

APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA CARTOGRAFÍA TEMÁTICA Y CLASIFICACIÓN GEOMORFOLÓGICA DE LOS SISTEMAS FLUVIALES EN ASTURIAS

F.J. Fernández Rodríguez¹, R. Menéndez Duarte² y J. Marquínez¹

¹Dpto. de Geología. Universidad de Oviedo. C/ J. Arias de Velasco s/n. 33005 Oviedo

²INDUROT. Universidad de Oviedo. Independencia 13. 33004 Oviedo

Resumen: La utilización de una amplia base de datos geográfica, geomorfológica, litológica y biológica de los ríos de Asturias, desde un Sistema de Información Geográfica (SIG), ha permitido cuantificar de forma inmediata áreas, longitudes y formas de algunas de las variables analizadas. Una clasificación de ríos en cinco clases ha sido desarrollada a partir de operaciones de selección, cruce y combinación en el GIS, basándose en la litología del sustrato, la morfología de los cauces, la presencia de llanuras aluviales y los tramos de desfiladero rocoso. La clasificación fue completada con información referida a la intervención humana sobre el medio fluvial, la vegetación de ribera, las especies catalogadas y los datos hidrológicos existentes en cada cuenca, aunque estos factores no son adecuados para definir una nueva clasificación puesto que pueden cambiar rápidamente. La base de datos fue diseñada de manera que se pueda integrar toda la información en función de la clasificación propuesta y que pueda ser fácilmente incorporada nueva información. Esto permite la elaboración de mapas temáticos a partir del SIG y su utilización en el estudio y gestión específica de los ríos.

Palabras clave: Sistemas fluviales, base de datos, SIG, geomorfología, cartografía geológica.

Abstract : Geographic Information System (GIS) manipulation of an extensive geographical, geomorphological, lithological and biological database from the rivers of Asturias (NW Spain) has allowed a straight linear, areal and shape quantification. The reselect, cross and combine GIS operation has allowed the development of a simple five-order river classification, which is based on the lithology of the river bed, alluvial deposits, channel morphology, type and extent of gorge sections. The degree of human intervention, riverside vegetation, hydrology of the drainage basin and river fauna complement the classification, but they are not suitable to define a new one because these factors can change suddenly. This classification and the current data base are designed to be integrated with each other and with incoming new data. This allows the easy production of different thematic maps, using the GIS, which can be used for river studies and specific river management.

Key words: Rivers system, database, GIS, geomorphology, geological mapping.

Fernández Rodríguez, F.J., Menéndez Duarte, R. y Marquínez, J. (1997) : Aplicación de un Sistema de Información Geográfica en la cartografía temática y clasificación geomorfológica de los sistemas fluviales en Asturias. *Rev. Soc. Geol. España*, 10 (1-2) : 117-130.

Los sistemas fluviales son de gran importancia desde un punto de vista económico, social y medioambiental, por lo que han sido objeto de estudios de diversa índole desde antiguo. A pesar de ello, son poco frecuentes los trabajos en los que se analizan los sistemas fluviales integrando los diferentes factores que caracterizan a los ríos y que, en consecuencia, proporcionen una perspectiva global, a partir de la cual se puedan discriminar tramos de la red fluvial para su ordenación y gestión.

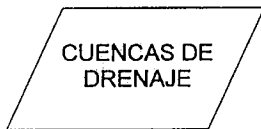
Debido al gran número de variables que intervienen y a la complejidad del propio sistema fluvial, la mayoría de las clasificaciones clásicas atienden sólo a aspectos parciales del medio fluvial (Strahler, 1964 ; Way, 1978). Otras clasificaciones se centran frecuentemente

en las características biológicas del mismo (Botosaneanu, 1988), o están limitadas por la ausencia de una herramienta que permita la manipulación e integración de los datos que se derivan de un estudio global de este medio.

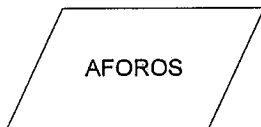
De acuerdo con este planteamiento, se han confeccionado una serie de mapas temáticos que contemplan los aspectos físicos, morfológicos y medio ambientales de los sistemas fluviales, así como el impacto de la actividad humana e industrial sobre los ríos del Principado de Asturias. Toda esta información ha sido recogida como documentos cartográficos y gestionada desde un Sistema de Información Geográfica (SIG), lo que ha permitido la estimación inmediata de longitudes, áreas y formas, el cruce de las distintas capas de infor-

A**SISTEMA FLUVIAL:**

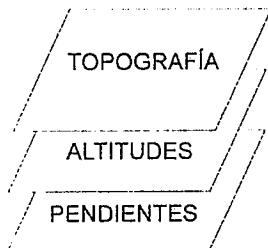
La red de drenaje recoge los cauces principales de Asturias de la base topográfica 1:50.000 del Servicio Cartográfico del Ejército. Asociada a esta capa, como información referida a los tramos de cauce, existen numerosos campos de información.



Es la cartografía de las cuencas y subcuencas de drenaje en las que se ha agrupado la red. La cartografía de las cuencas se ha delimitado manualmente sobre la misma base topográfica 1:50.000.

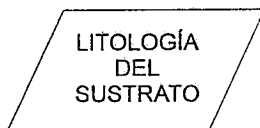


Se han localizado las estaciones de aforo de la Confederación Hidrográfica del Norte (CHN), completando la red con las observadas en la campaña de campo. Además se incorporó la información correspondiente a las tablas de caudales procedente de los registros de la CHN.

RELIEVE Y GEOLOGÍA:

Se ha incorporado del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:200.000 del IGN, con equidistancia entre curvas de nivel de 100 m.

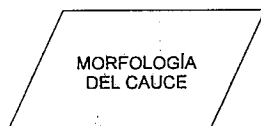
A partir de esta capa se han realizado otros Modelos Digitales del Terreno.



Se ha realizado una síntesis litológica a partir de la cartografía geológica 1:200.000 del ITGE



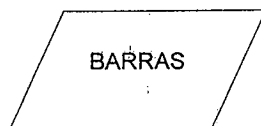
Se han cartografiado las llanuras aluviales y de inundación a escala 1:50.000 a partir de fotografías aéreas.



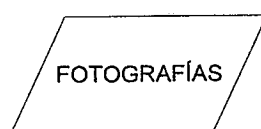
A partir de la fotografía aérea, se ha distinguido la morfología de los cauces, diferenciando entre rectos, meandriformes y anastomosados, y los tramos con desfiladeros rocosos. La escala de trabajo ha sido la 1:50.000.



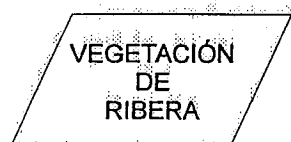
La granulometría del lecho de los cauces distingue tres intervalos de tamaños según el predominio de una determinada fracción. Se ha realizado con trabajo de campo a escala 1:50.000, tomando datos puntuales en un número elevado de cauces.



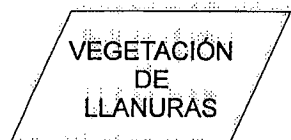
Recoge la localización de los tramos con presencia de barras sin vegetación sobre la base topográfica 1:50.000, a partir de la fotografía aérea.

ARCHIVO FOTOGRÁFICO:

Se han localizado las fotografías de tramos fluviales de interés, realizadas durante la campaña de campo, con el fin de crear un archivo gráfico de la red fluvial y actualizarlo periódicamente para poder tener información gráfica de la evolución de estos tramos a través del tiempo.

B**VEGETACIÓN Y FAUNA:**

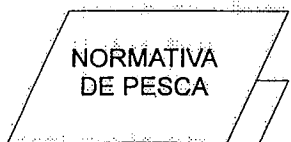
Se ha realizado la cartografía de la estructura de la vegetación de las riberas para todos los cauces de la región. Se ha realizado sobre la base topográfica 1:50.000, a partir de la fotografía aérea y con revisión durante la campaña de campo.



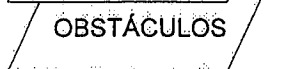
Se trata de la cartografía de los bosques sobre llanuras aluviales realizada a escala 1:50.000 a partir del trabajo de campo y con ayuda de la fotografía aérea.



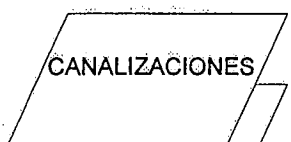
Se han localizados los puntos de muestreo de presencia de especies catalogadas (nutria y avión zapador) y la distribución actual de salmón y lamprea. Los datos proceden del muestreo realizado durante la campaña de campo que ha sido completado con censos anteriores.



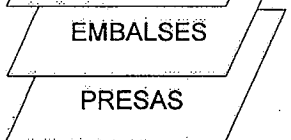
Se recoge la zonificación de los cauces procedente de las Normas de Pesca del Principado de Asturias.



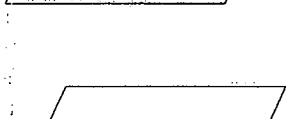
Se trata de la localización de los obstáculos en cauces salmones a partir del inventario procedente de la Consejería de Medioambiente y Urbanismo del Principado de Asturias.

INFRAESTRUCTURAS:

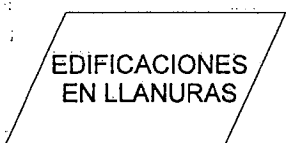
Los tramos canalizados han sido cartografiados a escala 1:50.000 a partir de trabajo de campo y datos facilitados por la CHN.



