

ELABORACIÓN DE UN SISTEMA INTEGRAL DE CODIFICACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE ELEMENTOS HIDROLÓGICOS (SICAEH)

José Carlos Robredo Sánchez ⁽¹⁾; Susana Chalabe ⁽²⁾; Carlos de Gonzalo Aranoa ⁽¹⁾; Pablo Huelin Rueda ⁽¹⁾; Juan Ángel Mintegui Aguirre ⁽¹⁾ & Enrique Tarifa ⁽²⁾

⁽¹⁾ Unidad de Hidráulica e Hidrología, Departamento de Ingeniería Forestal, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid, Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid (España), Teléfono +34 91 3367118. e-mail: josecarlos.robredo@upm.es

⁽²⁾ Unidad de Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas UGICH, Universidad Nacional de Jujuy, San Salvador de Jujuy. (Argentina)

⁽³⁾ Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy, San Salvador de Jujuy. (Argentina)

Introducción

En el marco de la Acción Integrada (AI) entre la Universidad Politécnica de Madrid y la Universidad Nacional de Jujuy titulada: "Implementación de una unidad de estudio, monitorización y control de cuencas hidrográficas, con la finalidad de apoyar la toma de decisiones en la gestión a medio y largo plazo en la Provincia de Jujuy (Argentina)", financiada por la AECID, se planificaron (2008) y se vienen desarrollando (2009-11) tres grupos de actuaciones: 1) De formación sobre la ordenación y restauración de cuencas vertientes. 2) De investigación aplicada y asesoramiento en las mismas cuestiones a los organismos de la Provincia con competencias sobre las cuencas vertientes. 3) De colaboración e integración de todos los entes de la Provincia que participan en la AI, para desarrollarla en sus aspectos hidráulicos, hidrológicos, geo-torrencales y de ciencias y técnicas auxiliares (cartográficas, informáticas, etc.), que puedan ayudar a mejorar actividades específicas de cada uno de los organismos participantes.

Las actuaciones del grupo 2 incluyen las tareas: *a)* la monitorización hidro-meteorológica de las cuencas vertientes de la Provincia de Jujuy, *b)* la elaboración de una cartografía básica orientada a la ordenación territorial de la Provincia desde un punto de vista hidrológico y *c)* el desarrollo de utilidades para la gestión hidráulica e hidrológica de cuencas. Esta comunicación aborda un aspecto del epígrafe *b)*.

Para analizar el comportamiento hidrológico y la problemática geo-torrencial de las cuencas vertientes de la Provincia de Jujuy, es imprescindible definir previamente la estructura hidrográfica de las mismas; tarea que se decidió comenzar estudiando la cuenca de la Quebrada de Humahuaca. Para ello se partió de la elaboración de una cartografía básica y la recopilación de la información existente. Para la primera se aprovechó la información digital de elevación del terreno a nivel mundial del proyecto SRTM puesta en Internet por la NASA y de libre disposición. A partir de ella se generó un Modelo Digital de Elevaciones (MDE), que se corrigió para la Provincia de Jujuy, mediante la información de la Red Geodésica disponible en la Dirección Provincial de Inmuebles de la Provincia de Jujuy y en el Instituto Geográfico Nacional de Argentina, proporcionando un mapa de curvas de nivel con equidistancia de 25 m. Para la segunda, se recopiló la información hidrológica facilitada por los Servicios correspondientes de la Provincia de Jujuy. Todo ello permitió realizar una subdivisión y codificación hidrográfica de la cuenca de la Quebrada; estableciendo una relación de puntos

de control sobre su red de drenaje, atendiendo a los cuales se digitalizaron las correspondientes divisorias de aguas.

La extensión de dicho esquema a todas las cuencas de la Provincia de Jujuy, como se planifica en la AI; exige una codificación hidrográfica de la red de cauces naturales de la Provincia. Con este fin se planteó realizar una división previa en unidades hidrológicas, que fuera progresiva y respondiera a unos criterios generales; por lo que se decidió partir de una división de cuencas hidrográficas existente, realizada por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación a nivel nacional. De dicha división se han actualizado las cuencas que en algún punto ocupan el territorio de la Provincia de Jujuy y sobre sus límites se ha efectuado un análisis detallado para delimitar sus divisorias, con la precisión que permite la cartografía básica elaborada a través de la AI (Figura 1).



Figura 1. Divisorias de las grandes cuencas hidrográficas de Argentina utilizando de fuente la Subsecretaría de Recursos Hídricos (azul), sobre la división administrativa provincial (negro). En el detalle, división preliminar (rojo) de las cuencas y subcuencas realizada en el ámbito de la AI para la Provincia de Jujuy. Se aprecia el mayor detalle existente en la zona de la Quebrada de Humahuaca.

Objetivos

Se pretende establecer un método de codificación de carácter universal, para los elementos que constituyen la base de la organización del esquema hidrológico; que permita compartir información de forma sencilla y crear bases de datos geográficos actualizables con estos elementos. De esta forma los elementos irán teniendo mayor precisión dentro de las bases de datos, y los resultados de los trabajos que se vayan realizando alimentarán a éstas, mejorando el trazado y

posicionamiento de los elementos; que nunca alteraron su situación geográfica general.

