

UN PLAN GLOBAL DE ACTUACIONES FRENTE A INUNDACIONES EN LA COMARCA DE BENAVENTE (ZAMORA)

José M^a González Ortega.

Ingeniero Agrónomo.

Director de proyecto del Area de Ingeniería Civil de Tragsatec.

Eduardo Martínez Marín.

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Profesor titular de Hidráulica Fluvial de la E.T.S.I.C.C.y P. de Madrid.

RESUMEN

Las periódicas y cada vez más frecuentes inundaciones (las más recientes en 1989 y 1996) que históricamente viene padeciendo la Comarca de Benavente como consecuencia de las crecidas de los ríos que la atraviesan, dieron lugar a la redacción de un plan global de actuaciones para evitar o disminuir los efectos de las mismas. Factores tales como la confluencia en el área de cinco importantes ríos, una topografía extremadamente llana o la escasa o nula regulación de alguna de sus cuencas, favorecen enormemente la presencia de inundaciones que provocan cuantiosos daños y a veces serio peligro para los habitantes de la zona.

El proyecto que se describe en este artículo crea un marco de soluciones globales ("soluciones blandas"), dentro de las cuáles han quedado integradas y coordinadas una serie de actuaciones puntuales diseñadas y ejecutadas durante la realización del plan, todo ello realizado sobre la base de conocimientos topográficos, geológicos, hidrológicos, hidráulicos y medioambientales de la zona. La potencia y flexibilidad del soporte informático existente hoy en día ha permitido una gran integración y facilidad de manejo de los datos, a la vez que una simulación y análisis de las distintas alternativas de solución.

ABSTRACT

The region of Benavente, crossed by several rivers, suffers periodic floods; the most recent were those of 1989 and 1996. The growing frequency of these floods made it necessary to draw up a global plan to reduce the risks of overflow from the rivers. The confluence of five large rivers, a very flat topography, and the lack of management of the drainage area provoke these overflows that cause considerable damage and even victims.

The project outlined in this article is a general mould within which a series of tasks have been carried out, based on topographical, geological, hydrological, hydraulic and environmental data of the zone, all coordinated in a computer network. This support has also allowed a simulation and analysis of possible solutions.

comentarios a este artículo, que deberán ser remitidos a la Redacción de la ROP antes del 30 de junio de 1998.

Recibido en ROP:
abril de 1997

mes de Diciembre de 1995, contemplaban los siguientes objetivos básicos:

A) Analizar los efectos que producen las inundaciones en el ámbito objeto de estudio: 150.000 Has y 250 Kms de cauces.

B) Cuantificar el alcance de éstas, tanto desde el punto de vista territorial cómo de los daños que producen.

C) Plantear las soluciones óptimas para resolver o minimizar estos efectos atendiendo a su rentabilidad en los órdenes social y económico, considerando tanto las medidas estructurales (actuaciones en cauces y cuencas) cómo las no estructurales (actuaciones de gestión y ordenación del territorio).

D) Proyectar aquellas soluciones cuyas características (obras de corrección simples y rápidas) permitan su inclusión en el Programa de Actuaciones Urgentes, contemplando el resto en fases posteriores.

E) Realizar estudios de viabilidad o anteproyectos que sirvan de base para acometer obras, proyectos de detalle o puesta en marcha de las medidas no estructurales contempladas en el plan.

3. SITUACIÓN Y PROBLEMÁTICA GENERAL DE LA ZONA

La zona objeto del estudio de referencia, denominada comarca de Benavente - Los Valles, tiene una extensión aproximada de 150.000 Has. Desde el punto de vista hidrológico-hidráulico esta presenta un panorama fluvial muy complejo, debido fundamentalmente a las siguientes razones:

- ▼ Confluencia en el área de cinco importantes ríos: Esla, Orbigo, Cea, Tera y Eria.
- ▼ Topografía extremadamente llana.
- ▼ Cauces fluviales muy próximos entre sí y con fuertes interconexiones
- ▼ Existencia de grandes cuencas con bajo grado de regulación (Ríos Esla y Orbigo) y de cuencas de gran extensión