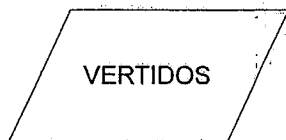
Corresponde a los embalses mayores de Asturias, a partir de los inventarios de la CHN y de la cartografía preexistente.



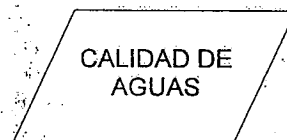
Recoge la localización de todas las presas y azudes inventariados por la CHN, tanto las activas como las proyectadas. Este archivo ha sido completado durante la campaña de campo.



Se han delimitado las áreas edificadas sobre las llanuras aluviales a escala 1:50.000. Esta cartografía ha sido elaborada con datos de campo y fotografía aérea.



Los volúmenes de vertidos y cargas contaminantes se han calculado para varias unidades superficiales a partir de los datos procedentes del Plan Regional de Infraestructuras Hidráulicas de Asturias (1990).



La calidad se ha asignado a los cauces a partir de los datos del Plan Regional de Infraestructuras Hidráulicas de Asturias (PRIHA, 1990) y del Plan de Gestión de la CHN.

Figura 1.- Capas de la base de datos elaborada y almacenada en el Sistema de Información Geográfica. A : Red de drenaje, relieve y geología. B : Vegetación, fauna e infraestructuras.

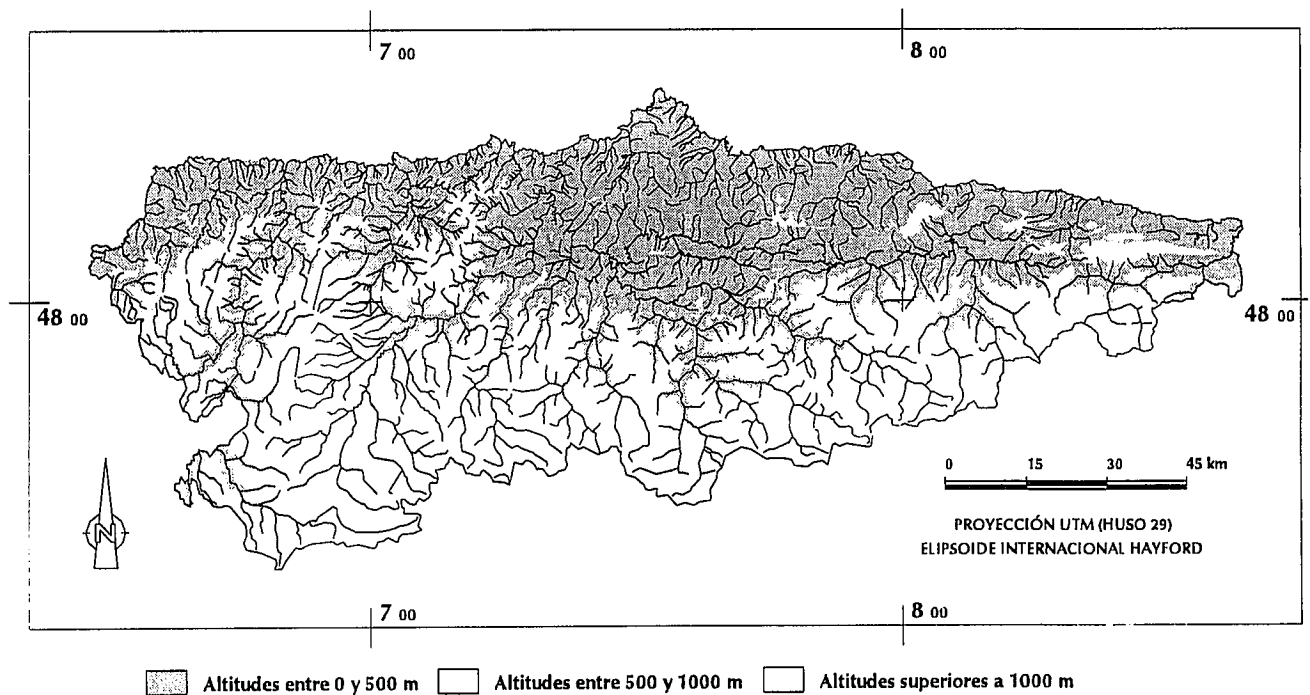


Figura 2.- Red de drenaje utilizada como base en el estudio del medio fluvial. Los cauces se han representado sobreimpuestos al mapa hipsométrico codificado en tres tonos de gris correspondientes a otros tantos intervalos de altitud de amplitud variable. Los rangos de altitud de Asturias van desde 0 m hasta valores algo superiores a los 2.500 m en el límite sur de la región.

mación y la obtención de un mapa sintético que clasifica la red fluvial por características propias del medio físico. Otra ventaja de integrar los datos en un SIG es que la ampliación y modificación de la información contenida en la base de datos es interactiva con las operaciones de análisis realizadas lo que permite un desarrollo constante de la misma sin perder vigencia.

La información recogida en la base de datos ha permitido definir el medio físico y caracterizarlo, utilizando en la definición parámetros permanentes presentes en cualquier río, en los que se incluyen las características geológicas y geomorfológicas. La importancia de estos datos ya fue reconocida por Hynes (1970, 1975) y se recoge como uno de los elementos básicos a considerar en la restauración de los ríos. Otras características del medio fluvial, también cartografiadas, como son vegetación, fauna, infraestructuras, calidad de aguas, etc., han sido utilizadas para caracterizar la red pero no en la definición y clasificación de la misma dado su carácter temporal y local.

El sistema de información geográfica

El elevado número de factores que interviene en la descripción del ecosistema fluvial, así como la posibilidad de su referenciación espacial, hace de la cartografía en formato digital y más concretamente de los SIG una herramienta de trabajo útil para su análisis, además de facilitar la generación de información para la evaluación de los recursos hidráulicos (Mendizábal Carrillo *et al.*, 1992) o los estudios generales del medio físico y gestión del territorio (Robinette, 1991).

La realización de una base de datos cartográfica ha supuesto la selección objetiva del tipo de información necesaria, a partir de la experiencia adquirida en la elaboración de la misma para el análisis y gestión del medio fluvial.

En el SIG la información cartográfica elaborada se organiza en varias capas, con una estructura que responde a criterios temáticos y que en algunos casos se amolda a criterios geométricos que facilitan el manejo de la información gráfica. El SIG utilizado trabaja principalmente en formato vectorial, es decir con una concepción dirigida a objetos o variables discontinuas, aunque también permite la manipulación de datos en formato matricial, especialmente indicado para variables continuas, como son las derivadas de la topografía (Wallace, 1988).

Así, se ha seguido la estructura característica de un SIG vectorial, organizando en diferentes capas los datos puntuales, la información lineal y la información de polígonos (ESRI, 1992). Siguiendo estos criterios, la información final es la descrita en los esquemas de las figuras 1 a y b; para cada capa se ha indicado la escala de trabajo utilizada y la procedencia de los datos, que varían según el tipo de información cartográfica disponible y en función de los objetivos abordables en cada caso.

Cartografía geológica y geomorfológica

Los principales aspectos estudiados en la clasificación propuesta para los sistemas fluviales asturianos han sido los geológicos y geomorfológicos. La geolo-

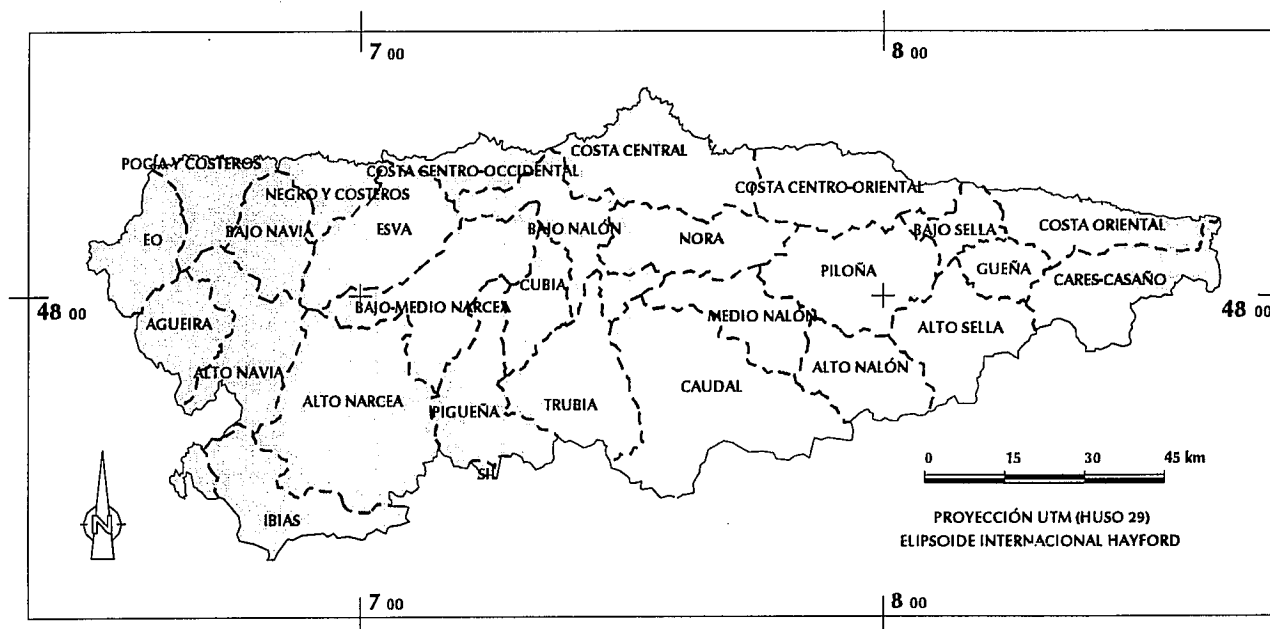


Figura 3.- División en cuencas y subcuencas de drenaje utilizadas en el análisis. El total del territorio asturiano ha sido dividido en 14 cuencas y 28 subcuencas que han sido utilizadas como unidades de estudio para muchos de los parámetros considerados.

gía del sustrato se describe a partir de la litología, agrupando las diferentes unidades rocosas que afloran en Asturias en un número reducido de tipos. En cuanto a los diferentes aspectos que describen la geomorfología de los sistemas fluviales, se han analizado las formas de depósito relacionadas con la dinámica propia de este medio: llanuras aluviales y de inundación y la granulometría de los lechos, así como otras características morfológicas de los cauces, tales como su trazado y el encajamiento. Este conjunto de datos permite describir algunos de los aspectos más relevantes y estables de la configuración física de la red de drenaje y caracterizar los cauces desde una perspectiva amplia, de significado geomorfológico y ecológico y de utilidad en la planificación y la gestión de estos sistemas. El esfuerzo realizado para la adquisición de datos geomorfológicos ha sido de 90 días de trabajo de campo.

