

## **Determinación de parámetros hidrológicos mediante clasificación usando números primos. Aplicación para el Número de Curva y el número de Manning.**

### **Resumen**

La modelización hidrológica es una potente herramienta que sirve para estimar variables hidrológicas, generalmente aquellas difíciles de medir, como es el caso de caudales. Si bien se realizan mediciones de forma continua en algunos puntos de una cuenca mediante estaciones de aforo, no es viable económicamente extender dichas mediciones a todos los puntos de una cuenca. Incluso para el caso de cuencas con caudales esporádicos, como es el caso de las ramblas, la modelización hidrológica es la única opción dada la gran dificultad de realizar mediciones de campo. En su lugar, se recurre cada vez más a la modelización hidrológica, al permitir ésta el cálculo del caudal en cualquier punto de la hidrografía de una cuenca a partir de variables geométricas (cuenca, cauce, etc.), climáticas (precipitación, temperatura, etc.), y otras relacionadas con el suelo (capacidad de absorción de agua de precipitación, rugosidad del lecho de los cauces, etc.). Estimar el valor de estas últimas para toda una cuenca no es una tarea sencilla, ya que su valor viene determinado por ensayos de campo o de laboratorio. Sin embargo, existen relaciones ya estipuladas y ampliamente utilizadas que establecen el valor de estas variables a partir de características del suelo (usos, litología, edafología, granulometría, vegetación, entre otros). Este trabajo se centra en este aspecto: desarrollar una metodología con la que calcular la distribución espacial de variables ligadas con el suelo a partir de una reclasificación con números primos. Dicha metodología se aplica para estimar las abstracciones iniciales (Número de Curva) y la rugosidad del lecho de los cauces (número de Manning). La primera variable establece la tasa de infiltración de agua de lluvia por parte del suelo, mientras que la segunda cuantifica la resistencia del lecho de un cauce al avance de un caudal. Como casos de estudio se han seleccionado dos ramblas costeras de la Demarcación Hidrográfica del Segura: Moreras y Canteras. El desarrollo de la metodología ha resultado muy eficaz a la hora de asignar espacialmente valores de estos dos parámetros a todos los puntos de las cuencas estudiadas, por lo que podría ser extrapolado a extensiones mayores, como podría ser todo el territorio español. Por último, destacar que la cobertura vegetal existente ha sido la característica más influyente en el valor final de ambas variables, por lo que debe tenerse en cuenta a la hora de realizar cualquier modelización hidrológica.

**Palabras clave:** Sistemas de Información Geográfica, Hidrología, Inundaciones, Parámetros hidrológicos, Segura.

## 1. Introducción

La modelización hidrológica es una potente herramienta que sirve para estimar variables hidrológicas, generalmente aquellas difíciles de medir, como son los caudales en ramblas o la evapotranspiración real (Wegehenkel & Gerke; 2013). Si bien existe la posibilidad de medir dichas variables de forma puntual, no es viable económicamente extender dichas mediciones a todos los puntos de una cuenca. Por lo que generalmente se recurre a múltiples modelos matemáticos, que van desde simples formulaciones empíricas y determinísticas, como es el caso de la estimación de la evapotranspiración potencial a partir de la temperatura (Portela & Santos, 2007), hasta complejos modelos de simulación a lo largo de un periodo de tiempo. Dentro de estos últimos, se enmarcan aquellos que estiman los caudales en tramos fluviales a partir de datos meteorológicos (modelos hidrometeorológicos), tanto en ríos como en ramblas (Koriche & Rientjes, 2016).

Para el caso concreto de los modelos hidrometeorológicos es necesario conocer variables i) geométricas (cuenca, cauce, entre otras), ii) climáticas (precipitación, temperatura, etc.), y iii) otras relacionadas con el suelo, como es la capacidad de absorción de agua de precipitación (Pellicer-Martínez & Martínez-Paz, 2014). La determinación de las variables geométricas se obtiene a partir del tratamiento de información topográfica a partir de los conocidos Sistemas de Información Geográfica (SIG). Entre estas variables se encuentran la superficie de la cuenca o el tiempo de concentración (Sharifi & Hosseini, 2011), entre otras. Del mismo modo, las variables climáticas, obtenidas en puntos concretos del espacio mediante estaciones meteorológicas, también se pueden procesar y extrapolar espacialmente con herramientas SIG (p.e. mediante kriging) (Jin *et al.*, 2016). Por último, las variables relacionadas con el suelo, como son aquellas encargadas de establecer la tasa de infiltración o la resistencia al flujo superficial, se suelen estimar a partir de ensayos de campo o de laboratorio (Latorre *et al.*, 2015), si bien lo habitual es recurrir a clasificaciones que relacionan características del suelo (usos, litología, edafología, granulometría, vegetación, entre otros) con el valor de dichas variables (Estrela *et al.* 1995).

