o desde el puente de Muruzabal de Andion hasta la presa de Serna.

Las superficies inundables más sobreestimadas por el mapa de peligro en las crecidas de menor magnitud (1996 y 1997) atañen al tramo de Cuarto Soto, Sotoaldea y bajo Campo, así como al área entre el puente de Larraga y Miranda de Arga.

Caso especial lo constituye el sector canalizado, desde Soto de Coballeta hasta la desembocadura. En estos tramos es curioso observar cómo, para las crecidas de menor magnitud (1996 y 1997), el mapa de peligro predice con bastante acierto la zona inundable. Sin embargo, en el suceso de 1993, el área realmente afectada difiere bastante de la marcada por el modelo, superando los límites previstos en zonas como La Rinconada, Soto de Churri o Soto de Abajo. La tendencia cambia y no sólo pasa de estar supervalorada (por consiguiente, del lado de la seguridad) a estar infravalorada (del lado de la inseguridad), sino que, además, presenta un patrón espacial diferente.

En definitiva, donde los tramos están bien definidos topográficamente, la delimitación obtenida por ambos métodos es muy similar para las tres crecidas. Las mayores diferencias las encontramos cuando el llano se amplía y la resolución del TIN, generado a partir de una cartografía de 1:5.000, no es suficiente. En estos casos la simulación tiende a extender, y por lo tanto a sobrevalorar, el peligro por las zonas llanas, hasta que encuentra una curva de nivel o una cota que le sirva de referencia, como por ejemplo ocurre en el Rincón de Aizpea, el sector de Nazarabía, o los meandros de Serna, Recueja y el Sotillo.

## 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el llano de inundación del Arga, se podría establecer un umbral —entorno a la crecida con un período de retorno de 10 años—, a partir del cual el mapa teórico de peligro pierde potencial predictivo, y se queda del lado de la inseguridad. Por debajo de ese umbral, para las crecidas de menor magnitud, la superficie inundable suele estar sobreestimada y las zonas realmente afectadas quedan, por tanto, dentro de los márgenes previstos. Se trata de una cartografía de peligro de seguridad.

Se conseguiría un mayor grado de ajuste entre el mapa de peligro y el de inundación, mejorando el primero, mediante la utilización de una cartografía topográfica de detalle, a escala 1:2.000 y con información cada 0,5 m. Deberían incluirse, además, los datos de aquellas infraestructuras de origen antrópico que suponen cambios en la topografía de la llanura, para trabajar con lo que Lewin y Manton (1975) han denominado *geometría efectiva*.

Llegados a este punto, señalar la importancia de incluir, dentro de la cartografía de peligro,