La red de drenaje

La red de drenaje utilizada como base en el trabajo recoge los cauces principales de la totalidad de la red fluvial presente en la topografía 1:50.000 del Servicio Geográfico del Ejército. En ella se incluyen 880 ríos, para los que se ha calculado mediante el SIG una longitud total de 5.684 km. Estos cauces incluyen los ríos mayores del Principado de Asturias y una serie de cauces menores, cuya distribución muestra algunas diferencias importantes entre unas áreas y otras (Fig. 2), como corresponde a las condiciones geológicas y climáticas de Asturias. Se trata de una red de drenaje con morfología predominantemente dendrítica y con una baja densidad de cauces, que muestran preferentemente un marcado encajamiento en el relieve. El trazado de los cauces mayores es consecuente con las pendientes

tectónicas generadas durante la deformación terciaria, que dio lugar a los relieves de la Cordillera Cantábrica (Farias y Marquínez, 1995). Muchos cauces menores presentan además un trazado estrechamente condicionado por la alternancia de formaciones geológicas pertenecientes al sustrato varisco y con muy diferente resistencia a los procesos de erosión.

El análisis de altimetría de los cauces, una vez cruzados con el mapa hipsométrico, indica que en la red estudiada el 75% de los cauces presenta una altitud menor a 500 m, el 22% tiene altitudes comprendidas entre los 500 y 1000 m y únicamente el 3% restante presenta altitudes superiores a los 1000 m. Sin entrar a interpretar el significado de esta distribución altitudinal, debe no obstante precisarse que los cauces de menor entidad se encuentran deficientemente representados en esta red debido, entre otras causas, a la escala de trabajo.

El territorio asturiano ha sido dividido en 14 cuencas con un total de 28 subcuencas, si bien el concepto de cuenca hidrográfica se ha utilizado como unidad superficial de análisis, por lo que algunas de las unidades definidas no responden al concepto de cuenca de drenaje en sentido estricto, ya que están constituidas por cauces fluviales que no son tributarios de un río de orden mayor (Fig. 3). Este hecho es frecuente en la zona costera, donde se han establecido unidades de cuenca con una extensión areal parecida entre sí, facilitándose su comparación.

Si se exceptúan las subcuencas del Alto Narcea y del Caudal, con poco más de 900 km², el resto de las cuencas y subcuencas delimitadas presentan áreas que varían entre los 200 y los 500 km², con longitudes de cauces que varían entre los 75 y los 300 km. En gene-

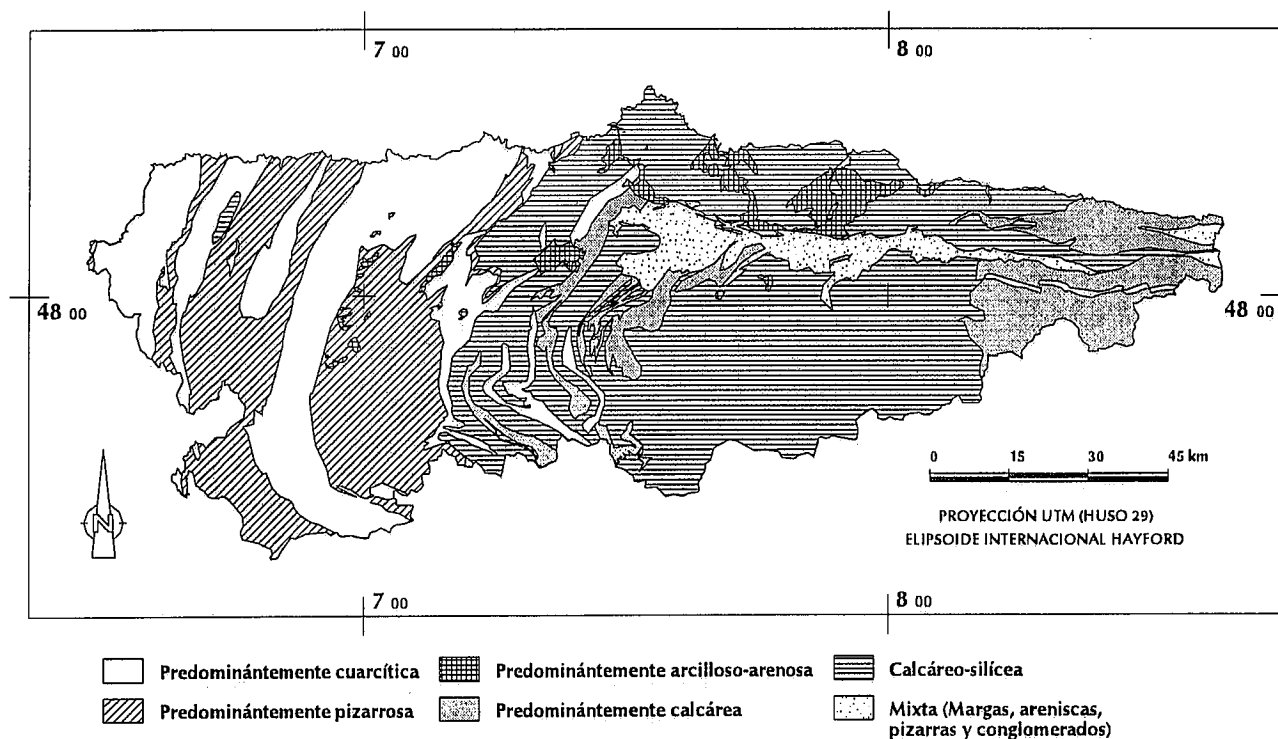


Figura 4.- Distribución de los grupos litológicos en que se ha dividido la región asturiana. La información ha sido elaborada a partir de los mapas geológicos a escala 1:200.000 de la serie MAGNA del IGME, correspondientes a las Hojas nº 2 (Pello *et al.*, 1981a), nº 3 (Julivert *et al.*, 1981), nº 9 (Julivert y Marcos, 1981) y nº 10 (Julivert *et al.*, 1981b).

ral, existe una buena correlación entre la longitud de los cauces y el área de la cuenca.

La cuantificación mediante SIG de la longitud de los cauces y de la superficie de las cuencas ha permitido calcular los valores de densidad y frecuencia de drenaje medios para toda Asturias, siendo estos la longitud y el número de los cauces por km² respectivamente, y compararlos con los obtenidos para cada una de las cuencas diferenciada. La relación en el SIG entre cauces y cuencas se ha realizado a partir de un nº de identificación común entre los elementos lineales y los polígonos implicados. La densidad de drenaje media para toda Asturias es de 0,65 km⁻¹ y la frecuencia de drenaje es de 0,2. Se puede destacar que los valores de frecuencia y densidad de drenaje no muestran una buena correlación, lo que sugiere que el tipo de cuenca hidrográfica en Asturias corresponde a cuencas de textura media-gruesa (según la clasificación de Way, 1978), en las que la escorrentía superficial es baja, como corresponde a cuencas con predominio de sustratos permeables y con una cubierta vegetal continua.

Litología del sustrato

El sustrato geológico de la región asturiana está compuesto por materiales que en su mayoría son de edad Paleozoica y presentan una estructura producida principalmente durante la Orogenia Varisca. Las litologías aflorantes corresponden casi exclusivamente a rocas sedimentarias sin metamorfismo y rocas metapelíticas de bajo grado metamórfico.

A efectos del comportamiento frente a la erosión y

caracterización hidrológica, se han distinguido seis grandes grupos litológicos: pizarras, cuarcitas, calizas, alternancias cuarcítico-calcáreas, alternancias arcilloso-arenosas y, por último, un grupo litológico mixto, formado predominantemente por margas, areniscas, pizarras y conglomerados (Fig. 4).

El análisis litológico por cuencas muestra que existen marcadas diferencias entre el oriente y el occidente de Asturias, que condicionan fuertemente el paisaje y la morfología de los sistemas fluviales. Mediante la cuantificación superficial de las litologías dominantes por cuencas, se establece una clasificación de las mismas en seis grandes grupos:

-Las cuencas occidentales incluyen a las cuencas del Eo, Porcia y Costeros, Bajo y Alto Navia, Agüeira, Ibias, Negro y Costeros, Esva, Costa Centro Occidental y Alto Narcea. Se caracterizan por presentar un predominio litológico cuarcítico y pizarroso. Se trata de litologías bastante impermeables, en las que se puede esperar un valor relativamente alto de la escorrentía superficial, en coherencia con que las densidades y frecuencias de drenaje son generalmente mayores que la media obtenida para toda la región, con valores de 0,8 y 0,3 respectivamente.