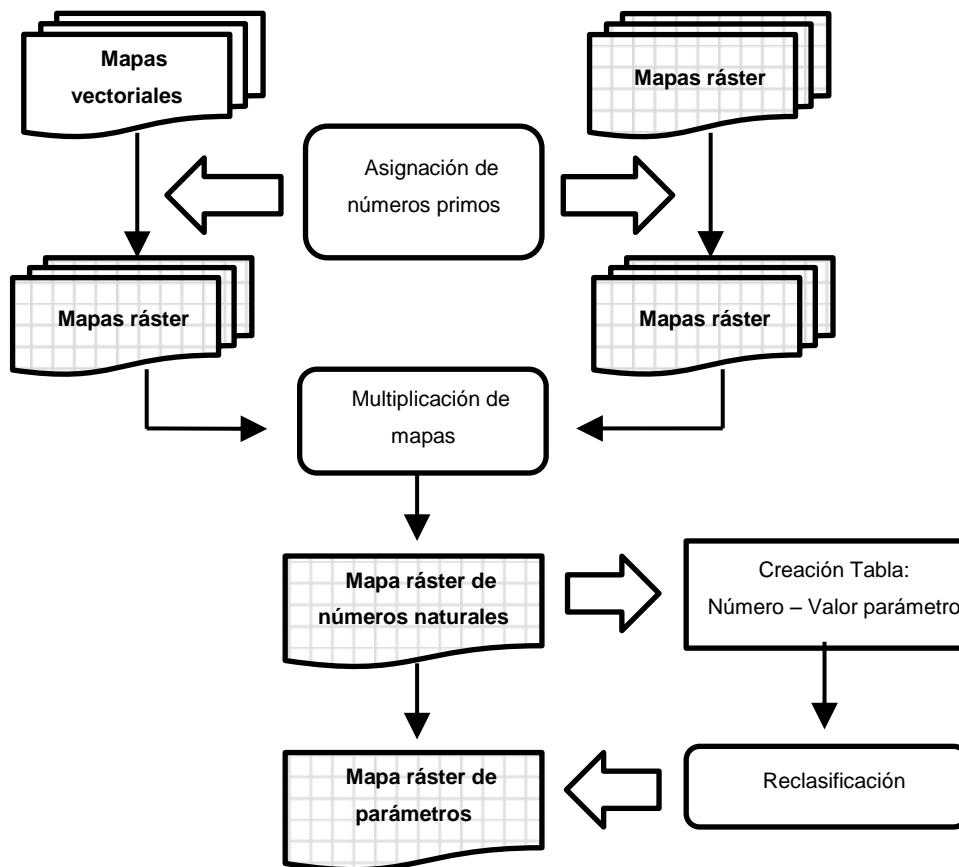
Sobre este último aspecto se centra el presente trabajo, que consiste en desarrollar una metodología a partir de la cual se relacionan las características del suelo con variables o parámetros de la modelización hidrológica e hidráulica. En concreto dos variables habituales en la modelización de avenidas y que se emplean como parámetros: el Número de Curva (*CN*) (Bauwe *et al.*, 2016) y el número de Manning (*n*) (Zhang *et al.*, 2011). El primero sirve para establecer la tasa de infiltración de agua de lluvia por parte del suelo, mientras que el segundo establece la resistencia que ofrece el lecho de un cauce al avance de un caudal. Este último (*n*) es ampliamente utilizado en la modelización hidráulica, y su conocimiento de forma distribuida en el espacio permite su aplicación directa en modelos hidráulicos bidimensionales. La metodología aquí desarrollada se aplica en las cuencas de dos ramblas costeras de la Demarcación Hidrográfica del Segura, la de las Moreras y la de las Canteras (CHS, 2016). En ambas ramblas se suelen producir eventualmente caudales esporádicos de gran magnitud, y la parte final de las mismas está declarada como zona inundable (MAGRAMA, 2016). Por lo que la información aquí generada puede ser utilizada para posteriores modelizaciones

hidrológicas e hidráulicas que permitan gestionar los usos del suelo cerca de los cauces, y evaluar las posibles medidas de protección contra inundaciones que se planteen por parte del organismo público responsable (CHS, 2016).

## 2. Metodología

La metodología consiste en realizar una reclasificación espacial utilizando números primos, ya que al multiplicar éstos entre sí da como resultado un único número. Así, es posible establecer una reclasificación biunívoca que proporcione una solución única que evite asignaciones erróneas.

Figura 1. Esquema metodología



Fuente: Elaboración propia.

La información de partida son mapas georreferenciados con información diversa (elevaciones, pendientes, usos, vegetación), tanto vectoriales como ráster. Si el mapa es ráster se reclasifican los valores de sus celdas asignándoles otros nuevos siguiendo un criterio previo (por ejemplo, si la elevaciones es superior a 1.000 se le asigna 1, en caso contrario 2). De igual modo, a los polígonos de los mapas vectoriales se les asigna un número primo en función de alguna de sus características (por ejemplo según la litología:

arcilla = 3; roca = 5,...). Posteriormente se transforma el mapa vectorial a ráster. Esta secuencia de trabajo se sigue para todas las características o aspectos que se han de tener en cuenta, sin repetir en ningún caso los números primos asignados. Seguidamente, se multiplican todos los mapas ráster entre sí obteniéndose un único mapa de números naturales, el cual tiene que ser reclasificado. Para ello, es necesario realizar una tabla con las relaciones biunívocas entre los mencionados números naturales obtenidos con la multiplicación y el valor de los parámetros. A partir de ella, se reclasifica el mapa y se obtiene un mapa con el valor de los parámetros distribuidos espacialmente (Figura 1).