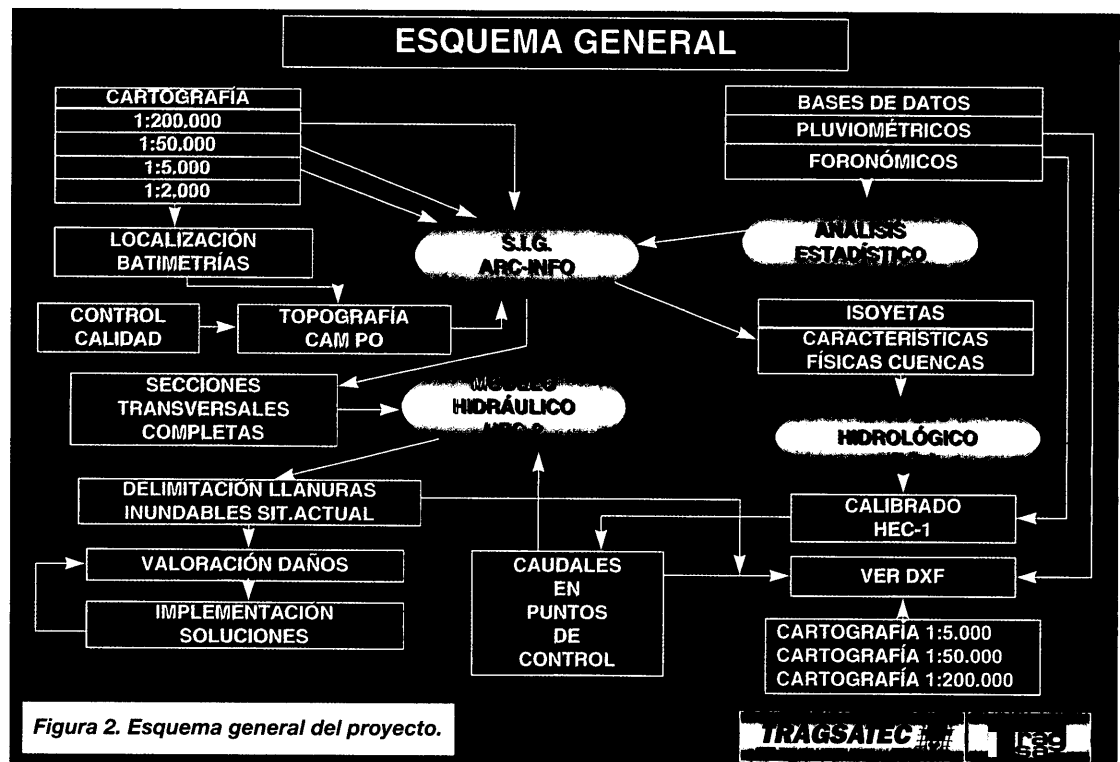


Figura 2. Esquema general del proyecto.

sin ningún grado de regulación (Ríos Eria y Castrón, arroyos Regato, Almucera y Ahogaborricos).

La combinación de todos los factores mencionados anteriormente provoca en la zona las siguientes consecuencias:

- ▼ Caudales circulantes muy altos
- ▼ Cauces difusos
- ▼ Presencia de inundaciones periódicas que provocan daños importantes.

4. METODOLOGÍA GENERAL DEL PROYECTO

La metodología general de elaboración del proyecto contempla varias etapas, algunas muy laboriosas, entre las cuáles se pueden destacar las siguientes:

- ▼ Elaboración de cartografía y topografía (vuelos E-1/20.000 y E-1/7500, restitución digital E-1/5000 y E-1/2000, batimetrías, etc.).
- ▼ Estudios geomorfológicos.
- ▼ Estudios medioambientales.
- ▼ Plan de actuaciones urgentes.
- ▼ Estudio hidrológico de la cuenca completa del río Esla (estudio pluviométrico, foronómico, modelización hidrológica)
- ▼ Estudio hidráulico (calados, velocidades, delimitación de zonas inundables)