-Las cuencas orientales incluyen a las cuencas del Bajo y Alto Sella, Güeña, Costera Oriental y Cares-Casaño. Son predominantemente calcáreas. Se caracterizan por presentar caudales intermitentes, muy variables, y un acusado modelado kárstico del relieve. Esta peculiaridad esta de acuerdo con que las densidades de

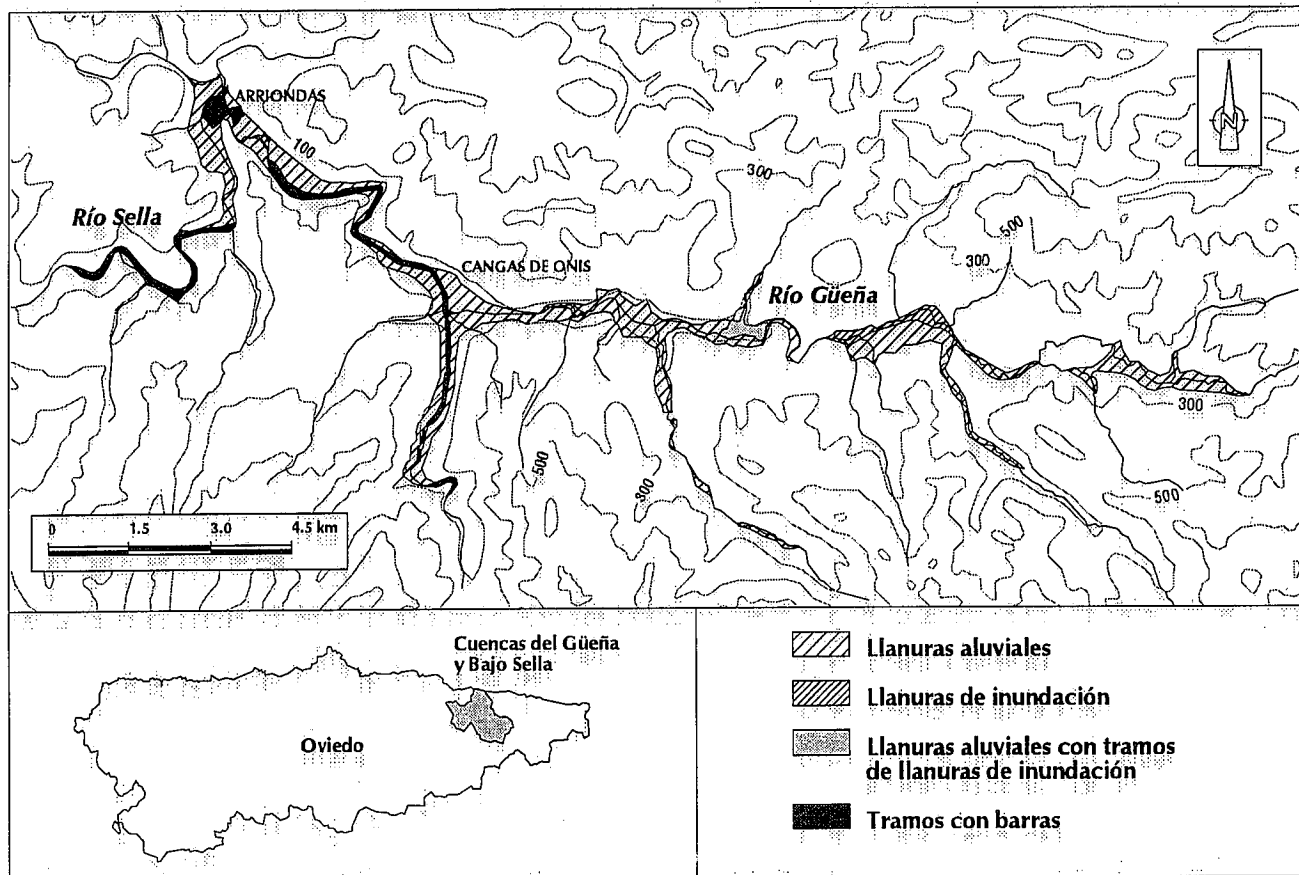


Figura 5.- Ejemplo de la cartografía de llanuras aluviales y de inundación realizada a escala original 1:50.000. El área representada corresponde al tramo medio-bajo de la Cuenca del Río Sella (Cuecas del Güeña y Bajo Sella localizadas en la figura).

drenaje sean bajas, del orden de 0,4, y características de sustratos permeables, mientras que las frecuencias sean de tendencia alta, con valores próximos a 0,2.

-Las cuencas de la depresión Mesozoico-Terciaria (Patac, 1920 ; Llopis, 1957 ; Alonso *et al.*, 1995), situada en la parte centro oriental de la región próxima al litoral, incluyen las cuencas del Nora y la del Piloña, en las que el sustrato es predominantemente arcilloso-arenoso. Esta característica litológica, junto con la disposición subhorizontal de las estructuras de la depresión Mesozoico-Terciaria, produce cuencas de bajo relieve y con valores de densidad y frecuencia de drenaje muy variables.

-Las cuencas de la región carbonífera central (Truyols, 1983), situada en la parte sur centro-oriental de la región, son las cuencas del Medio y Alto Nalón, Trubia y Caudal. Todas ellas presentan un predominio pizarroso en las partes altas y centrales de las cuencas, mientras que en los tramos bajos la litología es predominantemente calcárea. Todas estas cuencas tienen unos valores de densidad y frecuencia de drenaje inferiores a la media, variando la densidad entre 0,5 y 0,4 y entre 0,14 y 0,18 la frecuencia.

-Las cuencas centro-occidentales son las cuatro cuencas que se localizan en el occidente de la región carbonífera central de Asturias. Se trata de las cuencas del Pigüeña, Medio Narcea, Cubia y Bajo Nalón. Cons-

tituyen una zona de transición litológica hacia el occidente, donde los terrenos son progresivamente menos calcáreos. Litológicamente, las cuencas más representativas de este grupo serían las cuencas del Cubia y del Pigüeña, con aproximadamente un 60 % de la litología predominantemente calcáreo-silíceo. La variabilidad de los parámetros de densidad y frecuencia es elevada, de acuerdo con la variabilidad litológica. La densidad oscila entre 0,4 y 0,7 y la frecuencia entre 0,12 y 0,22.

-Finalmente, las cuencas costeras Central y Centro-oriental presentan predominio de materiales calcáreos y mixtos, principalmente areniscas y conglomerados de edad jurásica. La disposición de los mismos es inversa a los de la Cuenca Carbonífera Central, de manera que en la cuenca central los materiales carbonatados se disponen en la parte alta de la cuenca mientras que en la centro-oriental se encuentran en sus tramos bajos. En estas cuencas, tanto la densidad como la frecuencia de drenaje presentan valores muy próximos a la media de la región.

Llanuras aluviales

En una región de fuerte relieve como Asturias, con escasos depósitos fluviales, las llanuras aluviales han constituido en muchos casos las áreas más intensamente utilizadas para diferentes actividades humanas, con el asentamiento de edificaciones y cultivos, en algunos

área de llanuras aluviales (km²) / cuenca

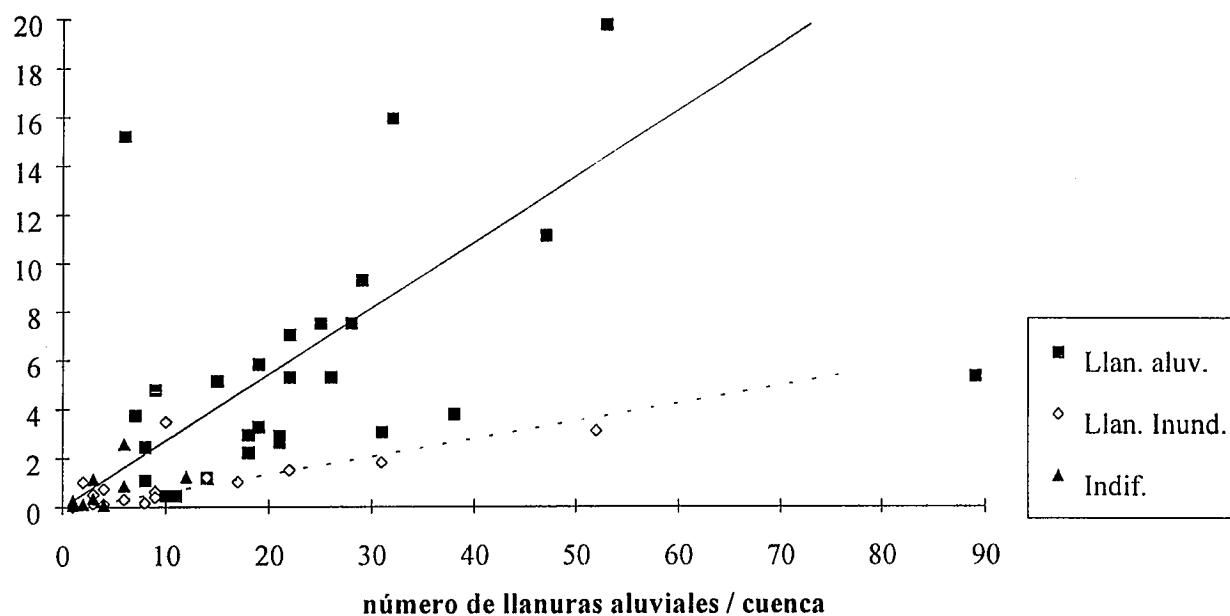


Figura 6.- Diagrama en el que se representan en ordenadas el número de llanuras por cada cuenca y en abscisas el área total de las mismas (en km²). La recta de ajuste de trazo continuo es la correspondiente a las llanuras aluviales y la de trazo discontinuo es la correspondiente a las llanuras de inundación. El término Indif. se ha utilizado para aquellas llanuras que por su reducidas dimensiones no ha sido posibles separar a la escala de trabajo la llanura de inundación de la llanura aluvial.

casos de elevado valor. La propia naturaleza de estas áreas hace que se encuentren sometidas a inundaciones más o menos frecuentes, que intentan ser controladas con la construcción de canalizaciones. La fuerte alteración que suponen estas obras en el medio fluvial aconsejan que sean localizados y estudiados en detalle los tramos más susceptibles de ser canalizados, como son las llanuras aluviales y especialmente las llanuras aluviales edificadas.