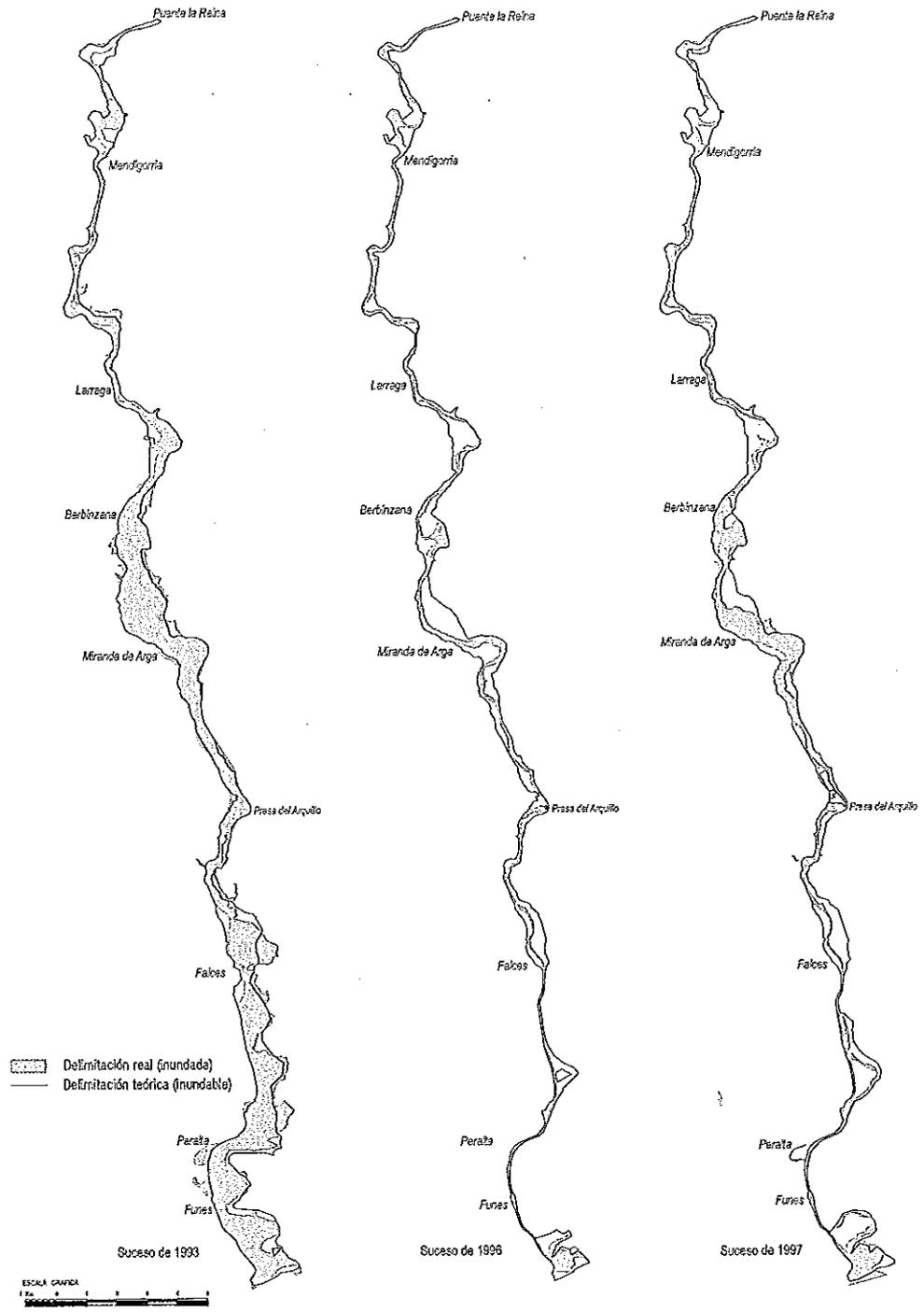


Figura 3. Comparación entre la cartografía de peligro y la de inundación para cada suceso.

aspectos de dinámica fluvial en el llano de inundación. Tal y como están siendo elaborados los mapas de peligro en la actualidad, constituyen un instrumento bastante estático, que considera que los distintos episodios de inundación siguen un patrón similar y lo único que varía, en función de su magnitud, es la superficie del área inundada. Esto no es así, tal y como se ha demostrado en numerosas ocasiones. Los fenómenos de crecida son muy dinámicos y determinan la evolución geomorfológica del sistema fluvial, en general, y del llano de inundación, en particular. Erosión y sedimentación son los principales procesos con los que el sistema intenta restablecer su equilibrio, adaptándose a las condiciones de energía de cada episodio. La configuración y la dinámica del espacio inundable puede variar, por tanto, de un suceso a otro. El riesgo asociado a la inundación también. En este sentido, el estudio de la evolución geomorfológica de los espacios inundables puede aportar importantes indicios que ayuden a prever posibles cambios en la zona potencialmente afectada por futuros sucesos. A todo ello hay que añadir las modificaciones que suponen las medidas correctoras de origen antrópico que, en un intento de minimizar el riesgo, pueden suponer un importante factor inductor del mismo, por fallos en las estructuras de defensa.

Por último, una gran interrogación quedaría planteada en relación a la magnitud del suceso. Puesto que el trabajo sólo atañe a crecidas de baja magnitud (hasta  $T=10$ ) ¿qué fiabilidad cabría esperar de la cartografía de peligro para episodios de gran magnitud ( $T=100$  ó  $T=500$ ), en los que la naturaleza de los procesos se vuelve mucho más compleja e imprevisible?. Esta cuestión no discute el valor de los mapas de peligro como herramienta de planificación territorial y gestión del riesgo. Únicamente pretende abrir un debate dirigido a contrastar la calidad de esta cartografía, con objeto de afianzar su uso más allá del mero documento de consulta. En este sentido, no queda sino insistir en la importancia de trabajar con una cartografía de base a escala muy detallada, así como de incluir los procesos hidrogeomorfológicos de la llanura que puedan inducir a cambios importantes en los patrones de inundación.

## 7. CONCLUSIONES

El método utilizado para la elaboración de la cartografía de peligro, basado en la modelización hidráulica con HEC-RAS, se ha demostrado útil. Presenta mapas de zonas potencialmente inundables similares a las áreas inundadas en sucesos reales.

Los principales desajustes derivan de la falta de precisión en la topografía de base. Si bien las secciones del cauce están muy bien detalladas, en el caso del llano, se trabajó a escala 1:5.000 y con curvas de nivel cada 5 m. Esta información resulta demasiado grosera y, en algunos puntos, ha conducido a la sobreestimación de la zona inundable. Consideramos que los resultados mejorarían mucho si se partiera de una cartografía de base a escala 1:2.000, con datos cada 0,5 m.

A medida que crece la magnitud de la crecida, las zonas afectadas cubren una superficie mayor y su imprevisibilidad aumenta. Los errores en los mapas de peligro de las crecidas de menor magnitud ( $T=2$  y  $T=5$ ) han quedado del lado de la seguridad ya que sobrestiman la superficie afectada. Ya la crecida de 1993 ( $T=10$ ) presenta importantes desajustes, del lado de la inseguridad, entre las zonas de peligro potencial y las realmente inundadas, derivados de la falta de detalle en la cartografía de base.