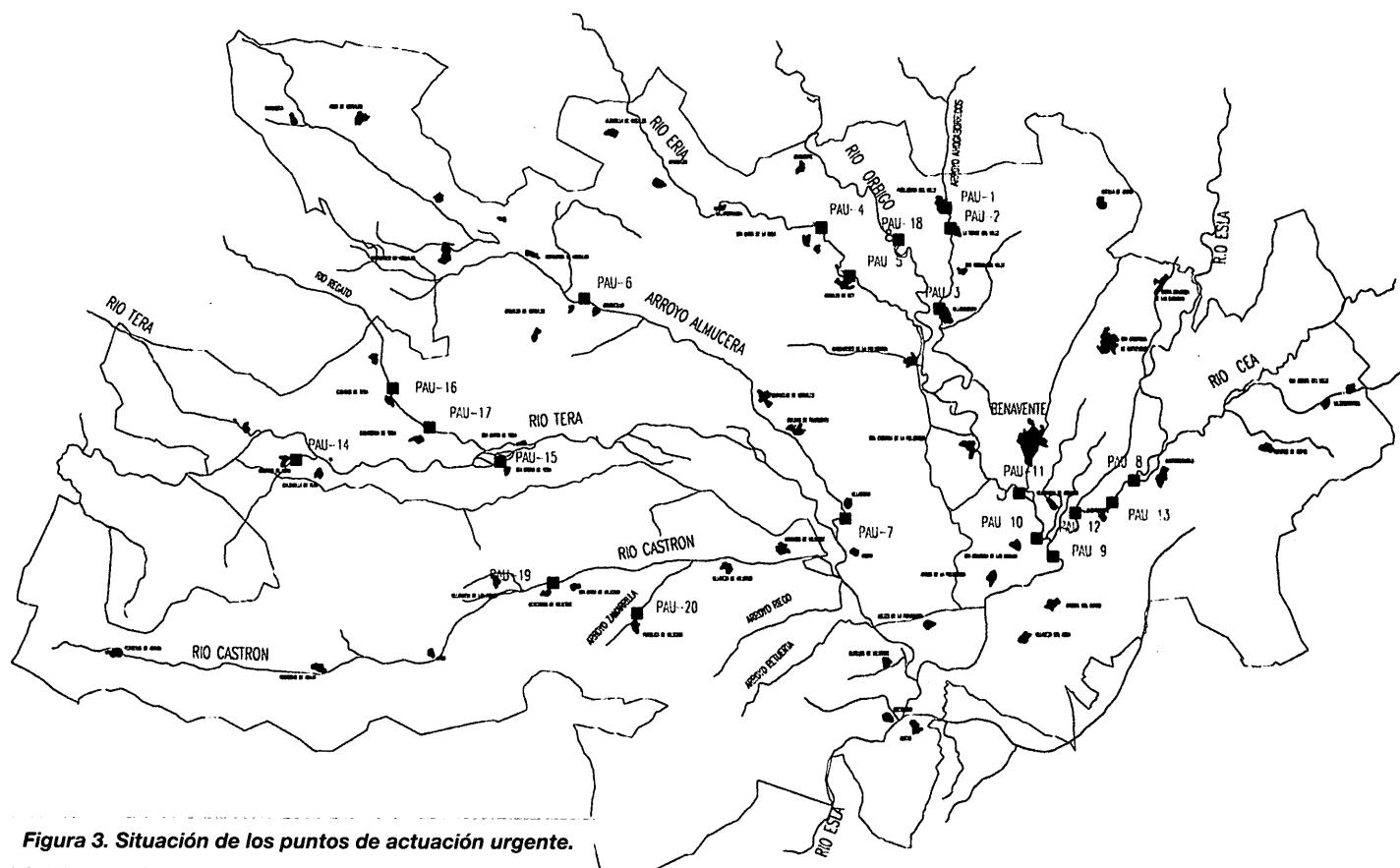


Figura 3. Situación de los puntos de actuación urgente.

- ▼ Estimación de daños (situación inicial, situación final con actuaciones)
- ▼ Estudio de soluciones (estructurales y no estructurales)
- ▼ Elaboración de directrices de apoyo para un plan de Protección Civil.
- ▼ Integración de toda la información en una aplicación informática diseñada a tal efecto.

El grado de integración entre las diversas tareas y el software utilizado se puede ver en el gráfico incluido en la figura 2.

4.1. REDACCIÓN DE UN PLAN DE ACTUACIONES URGENTES

Durante la primera fase de elaboración del proyecto se redactó el denominado Plan de Actuaciones Urgentes. Los objetivos fundamentales de dicho Plan eran los siguientes:

- ▼ Localización "in situ" de puntos o tramos de los cauces objeto de estudio, con problemas localizados de desbordamientos, erosiones, etc.
- ▼ Planteamiento de la ejecución de una serie de obras de corrección simples y rápidas, las cuales deberían ser compatibles con las actuaciones propuestas en la última etapa del estudio.