En este trabajo, se han representado unidades geomorfológicas cartografiadas a escala 1:50.000; éstas se reducen a las llanuras aluviales, las llanuras de inundación y algunas áreas de llanura aluvial que incluyen áreas de inundación, con una extensión hectométrica o mayor, quedando sin representación otros tipos de formas o depósitos con una extensión menor (Fig. 5). Así, los criterios seguidos para separar llanuras aluviales de las llanuras de inundación son la colonización o ausencia de vegetación de estructura mayor sobre la llanura y las evidencias de inundación reciente detectadas sobre fotografía aérea. Las llanuras de inundación tienen interés, además de por su significado geomorfológico, por ser depósitos que no suelen estar urbanizados, ni presentar infraestructuras estables que modifiquen el medio natural.

De acuerdo con la aplicación planteada para la base de datos, únicamente se han diferenciado las zonas llanas correspondientes a depósitos fluviales más recientes, lo que permite establecer el área de influencia del río y evaluar su estado de conservación, por lo que se excluyen las terrazas aluviales antiguas, las formas planas erosivas y los paleorelieves. Además, se han dife-

renciado los tramos de la red en los que son más frecuentes los cauces trenzados, con la formación de barras de cantos y gravas.

Se ha calculado una extensión superficial de 155 km² para las llanuras aluviales de Asturias, mientras que las llanuras de inundación ocupan una extensión de 16 km² y la extensión de las llanuras mixtas, es decir, las que incluyen zonas de llanuras de inundación, es de aproximadamente 7 km². La superficie total de las llanuras representa el 1,68 % de la superficie de Asturias.

La forma y tamaño de las llanuras depende de numerosas variables de difícil cuantificación. A pesar de ello se observa una buena correlación entre la superficie que ocupan las llanuras en cada cuenca y su número. Esta característica se observa tanto para las llanuras aluviales como para las de inundación, aunque lógicamente la relación área/nº de llanuras por cuenca es menor en estas últimas. Si se representa en ordenadas el área total en km² de las llanuras en cada cuenca y en abscisas el número de ellas (Fig. 6) según la cartografía realizada, se puede tipificar a las llanuras aluviales de Asturias por la pendiente de la recta que mejor se ajusta a la distribución de puntos obtenida. Así, la pendiente de las llanuras aluviales es de 0,3 y la de las llanuras de inundación es de 0,05, separándose de estos rangos las cuencas bajas de los ríos de mayor caudal como son Nalón, Narcea y Sella. Este dato no tiene un significado geológico inmediato, puesto que si se interpreta la presencia de llanuras, y por lo tanto su número y extensión, como una característica ligada a la madurez del cauce, su pendiente y a la litología del lecho, lo que se deduce de la figura 6 es que la extensión media

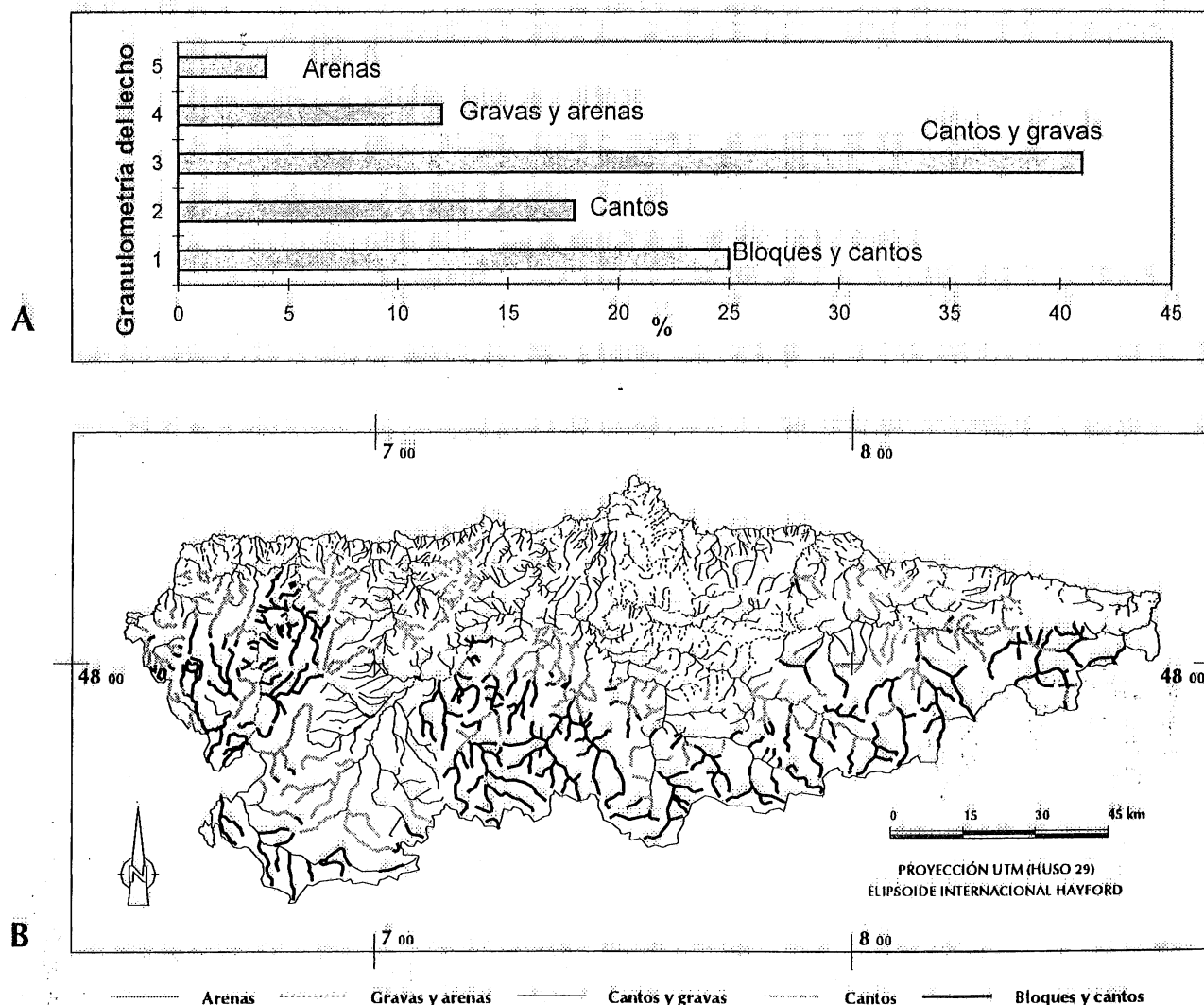


Figura 7.- Distribución de la granulometría del lecho. A : Histograma de distribución en el que el porcentaje representado en el eje horizontal corresponde a la longitud total de los cauces que pertenecen a cada uno de los intervalos diferenciados. B : Mapa de distribución de la granulometría de lecho en la red analizada.

de las llanuras es independiente de la litología del lecho y sí guarda una relación directa con la pendiente media y la madurez y caudal de los cauces. El buen ajuste de la pendiente de la recta de la figura 6 se puede interpretar como que, en conjunto, los ríos de Asturias presentan un grado de madurez similar.

En cuanto a la distribución de estos depósitos, es desigual para el conjunto de la red. Para las diferentes cuencas el número y área de las llanuras es variable, representando entre el 0,1 y el 5,2 % de la superficie total de las cuencas, con un valor medio de 1,6 %. El porcentaje de ocupación areal de las llanuras ha permitido una clasificación de las cuencas en tres clases con tendencias próximas a la media o superiores o inferiores a este valor. En líneas generales, los depósitos aluviales más importantes se localizan en los tramos bajos de los cauces mayores, como ocurre en las cuencas del Medio y Bajo Nalón y en las del Güeña y Bajo Sella, mientras que en las cuencas montañosas y especialmente en la zona occidental de Asturias la presen-

cia de llanuras es mucho menor. Esta distribución sí está relacionada claramente con la litología del lecho, siendo las más favorables para el desarrollo de llanuras aluviales las litologías más blandas, como margas y pizarras, y las más desfavorables las litologías de dominio cuarcítico, especialmente importantes en el occidente de Asturias.