Por último añadir que para que la cartografía de peligro sea realmente eficaz, debería incluir la dinámica geomorfológica del llano, tanto en lo referente a posibles cambios en la geometría del llano, como a sus consecuencias a nivel hidrológico.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto REN2003-07171.

Queremos dejar constancia de nuestro agradecimiento al Gobierno de Navarra por la valiosa información que nos ha aportado para la ejecución de este trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bescós, A. (2003). Las inundaciones en el Río Arga. Estudio Hidrogeomorfológico. Universidad de Alcalá, Tesis doctoral (inédita), 407 pp.
- Bescós, A. & Camarasa, A.M. (1998). Cartografía de riesgos de inundación mediante sistemas de información geográfica. Una aplicación al llano de inundación del Río Arga (Navarra). En: A. Gómez, F. Salvador, L. Schulte & A. García (eds.), Investigaciones recientes de la Geomorfología española, SEG y Publ. Univ. Barcelona, Barcelona, 703-706.
- Calvo García-Tornel, F. (2001). Sociedades y territorios en riesgo. Colección la Estrella Polar -31. Ediciones Serbal, Barcelona, 186 pp.
- Camarasa, A. M. (1995). Génesis de crecidas en pequeñas cuencas semiáridas: Barranc del Carraixet y Rambla de Poyo. MOPT-Confederación Hidrográfica del Júcar, 252 pp.
- Camarasa, A.M.; Chuvieco, E. & Salas, J. (2001). Información geográfica y riesgos naturales. El campo de las ciencias y las artes, Madrid, 138, 103-136.
- Carmona, P. (1990). La formació de la Plana Al.luvial de València. Geomorfologia, hidrologia i geoarqueologia de l'espai litoral del Turia. Edicions Alfons el Magnànim, IVEI, 5, 175 pp.
- Díez Herrero, A. & Pujadas, J. (2002). Mapas de riesgos de inundaciones. En: F. Ayala-Carcedo & J. Olcina (coord.), Riesgos Naturales, Ed. Ariel, 997-1012.
- Dunne, T. & Leopold, L.B. (1978). Water in environmental planning. S. Francisco. Freeman and Company, 818 pp.
- Floristán, A. (1995). Geografía de Navarra. C.A.N. y Diario de Navarra, Vol. 5, 320 pp.
- Francés, F. (1994). Uso de los SIG en la generación de hidrogramas de avenida. En: Curso sobre utilización de los Sistemas de Información Geográfica en Hidrología, CEDEX, MOPTMA (sin paginar).
- Francés, F.; Marco, J. & Llorens, V. (2000). Un ejemplo de análisis regional del riesgo de inundación en el marco de la planificación territorial. Serie Geográfica, 9, 237-248.
- García-Rufz, J.M.; White, S.M.; Martí, C.; Valero, B.; Errea, M.P. & Gómez, A. (1996). La Catástrofe del Barranco de Aras (Biescas, Pirineo Aragonés) y su Contexto Espacio-Temporal, Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC, Zaragoza, 54 pp.
- La Roca, N. & Carmona, P. (1983). Fotointerpretación de la Ribera del Xúquer después de la inundación de octubre de 1982. Cuadernos de Geografía, 32-33, 121-136.
- Lewin, J. & Manton, M. (1975). Welsh floodplain studies: the nature of floodplain geometry, Journal of Hydrology, 25, 37-50.
- Mateu, J.F. (1989). Crecidas e inundaciones. En: Guía de la Naturaleza de la Comunidad Valenciana, Edicions Alfons el Magnànim, Diputació Provincial de València, Generalitat Valenciana, 565-608.
- Mateu, J.F. & Carmona, P. (1991). Riesgos de Inundación en las Riberas del Túria y Xúquer. En: XII Congreso Nacional de Geografía. Sociedad y Territorio, Valencia, 237-256.
- Ministerio de Medio Ambiente (1998). Libro Blanco del Agua en España. Servicio de Publicaciones del Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 855 pp.

- Ollero, A. (1996). *El Curso Medio del Ebro*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Zaragoza, 311 pp.
- Pita, M.F.; Caravaca, I.; Fera, F.M.; Tarin, A. & Vallejo, I. (1999). *Riesgos Catastróficos y Ordenación del Territorio en Andalucía*, Consejería de Obras Públicas y Transportes, Sevilla, 225 pp.
- Roselló, V. (1989). Los llanos de inundación. En: A. Gil Olcina y A. Morales (eds.), *Avenidas e inundaciones en el Mediterráneo*, Universidad de Alicante, C.A.M., Alicante, 243-285.
- Segura, F. (1991). Geomorfología Fluvial y Trazado de Mapas de Riesgo de Inundación: el Cono Aluvial del Palencia. En: XII Congreso Nacional de Geografía. Sociedad y Territorio, Valencia, 221-227.
- Zavala, P. (2002). *Análisis espacial de la vulnerabilidad sísmica aplicando S.I.G. y teledetección: el caso de la ciudad de Arica*. Tesis doctoral inédita. Universidad de Alcalá de Henares, 284 pp.