Para la elaboración del Plan se hacía necesario primeramente tener un pleno conocimiento de la problemática real de la zona afectada para lo cual se tuvo muy presente la opinión y experiencia de los habitantes de los más de 50 municipios afectados. De esta forma, y después de haber recorrido uno por uno la totalidad de los cauces objeto de estudio, se convocó e hizo entrega de un cuestionario a todos los responsables de los Ayuntamientos de los municipios incluidos en la zona de estudio. El análisis de éstos cuestionarios, una vez cumplimentados, junto con el conocimiento inicial de la zona aportado por las visitas previas realizadas y con la documentación referente a inundaciones históricas recopilada (fotografías, videos, etc.) permitió una primera selección de posibles puntos de actuación urgente. La realización de nuevas visitas de campo, acompañados esta vez por uno o varios representantes de cada municipio, permitió la selección definitiva de una veintena de puntos conflictivos, los cuales constituyeron el denominado Plan de Actuaciones Urgentes.

4.1.1. Tipología de los problemas detectados

Las tipologías más frecuentes de los problemas detectados fueron las siguientes:

- ▼ Zonas en los cauces y elementos hidráulicos en avanzado estado de erosión o deslizamiento (pilas, estribos de puentes, etc.).
- ▼ Desbordamientos en tramos localizados de cauces debido a la ausencia de protecciones, destrucción intencionada de las mismas o erosión.
- ▼ Desbordamientos en tramos de cauces debidos a curvas de remanso producidas principalmente por la existencia de obstáculos en los mismos (principalmente antiguos azudes en desuso).
- ▼ Disminución de la capacidad de desagüe de los cauces por la falta de limpieza periódica en los mismos, excesiva vegetación o invasión de éstos por la actividad humana.

4.1.2. Actuaciones urgentes seleccionadas y obras ejecutadas

El Plan de Actuaciones Urgentes redactado incluía 20 posibles actuaciones en cauce. Estas quedaron perfectamente explicadas y valoradas en el Plan, además de catalogadas mediante un grado de prioridad para su ejecución.

De las 20 actuaciones propuestas, 10 fueron seleccionadas para redactar inmediatamente los proyectos de detalle y poder acometer las obras. Estas obras fueron ejecutadas durante los años 1994-95 con una inversión total superior a los 250 millones de pts.

4.2. ESTUDIOS GEOMORFOLÓGICOS Y AMBIENTALES

Un estudio de la amplitud y envergadura del realizado en una zona tan amplia y de características tan peculiares, no se concibe sin tener muy presente tanto la variable geológica-geomorfológica como la variable medioambiental.

4.2.1. Estudios geomorfológicos

Los estudios geomorfológicos, una vez recopilada y analizada la documentación existente al respecto y fijado el marco geomorfológico actual, se basaron fundamentalmente en el análisis de las relaciones geomorfológicas entre los ríos y sus llanuras de inundación. Los principales estudios realizados a tal fin fueron los siguientes:

- ▼ Análisis de la red de drenaje actual
- ▼ Estudios geomorfológicos por tramos
- ▼ Identificación de zonas de erosión y transporte
- ▼ Análisis de la capacidad de transporte de los cauces
- ▼ Estimación de la influencia de la erosión, transporte y sedimentación en la problemática originada por las crecidas.

El conjunto de relaciones geomorfológicas entre los ríos y sus llanuras de inundación permitió, junto a consideraciones

de diferentes niveles de detalle, obtener útiles conclusiones y orientaciones a la hora de diseñar actuaciones de ingeniería relacionadas con la gestión de ríos.

4.2.2. Estudios ambientales

El amplio abanico de estudios ambientales realizados se planteó con el objetivo global de incorporar la variable ambiental a la planificación, diseño y ejecución de las actuaciones previstas en la red fluvial correspondiente a la zona de estudio. De este modo, se ha pretendido que la conservación y mejora del medio natural fuera una de las finalidades del proyecto, no sólo en lo referente a la corrección de impactos derivados de las obras, sino a través de iniciativas globales de mejora ambiental. Para hacer posible este objetivo, los estudios ambientales se elaboraron de forma simultánea a las soluciones técnicas, lo cual permitió tener en cuenta sus resultados como una variable más en la selección de alternativas y en el diseño definitivo de las actuaciones.