Granulometría del lecho

Dada la escasa representatividad de los lechos aluviales en el sistema fluvial de Asturias, se puede considerar que la mayor parte de los ríos de esta región corresponden a cauces que transcurren sobre lecho rocoso. Para este tipo de cauces el tamaño dominante de los clastos en los lechos fluviales se relaciona en primer lugar con la capacidad de transporte del cauce, asociada con una serie de variables como son la pendiente, el caudal o la litología del sustrato rocoso. La granulometría del lecho es además una característica geomorfológica en la que influyen prácticamente todos los

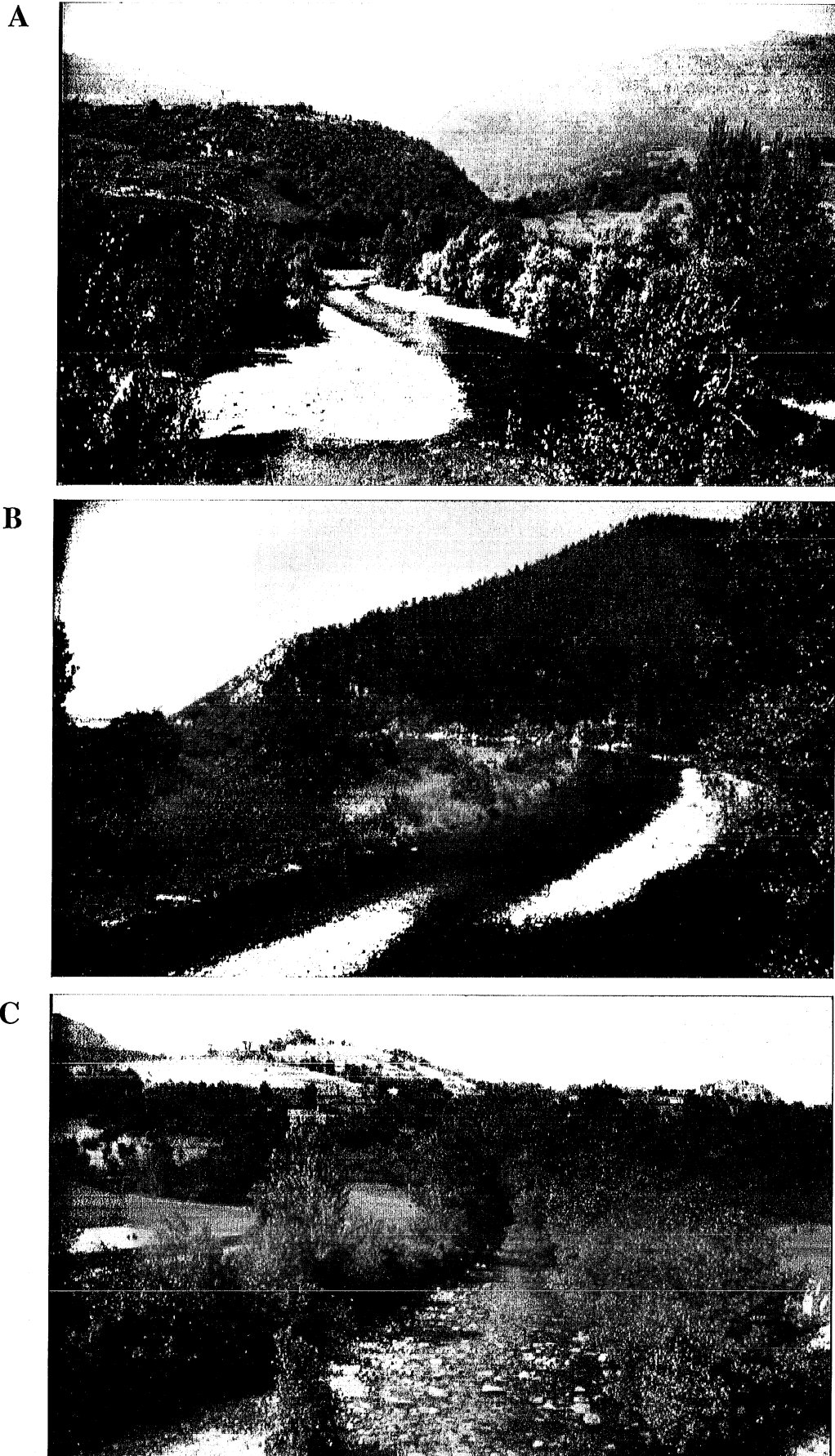


Figura 8.- Ejemplos de la geometría del trazado de los cauces fluviales en Asturias . A : trazado meandriforme del río Cares próximo a su desembocadura en el río Deva. B : trazado anastomosado en la desembocadura del río Las Cabras. C : trazado recto del río Las Cabras en La Herrería.

parámetros del medio físico utilizados en este trabajo y una variable de importancia ecológica esencial, que condiciona el desarrollo de numerosas comunidades de seres vivos en el cauce y sus riberas. Por todo ello constituye una información muy útil al manipularla desde el SIG, permitiendo además conocer en qué medida las otras capas de información son útiles para discriminar tramos fluviales con características comunes, e identificar aquéllos que tengan un mayor valor medioambiental.

Para clasificar los lechos fluviales según su granulometría se utilizaron los siguientes rangos de tamaño de los clastos: bloques (>0,5 m), cantos (0,5-0,1 m), gravas (0,1-0,01 m) y arenas (<0,01 m). Todos los cauces presentan simultáneamente clastos de varios tamaños, por lo que se agruparon éstos en cinco categorías que corresponden a un determinado tamaño más frecuente en el tramo y a la presencia de otro predominante entre los subordinados. La distribución de estos intervalos, para los 5.684 km de cauces estudiados se realizó a partir de una campaña de campo en las que se hicieron observaciones puntuales a lo largo de todos los ríos principales. A partir de estos datos se extrapoló, con apoyo de la fotografía aérea, un valor de granulometría para toda la red, obteniendo la distribución representada en la figura 7.

En Asturias se aprecia el dominio de los tramos de cantos sobre los de gravas y arenas y la abundancia de bloques. Esta distribución está de acuerdo con el carácter erosivo de los ríos de la cuenca asturiana, al tratarse de cauces que discurren por áreas de fuerte relieve. En el mismo sentido y como era previsible, existe una clara correlación entre la altitud y la granulometría del lecho, que tienden a presentar tamaños mayores en las zonas altas, en las que los cauces y las laderas presentan pendientes y desniveles más importantes. Al calcular el porcentaje relativo de cada granulometría para intervalos de altitud de 500 m respecto a la longitud total de cauces en cada intervalo, se han diferenciado una serie de cuencas de montaña, casi todas ellas con el área de cabecera en el eje de la Cordillera Cantábrica, con predominio de cantos y bloques en su lecho; un segundo grupo de cuencas, en los tramos medios y bajos de la región, con predominio de gravas y cantos; y un tercer grupo que incluye varias cuencas costeras con granulometría del lecho fuertemente variable, pero predominando las gravas y los tamaños menores. En cuanto a las variaciones que presenta la granulometría del lecho en función del tipo de litología son pequeñas; únicamente cabe destacar la mayor frecuencia de las granulometrías más finas en las litologías con predominio de arcillas y arenas o en los tramos de litología mixta.

Morfología de los cauces

El trazado del cauce es otra característica del medio físico que guarda una estrecha relación con la granulometría del lecho, la pendiente y la presencia de llanuras aluviales, entre otros factores. Desde el punto de vista del conjunto del ecosistema fluvial, la morfología de los cauces y los cambios de la misma a través del tiempo generan

la presencia de diferentes hábitats, no sólo en el cauce sino también en el medio ripario y llanuras adyacentes (Brookes, 1993). Con el fin de establecer una descripción sencilla de la morfología de los cauces se han cartografiado inicialmente e introducido en la base de datos tres tipos, diferenciados como tramos rectos, tramos meandriformes y tramos anastomosados, tanto para los ríos que discurren sobre llanuras aluviales (Leopold y Wolman, 1957) como para el resto.

La mayoría de los cauces asturianos son cauces rectos, discurriendo sobre sustrato rocoso y muestran una baja sinuosidad, así como un único canal principal, morfología característica de cauces poco maduros pertenecientes a una red fluvial joven con fuertes pendientes. Sólomente en tramos muy concretos de la red, predominantemente en tramos aluviales, se desarrollan cauces meandriformes o anastomosados (Fig. 8). Los cauces meandriformes, el 5% de la red fluvial analizada, se sitúan predominantemente en la franja prelitoral del sector centrorienta, sobre la depresión mesozoico/terciaria y, aunque menos frecuentes, en algunos sectores de la franja litoral occidental. En cuanto a los cauces anastomosados, que representan menos del 1 % del total de la red, se concentran en tramos aislados de las subcuencas altas centrorientales.

La distribución de estos tipos de cauces pone de manifiesto su relación con variaciones de otros factores del medio físico, como caudales, pendiente, litología, depósitos aluviales, etc., sobre la base de los que se ha realizado la zonificación de la red fluvial. Debido a ello, la diferenciación de las distintas morfologías debe ser considerada como una tipificación de tramos fluviales perfectamente válida para la caracterización del medio en su conjunto.

Desfiladeros

Por último, se han cartografiado los tramos encañonados o desfiladeros rocosos cartografiables que definen tramos singulares de la red fluvial en Asturias, en relación con la presencia de determinadas litologías en las que la velocidad de evolución de las laderas es baja en relación con el encajamiento de los cauces.