Metodología

Para poder codificar los elementos se precisa realizar previamente una división conceptual del territorio en cuencas hidrográficas y asignarlas algún tipo de identificación. Al respecto se ha aplicado el procedimiento de Pfafstetter (1989) para la asignación de la numeración; pero aumentando a 2 los dígitos de cada nivel, lo que permite crear una estructura lógica y secuencial de cuencas vertientes dentro de cada unidad hidrológica, pudiendo abarcar 99 unidades hidrológicas por cada nivel. De esta forma cada cuenca queda codificada con 10 dígitos según el esquema: *AABBCCDDEE*. Donde:

AA correspondería con un primer nivel (gran cuenca internacional, continente, país, ...)

BB correspondería con un segundo nivel (gran cuenca continental, cuenca nacional, ...)

CC correspondería con un tercer nivel (cuenca regional, afluente importante, ...)

DD correspondería con un cuarto nivel (cuenca local a un primer nivel, ...)

EE correspondería con un quinto nivel (cuenca local a un segundo nivel, ...)

Realizado es esquema de codificación, se procede a determinar los puntos de la red de drenaje que determinan las cuencas vertientes. A partir de ellos se digitalizan las divisorias y se divide la red de drenaje en tramos. Fijadas las divisorias se procede a constituir los polígonos de las cuencas vertientes delimitadas por aquellas. Los elementos que se codifican son:

Punto de Control de Flujo (PCF), que es el punto de partida en la delimitación de la cuenca vertiente. Cada PCF tiene asociada una *Línea de Control de Flujo (LCF)*, que representa la sección transversal que ocupa el flujo.

Tramos de la red de drenaje. Delimitados entre dos PCF, situados aguas arriba y aguas abajo. El agua que sale del tramo por el PCF inferior, es la suma de la que entra por el PCF superior más la aportación de la cuenca vertiente a dicho tramo.

Área inundable del tramo. Representa la superficie que puede ser ocupada por el flujo. En realidad no es un área fija al ser función del caudal circulante. Para su representación se puede utilizar el concepto de Dominio Público Hidráulico asociado a dicho tramo.

Cuenca vertiente a un tramo. Representa la cuenca vertiente al PCF inferior menos la cuenca vertiente al PCF superior.

Líneas divisorias de aguas. Se representan aquellas necesarias para delimitar las distintas partes del territorio que vierte a cada PCF.

Resultados de la metodología

Con la aplicación de la metodología anterior: los *PCF* y *LCF* quedan codificados en función de su posición geográfica, utilizando los valores de sus coordenadas geográficas en el sistema WGS84, en formato decimal, buscando el carácter universal que se quiere dar al método de codificación. Cada punto tiene un código formado por 19 dígitos, según el siguiente esquema:

pcfABBBCCCCDEEEFFFF. Donde: *pcf*, son tres dígitos indicadores del tipo de punto en cuestión. Estos dígitos pueden cambiarse por otros si el codificador considera conveniente, pero manteniendo su número. *ABBBCCCC*, longitud del punto en grados decimales en el sistema WGS84. *A=0* significa E y *A=1* significa O, *BBB* es la parte entera de la coordenada y *CCCC* son los cuatro primeros decimales.

DEEEFFFF, latitud del punto en grados decimales en el sistema WGS84. *D=0* significa N y *D=1* significa S, *EEE* es la parte entera de la coordenada y *FFFF* son los cuatro primeros decimales. La línea de control de flujo asociada (*LCF*) tendrá el mismo código que el *PCF* salvo que los tres dígitos iniciales serán *lcf*. Estas líneas forman parte de la divisoria de las cuencas vertientes correspondientes.

La codificación de los tramos de la red de drenaje; de las áreas inundables de los tramos y de las cuencas vertientes a los tramos, también presentan 19 dígitos en los que los 16 últimos coincidirán con los del *PCF* superior. En el caso de los tramos, los tres primeros tendrán el siguiente esquema: *rXX*; en el caso de las áreas *iXX* y en el caso de las cuencas *cue*. Donde *XX* será, en adelante, el nivel de detalle con el que está digitalizado el tramo o área en cuestión.

Líneas divisorias de aguas, al separar dos cuencas vertientes, forman parte a la vez de dos posibles polígonos, por lo que en su código tienen que aparecer la referencia a ambas cuencas. Además, como en los elementos anteriores, puede tener distintos niveles de representación en función del detalle de la base cartográfica utilizada para definirlos; por tanto su código tiene 25 dígitos y presenta el siguiente esquema: *dXX-AABBCCDDEE-FFGGHHIIJJ*.

Conclusiones

El resultado final del SICAEH presenta una estructura como la representada en la Figura 2 y se ha aplicado a las cuencas hidrográficas de la provincia de Jujuy.

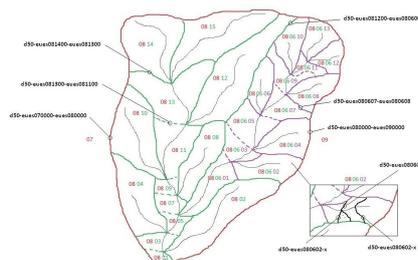


Figura 1. Esquema de la representación SICAEH a una hipotética cuenca hidrográfica

Referencias

Pfafstetter, O. (1989). *Classification of hydrographic basins: coding methodology*, unpublished manuscript, Departamento Nacional de Obras de Saneamiento, Rio de Janeiro; available from J. P. Verdin, US Geological Survey, EROS Data Center, Sioux Falls, South Dakota 57198 USA.

Verdin, K. L. & Verdin, J. P. (1999) A topological system for delineation and codification of the Earth's river basins. *Journal of Hydrology*, 218, 1-2, 1-12.