El planteamiento global expuesto se plasmó en una serie de objetivos concretos entre los que destacan los siguientes:

- ▼ Proporcionar una completa información acerca del medio natural en el territorio donde se inscriben las actuaciones previstas.
- ▼ Delimitar aquellas áreas especialmente vulnerables o de alto valor ecológico que pudieran verse afectadas por las actuaciones. (Zonas de especial interés)
- ▼ Proponer una serie de medidas concretas que prevengan o corrijan los impactos ambientales derivados de las actuaciones propuestas.
- ▼ Delimitar de la forma más concreta posible las especificaciones técnicas que deben aplicarse a la restauración de la cubierta vegetal, la cuál se considera el instrumento básico para la restauración ecológica y paisajística de los ámbitos ribereños.

4.3. ESTUDIOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS

La realización de un estudio hidrológico de una cuenca de la extensión y complejidad de la del Río Esla (cuenca aportante a la zona de estudio), requirió la elaboración de una serie de estudios parciales que, ordenados cronológicamente, fueron los siguientes:

- ▼ Estudio pluviométrico
- ▼ Estudio foronómico
- ▼ Estudio hidrológico de las cuencas de primer orden (isocronas, hidrograma unitario, HEC-1)
- ▼ Estudio hidrológico de las cuencas más complejas (aforos, HEC-1, estudios hidrológicos de embalses existentes)

larizado para dicha zona. El modelo permitió evaluar los daños en función de unas determinadas variables hidráulicas y unos grupos de bienes susceptibles de sufrir daños como consecuencia de una inundación. Las variables hidráulicas tomadas fueron calado y velocidad -calculadas éstas en las zonas inundables-, y los grupos de bienes, obtenidos éstos fundamentalmente por investigación de los daños causados en la zona por las inundaciones de Diciembre de 1989, fueron: arrastre de tierras de cultivo, cultivos, infraestructura rural (camino, canales, carreteras) y gastos de emergencia. Ni que decir tiene que el principal bien, la vida humana, no fue objeto de valoración alguna y sí de disposición de medidas de protección en aquellas zonas donde pudieran existir riesgos para la misma.

La aplicación del modelo matemático permitió cuantificar los daños por tramo de cauce, por cauce completo, por término municipal, etc., valores éstos fundamentales para la realización del posterior análisis económico coste de la actuación/disminución de daños.

4.5. ESTUDIO DE SOLUCIONES

4.5.1. Introducción

Analizando la historia natural de una avenida y de la consiguiente inundación, las actuaciones para prevenir y reducir en la medida de lo posible los daños que produce, se pueden clasificar de la siguiente forma:

A) **Actuaciones estructurales.** Actuaciones para interferir en los fenómenos de formación y propagación de las avenidas (conservación y corrección de cuencas, embalses de laminación y regulación, obras en el cauce)

B) **Actuaciones no-estructurales.** Actuaciones para impedir o reducir los daños producidos por las inundaciones. (elaboración de mapas de riesgo, zonificación de las áreas de inundación, sistemas de seguros, regulación legal general).

C) **Actuaciones preventivas.** Actuaciones para prever y así poder reducir los daños producidos por las inundaciones (sistemas de alarma y previsión de avenidas, Planes de Protección Civil).

Durante el proceso de elaboración del estudio de soluciones se tuvieron muy presentes muchos de los estudios redactados con anterioridad, especialmente el plan de actuaciones urgentes, el estudio hidráulico y los estudios ambientales.

4.5.2. Soluciones de carácter global

Las soluciones de carácter global analizadas en principio en la zona se enfocaron desde tres diferentes vertientes:

- ▼ Aumento de la capacidad de desagüe de los cauces mediante un aumento de la sección de los mismos, aumento de pendiente, rectificación del trazado en planta o una combinación de las mismas.
- ▼ Disminución del caudal máximo, conseguida ésta mediante la construcción de embalses de laminación o mediante tratamientos de corrección hidrológico-forestal en las cuencas (reforestación, diques de contención, etc).
- ▼ Control de inundaciones por medio de la protección de áreas localizadas, control de la velocidad del agua, ordenación de zonas inundables, etc.