La longitud total de los desfiladeros rocosos cartografiados es de poco más de 125 km, de los que más de la mitad se concentran en las cuencas del Alto Sella y en la del Cares-Casaño, con 38 y 35 km de desfiladeros, respectivamente. Esta distribución geográfica está de acuerdo con la distribución de las litologías en la región asturiana, ya que el 50% de los desfiladeros se localizan sobre los sustratos calcáreos del oriente de la región y el 30% sobre tramos de alternancias calcáreo-silíceas, mientras que la presencia de desfiladeros en sustratos exclusivamente silíceos es muy baja.

Propuesta de clasificación de la red fluvial y discusión

Las características que se han seleccionado para la clasificación de la red fluvial cumplen tres premisas:

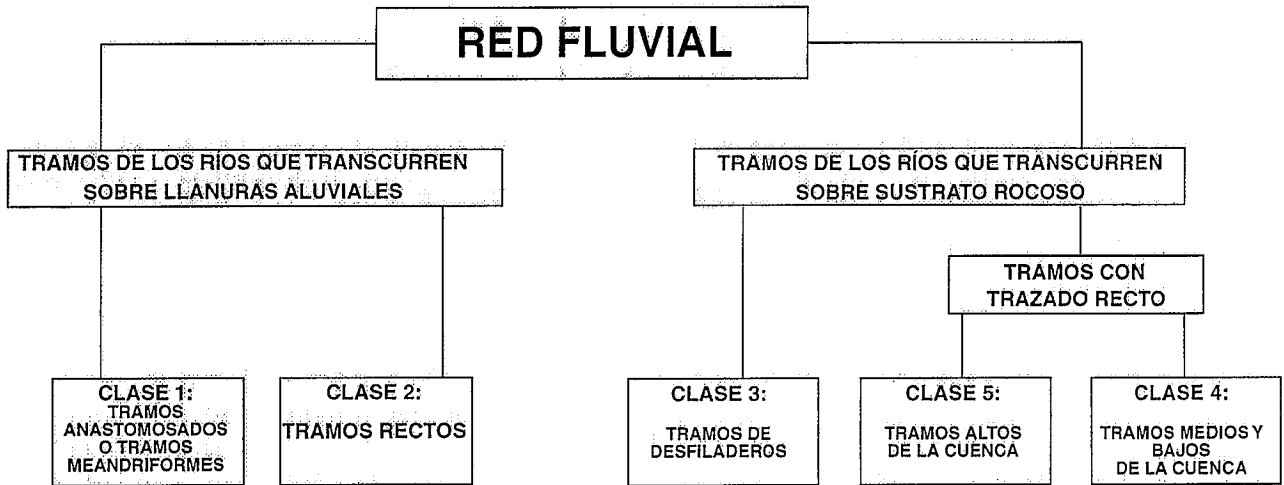


Figura 9.- Esquema seguido en la clasificación de los cursos fluviales a partir de sus características físicas. Se establecen cinco tipos de cauces que pueden ser considerados homogéneos para la posterior evaluación del estado de conservación del medio y en la definición de unidades de gestión.

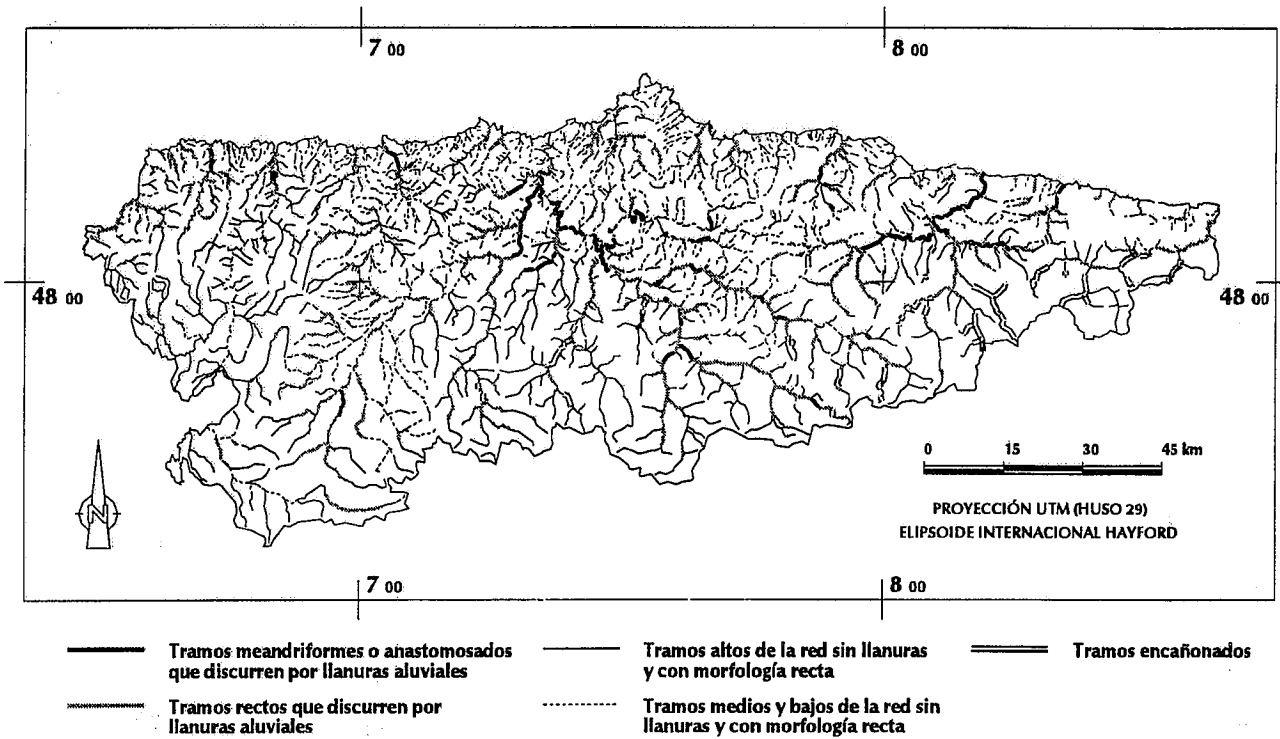


Figura 10.- Mapa de los tipos de cursos fluviales diferenciados en la clasificación propuesta. Las cinco clases corresponden a las mismas que se indican en la figura 9.

ser permanentes, cuantificables y cartografiables. Ello confiere a la clasificación durabilidad, la posibilidad de correlacionar unos factores con otros de forma objetiva y una precisa representación gráfica. Así, del conjunto de características que integran esta base de datos, se han seleccionado las geológicas y geomorfológicas de la red fluvial, por cumplir las premisas anteriores y porque son fácilmente vinculables al resto de factores que intervienen en el sistema fluvial, en la línea de la propuesta de Illies y Botosaneanu (1963) que intenta

clasificar los cauces con parámetros ligados a la magnitud de los caudales y la zonificación altitudinal del medio fluvial.

Los criterios seguidos en la clasificación de los cauces en función de sus características geológicas y geomorfológicas son los representados en la figura 9. Las diferencias más notables entre los tramos de los cursos fluviales estudiados se relacionan con la presencia o no de llanuras aluviales, esto es : la división entre ríos de sustrato rocoso (*bedrock rivers*) y ríos que dis-

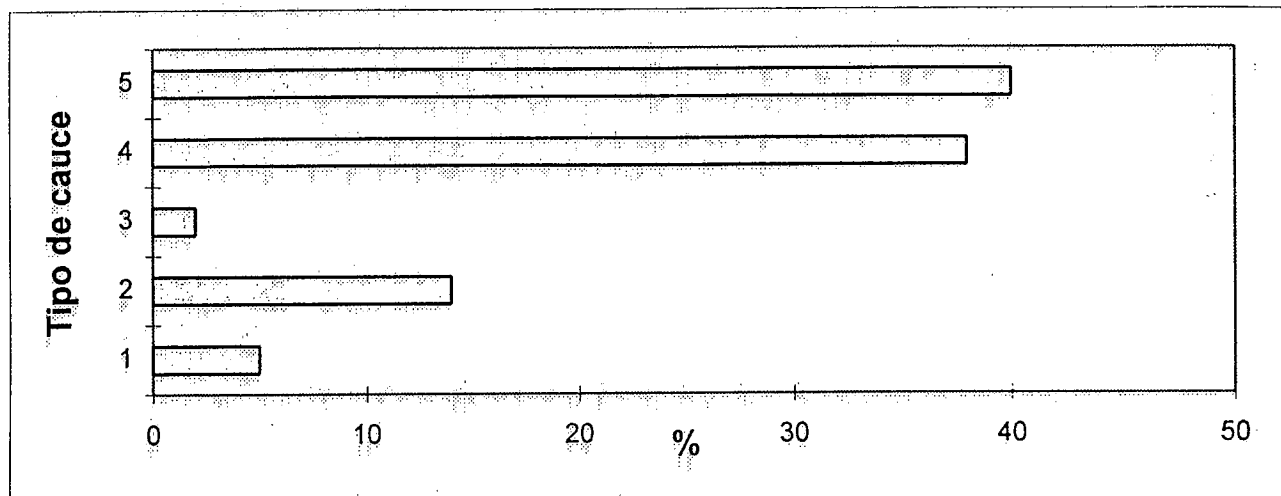


Figura 11.- Distribución de los tipos de cursos fluviales diferenciados en la clasificación. El porcentaje representado en el eje horizontal corresponde a la longitud total de la red de drenaje que pertenece a cada uno de los tipos. Las cinco clases corresponden a las tipologías descritas en la figura 10.

curren sobre llanuras aluviales (*alluvial rivers*) en el sentido ya comentado por Hack (1957) y Schumm (1960), respectivamente. En los *alluvial rivers* el ecosistema fluvial presenta una mayor diversidad, a la vez que son los sectores del medio fluvial que han soportado una presión humana mayor por su escaso relieve, fácil acceso y evidente utilidad agrícola y urbanística. Dentro de los tramos que transcurren por llanuras se han separado los tramos de ríos de morfología anastomosada o meandriforme de los tramos rectos, puesto que los dos primeros presentan un mayor valor paisajístico y la posibilidad de albergar ecosistemas más diversificados (Figs. 9 y 10).

Para discriminar entre los tramos de ríos restantes se ha tenido en cuenta su altitud y caudal de forma indirecta, puesto que estas características están vinculadas con las dimensiones del cauce y su altitud relativa con respecto al recorrido total del río. Sin embargo, para la región asturiana, los datos disponibles de caudales son insuficientes para clasificar el conjunto de la red. Es por ello que se seleccionó la granulometría del lecho como variable para discriminar entre tramos altos y bajos de la red. La cartografía de los tamaños de clastos pone de manifiesto que los tramos de granulometría más fina (con lechos de canales constituidos por cantos, gravas y arenas) ocupan, de forma general, los tramos de posiciones intermedias y bajas en las cuencas.

Respecto a los tramos fluviales que no transcurren por llanuras se han diferenciado los tramos de cañones o desfiladeros. Estos relieves, debido a que presentan condiciones físicas particulares (baja insolación, suelos muy someros, grado de humedad muy variable, etc.), generan comunidades biológicas propias, algunas de las cuales son de gran valor ecológico.

La clasificación propuesta a partir de la combinación de estos criterios (Fig. 10) discrimina cinco tipos diferentes cuyos porcentajes respecto al conjunto de la red analizada para Asturias son los representados en la figura 11.

Esta clasificación separa los tramos que presentan un mayor desarrollo del sistema fluvial (Clase 1), de aquellos menos desarrollados y más frecuentes en la región, correspondientes a tramos rectos sin depósitos aluviales (Clases 4 y 5), a la vez que separa algunas unidades de paisaje singulares como son los desfiladeros (Clase 3). Esta clasificación fue obtenida a partir de operaciones de selección, cruce y combinación en el SIG de los mapas temáticos implicados. Las cinco unidades propuestas definen las características invariables de medio físico del sistema fluvial, mientras que el resto de capas recogidas en la base de datos (Figuras 1A y 1B) permite cualificar las clases establecidas atendiendo a la riqueza biótica (información referida a la vegetación de ribera, vegetación de llanuras y especies catalogadas) y a la incidencia antrópica en el medio, tanto directamente en la comunidades biológicas (con la introducción de la zonificación de la red según la normativa de pesca vigente y con el inventario de obstáculos) como de forma indirecta, en el sentido de modificar el medio físico (información referida a las canalizaciones, embalses, presas y edificaciones sobre llanuras). Además se han incorporado datos hidrológicos (información referida a tablas de caudales según la red de aforos, volúmenes de vertidos y cargas contaminantes, así como el establecimiento de tramos fluviales según la calidad de sus aguas), que permiten el control hídrico de la red. Los datos de aforos se han introducido en el SIG a partir de sus coordenadas geográficas creando una capa de puntos a los que se asocian los ficheros tabulares correspondientes.

Conclusiones

La utilización de una base de datos, creada para el análisis y gestión del sistema fluvial asturiano desde un Sistema de Información Geográfica (SIG), ha permitido cuantificar de forma inmediata áreas, longitudes y

formas de algunas de las variables analizadas, así como cruzar la red de drenaje con los diferentes mapas temáticos elaborados. En ella se ha tenido en cuenta tanto los aspectos referidos al medio físico, tales como la litología del sustrato, la morfología de los cauces, la presencia de llanuras aluviales y los tramos de desfilaro rocoso, como los aspectos derivados de la intervención humana.

Como resultado de este análisis se sintetizó en el SIG un nuevo mapa de la red fluvial en el que se diferencian cinco tipos de tramos fluviales en función de las características propias del medio físico.

El conjunto de información integrada en el SIG permite establecer de forma rápida y precisa el grado de naturalidad de cada tramo diferenciado, la diversidad de habitats y detectar singularidades y alteraciones importantes para el conjunto del sistema fluvial, así como facilita la generación de nuevos mapas temáticos en función de las variables que se quieran analizar durante la gestión de la red, tanto para definir su ordenación y usos como para su mantenimiento y control.

Este trabajo ha sido realizado en el INDUROT de la Universidad de Oviedo, en el contexto del convenio de colaboración con la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio del Principado de Asturias (Proyecto: Investigación sobre recursos naturales. SV-PA-94-003), dentro del subproyecto "Plan de Recuperación y Protección de los Sistemas Fluviales Asturianos". Este trabajo ha sido mejorado sustancialmente gracias a las oportunas observaciones y correcciones sobre el manuscrito original realizadas por parte de dos revisores anónimos y del editor principal de la Revista de la SGE.

Bibliografía

- Alonso, J.L., Pulgar, J.A., García-Ramos, J.C. y Barba, P. (1995): Tertiary basins and alpine tectonics in the Cantabrian Mountains (NW Spain) En : *Tertiary basins of Spain* (P.Friend y C. Dabrio, Eds.), Cambridge Univ. Press, Cambridge: 214-227.
- Botosaneanu, L. (1988): Zonation et classification biologique des cours d'eau: développements récents, alternatives, perspectives. *Atti XV Congr. Naz. itl. Ent. L'Aquila* : 33-61.
- Brookes, A. (1993): River Channel Change. En: *The Rivers Handbook* (Calow, P. y Petts, G.E. Eds.) Blackwell Sci. Publ., Oxford, 523 pp.
- ESRI (1992): *Understanding GIS. The ARC/INFO Method*. Environmental Systems Research Institute, Inc., Jhon Wiley & Sons Inc. New York, 423 pp.
- Farias P. y Marquín J. (1995): El relieve. En : *Geología de Asturias*. (C. Aramburu y F. Bastida Eds.) Ediciones Trea, S.L., Oviedo, 314 pp.
- Hack, J.T. (1957): Studies of longitudinal stream profiles in Virginia and Maryland. *U.S. Geol. Survey, Prof. Paper* 294-B : 45-94.
- Hynes, H.B.N. (1970): *The Ecology of Running Waters*. University of Toronto Press, Toronto.
- Hynes HBN (1975): The stream and its valley. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung fur theoretische und angewandte Limnologie*, 19: 1-15.
- Illies, J. y Botosaneanu, L. (1963): Problèmes et méthodes de la classification et de la zonation écologique des eaux courantes, considérées surtout du point de vue faunistique. *Mitt. Soc. int. Limnol.*, 12 : 1-57.
- Julivert, M. y Marcos, A. (1981): Mapa Geológico de España, E 1:200.000. *Hoja n° 9 Cangas de Narcea*. IGME. Madrid.
- Julivert, M., Truyols, J. y García Alcalde, J. (1981a) : Mapa Geológico de España, E 1:200.000. *Hoja n° 3 Oviedo*. IGME. Madrid.
- Julivert, M., Truyols, J. y García Alcalde, J. (1981b): Mapa Geológico de España, E 1:200.000. *Hoja n° 10. Mieres*. IGME. Madrid.
- Leopold, I.B. y Wolman, M.G. (1957): River channel patterns: braided, meandering and straight. *U.S. Geol. Survey, Prof. Paper*, 282-B : 38-85.
- Llopis, N. (1957): El terciario continental en los alrededores de Oviedo. *Estud. Geol.*, 13 :277-344.
- Mendizábal Carrillo, A., Rodríguez Mateos, E. y García Berrio, F. (1992): Aplicación del SIG a la evaluación de recursos hidráulicos. *1er Congreso de la Asociación Española de Sistemas de Información Geográfica y Territorial*, Madrid. 447-453.
- Patac, I (1920) : La formación uraliense asturiana. *Estudios de cuencas carboníferas*. Artes Gráficas, Gijón, 50 pp.
- Pello, J., Julivert, M. y Marcos, A. (1981): Mapa Geológico de España, E 1:200.000. *Hoja n° 2 Avilés*. IGME.
- PRIHA (1990) : *Plan Regional de Infraestructura Hidráulica de Asturias*. Ed. Servicio de Publicaciones del Principado de Asturias. Oviedo.
- Robinette, A. (1991): Land Management applications of GIS in the State of Minnesota. En: *Geographical Information Systems* (D.J. Maguire, M. F. Goodchild and D.W. Rhind Eds.). Mc Graw-Hill Book Co., 2, 275-283.
- Schumm, S.A. (1960): The shape of alluvial channels in relation to sediment type. *U.S. Geol. Survey, Prof. Paper* 352-B : 13 p.
- Strahler A.N. (1964): Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. *Handbook of Applied Hydrology. Section 4-II*, McGraw-Hill, New York. 320 pp.
- Truyols, J. (1983): La Cuenca Carbonífera Central. En : *Carbonífero y Pérmico de España*. X Inter. Congr. Carboníf. Stratigr. Geol., Madrid, 60-81.
- Wallance, T. (1988): Raster and vector data integration: past techniques, current capabilities and future trends. *GIS/LIS'88 Proceedings*, 2 : 418-426.
- Way D.S. (1978): *The interaction between urbanization and land*. Quantity in environmental planning and design. Graduate school of design, Harvard University, Cambridge, 353 pp.

*Manuscrito recibido el 4 de Noviembre de 1996
Aceptado el manuscrito revisado el 16 de Mayo de 1997*