4.5.3. Líneas generales de actuación

Las líneas generales sobre las que se apoyó todo el proceso de definición y diseño de actuaciones en los cauces fueron las siguientes:

- ▼ Evitar dragados generalizados y rectificaciones de pendiente.
- ▼ Evitar cambios en la morfología fluvial (cortas, modificación de trazado, etc.).
- ▼ Conceder prioridad absoluta a la protección de áreas urbanas habitadas.
- ▼ Plantear obras de protección en zonas agrícolas económicamente rentables, según estudios daños-costes.
- ▼ Frenar el avance de los procesos erosivos en zonas localizadas.
- ▼ Tratamiento particular de todas las zonas de confluencia de ríos y arroyos.
- ▼ Protección de las posibles vías de evacuación de núcleos urbanos habitados en caso de inundación.
- ▼ Establecimiento de zonas inundables.

4.5.4. Criterios de diseño aplicados

Los criterios de diseño más generales aplicados en el análisis de las actuaciones propuestas se centraron en los siguientes puntos:

I. Realización de un análisis económico comparativo coste de obra-disminución de daños individualizado para cada actuación propuesta.

II. Selección del período de retorno de diseño:

▼ Actuaciones destinadas a la protección de áreas urbanas:

T_{≥25} años, siempre que no existieran condicionantes técnicos o económicos que lo impidieran.

▼ Actuaciones destinadas a la protección de áreas agrícolas:

T_{≥10} años, teniendo muy en cuenta sobre todo los condicionantes económicos.

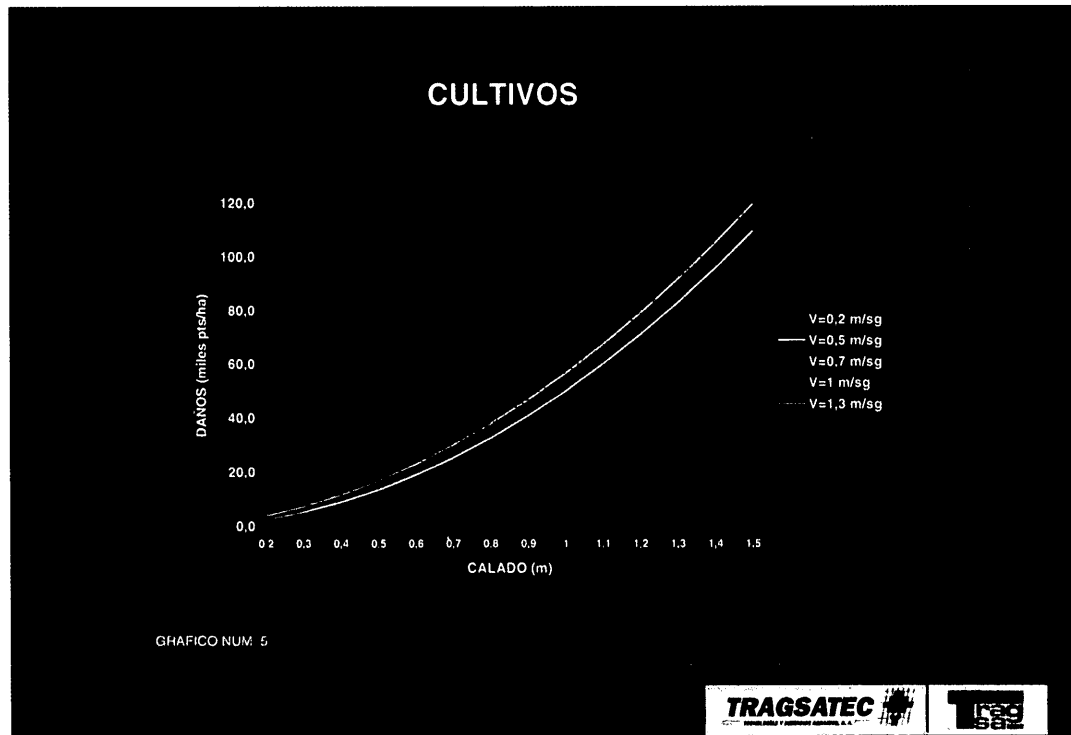


Figura 5. Estimación de daños en cultivos.

III. Tipología

Se buscaron en la medida de lo posible "soluciones blandas" tanto desde el punto de vista fluvial como ambiental, de acuerdo a la siguiente escala:

- ▼ Protección de márgenes con escollera enterrada.
- ▼ Protección de márgenes con escollera vista.
- ▼ Acondicionamiento y recrecimiento de estructuras existentes (camino, carreteras, protecciones).
- ▼ Limpieza de cauces evitando dragados.
- ▼ Acondicionamiento y/o sustitución de obras de fábrica con capacidad insuficiente.
- ▼ Ejecución de bermas de protección de nueva construcción con alturas inferiores a 2,00 m.

IV. Grado de prioridad.

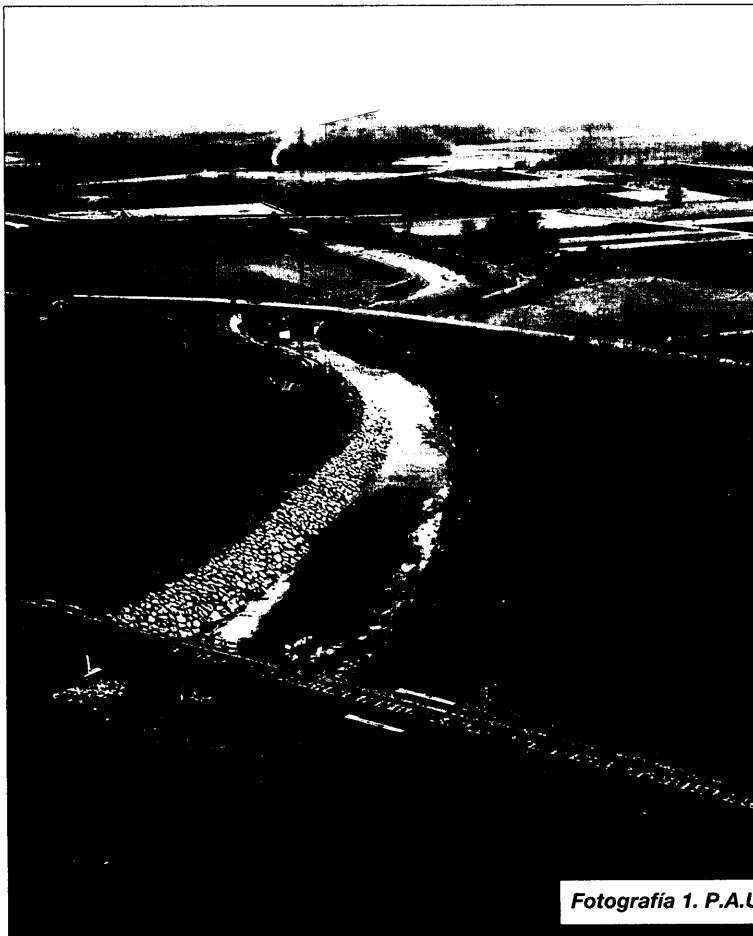
A cada actuación propuesta se le asignó un grado de prioridad función de las características de la zona a proteger, de la rentabilidad económica de la misma y de la influencia hidráulica de esta aguas arriba o aguas abajo.

4.5.5. Otras medidas

El estudio de soluciones se completó con la identificación y propuesta de un catálogo de actuaciones destinadas a la conservación de suelos y corrección de las cuencas aportantes a los arroyos de la zona.

En cuanto a las actuaciones no-estructurales se elaboraron entre otras los mapas de usos del suelo en zonas inundables y el mapa de riesgos potenciales de acuerdo a la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el riesgo de inundaciones.

Cómo punto final del estudio, se elaboró un documento denominado "Directrices para apoyo a un Plan de Protección Civil". Dicho documento, del cuál se hizo entrega de varios ejemplares a los Servicios de Protección Civil de la



Fotografía 1. P.A.U. N° 3. Arroyo Ahogaborricos en Villabrazaro. (Cedida por Plodder).



Fotografía 2. P.A.U. N° 15. Río Tera en Santa Croya de Tera. (Cedida por Plodder).

zona, incluía planos y conclusiones que resultarán sin duda de gran utilidad a la hora de elaborar un Plan de Protección Civil para la zona.

5. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones y experiencias que de la realización de éste proyecto se pueden extraer, y que podrían ser sin duda aplicables en la realización de proyectos similares, son las siguientes:

▼ Los proyectos destinados a la ejecución de medidas de protección frente a inundaciones deben ser ante todo proyectos integrados, es decir proyectos en los que partiendo de conocimientos geológicos, hidrológicos, hidráulicos y ambientales de la zona se debe crear un marco de solucio-

nes globales dentro de las cuales las soluciones puntuales queden integradas y coordinadas con las demás.

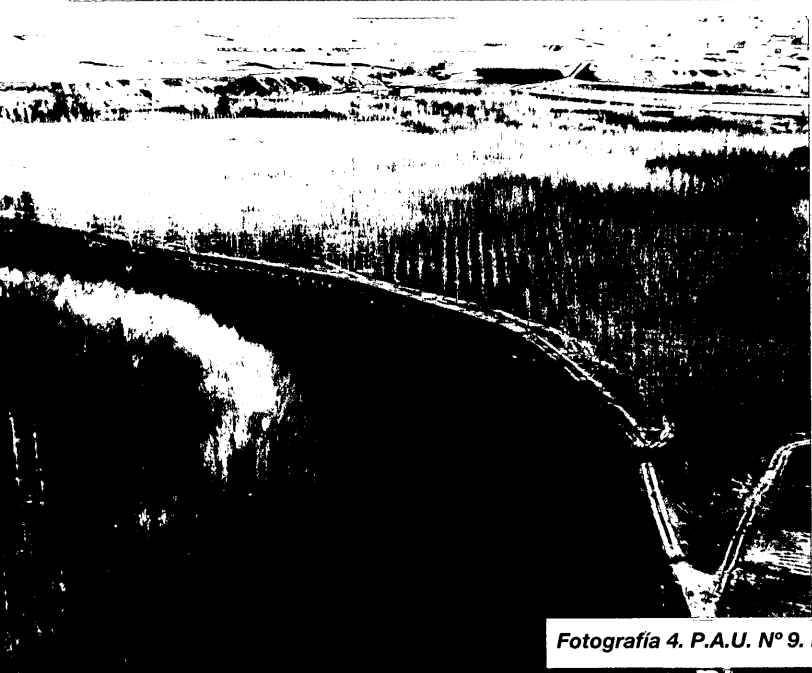
▼ Los recursos informáticos existentes hoy en día (C.A.D., G.I.S., bases de datos, modelos hidrológicos e hidráulicos, CD-ROM, etc.) permiten una gran integración y facilidad de manejo de datos topográficos, cartográficos, pluviométricos, foronómicos, etc. Esto posibilita tanto la realización de modelos hidrológicos y fluviales de gran calidad cómo la incorporación de sus resultados (isoyetas, hidrogramas, áreas inundables, etc.) en aplicaciones informáticas diseñadas a tal efecto.

▼ Los modelos hidráulicos (HEC-2 y otros) permiten un rápido diagnóstico de la situación inicial y una simulación de la influencia que cualquier medida correctora pueda producir en el funcionamiento general del sistema.

▼ Tanto las denominadas “soluciones blandas” cómo la combinación de soluciones (actuaciones en cauces, actua-



Fotografía 3. P.A.U. N° 19. Río Castrón en Bercianos de Valverde. (Cedida por Plodder).



Fotografía 4. P.A.U. N° 9. Río Esla en Santa Colomba de las Monjas. (Cedida por Plodder).

ciones en cuencas y aplicación de medidas no estructurales), presentan una gran ventaja desde el punto de vista económico y medioambiental del problema.

▼ El tipo o medida de protección a dimensionar deberá estar siempre en consonancia con el riesgo que se quiere evitar o minimizar. Esto se consigue con la realización previa de un estudio daños evitados/coste de la protección para cada una de las actuaciones previstas.

▼ El proceso de acercamiento a la problemática real de la zona a través del conocimiento de los puntos conflictivos de los cauces debe siempre estar apoyado en la experiencia aportada por los habitantes de la zona.

▼ En todo plan destinado a evitar o disminuir daños provocados por inundaciones debe concederse gran importancia a las medidas preventivas, tales como los Sistemas de alarma y los Planes de Protección Civil. Estos últimos deberían redactarse en base a planos y directrices elaborados en las etapas finales del plan global. ●