### 3. Aplicación para determinar el Número de Curva

#### 3.1. Definición del Número de Curva

No toda la precipitación que cae sobre la tierra se transforma finalmente en escorrentía superficial que discurre por los cauces de una cuenca. Si existe cubierta vegetal, una parte queda retenida en la misma y, transcurrido un cierto tiempo se evapora, volviendo a la atmósfera (Linhoss & Siegert, 2016). El resto de volumen que no es atrapado por la vegetación entra en contacto con el suelo provocando un aumento de su humedad y, una vez que alcanza la saturación o la tasa máxima de infiltración (Mao *et al.*, 2016), el agua de lluvia se transforma en escorrentía superficial. Asimismo, en pequeñas depresiones endorreicas se almacena agua que tampoco formará parte de la escorrentía y terminará evaporándose o infiltrándose hacia los acuíferos. La suma de estos volúmenes de precipitación que no alcanzan los cauces se suele denominar abstracciones iniciales (Estrela *et al.* 1995).

Existen numerosas formulaciones matemáticas, tanto empíricas como físicas, para determinar la interceptación (Linhoss & Siegert, 2016), la tasa de infiltración (Mao *et al.*, 2016), así como la acumulación en depresiones (Ajmal *et al.*, 2016). Sin embargo, una de las metodologías más usadas es la del Número de Curva (Li *et al.*, 2015; Mishra *et al.*, 2014), que simula el efecto de estos tres procesos de forma conjunta (Bauwe *et al.*, 2016), y es la que se calcula en este trabajo.

El *CN* descompone las pérdidas de precipitación en una abstracción inicial (engloba todos los fenómenos de pequeñas pérdidas tales como, interceptación, almacenamientos superficiales e infiltración inicial) y tasa de infiltración. Se basa en una ecuación de balance (3) fundamentada en dos hipótesis:

1. La relación entre la precipitación neta y la máxima precipitación susceptible de generar escorrentía es equivalente a la relación entre la infiltración real acumulada y la capacidad máxima de retención del suelo (1).

$$\frac{P_n}{P - I_a} = \frac{F_a}{S} \quad (1)$$

2. La segunda hipótesis se basa en que la cantidad de abstracción inicial es una fracción de la capacidad máxima de retención del suelo.

$$I_a = \lambda S \quad (2)$$

La ecuación de balance indica que la precipitación total ( $P$ ) es igual a la suma de la precipitación neta ( $P_n$ ), las abstracciones iniciales ( $I_a$ ) y la infiltración real acumulada ( $F_a$ ) (3):

$$P = I_a + F_a + P_n \quad (3)$$

Donde  $P_n$  es la precipitación neta;  $P$  es la precipitación total;  $I_a$  es la abstracción Inicial,  $F_a$  es la infiltración real acumulada y  $S$  es la capacidad máxima de retención del suelo. El parámetro  $\lambda$  representa un porcentaje de  $S$  en tanto por uno y se le asigna un valor recomendado de 0,2 (Mishra & Singh, 2004), siendo su rango de variación entre 0,1 y 0,3. Al combinar las ecuaciones (1) y (3) resulta la siguiente formulación que establece la precipitación neta.

$$P_n = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (4)$$

La ecuación anterior (4) es válida siempre que  $P \geq I_a$ , de lo contrario el caudal es nulo. El parámetro  $S$  tiene un amplio rango de variación ( $0 \leq S \leq \infty$ ), que se puede expresar en función de un parámetro adimensional  $CN$ , que varía entre 0 y 100 (5). Si las unidades de todas las variables son pulgadas, dicha relación queda de la siguiente forma:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (5)$$

Mientras que si las unidades son mm se expresa mediante la siguiente ecuación (6):

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (6)$$

### 3.2. Cálculo del Número de Curva

Si bien existen varias metodologías para la determinación del  $CN$  del suelo de una determinada cuenca (Mishra & Singh, 2004), en España se viene empleando la clasificación que Estrela *et al.* (1995) hicieron para determinar el valor de las abstracciones iniciales  $I_a$  (comúnmente conocidas como umbral de escorrentía  $P_0$  en España) en función de la pendiente del terreno, del tipo de suelo y del uso que en él se desarrolla. Y a partir del valor de  $I_a$  es posible obtener el del parámetro  $CN$  (6). A modo de ejemplo en la Tabla 1 se muestra una pequeña parte de la clasificación de Estrela *et al.* (1995).

$$CN = \frac{5080}{I_a + 50.8} \quad (6)$$

Tabla 1. Ejemplos de la clasificación del parámetro abstracciones iniciales ( $I_a$ ).

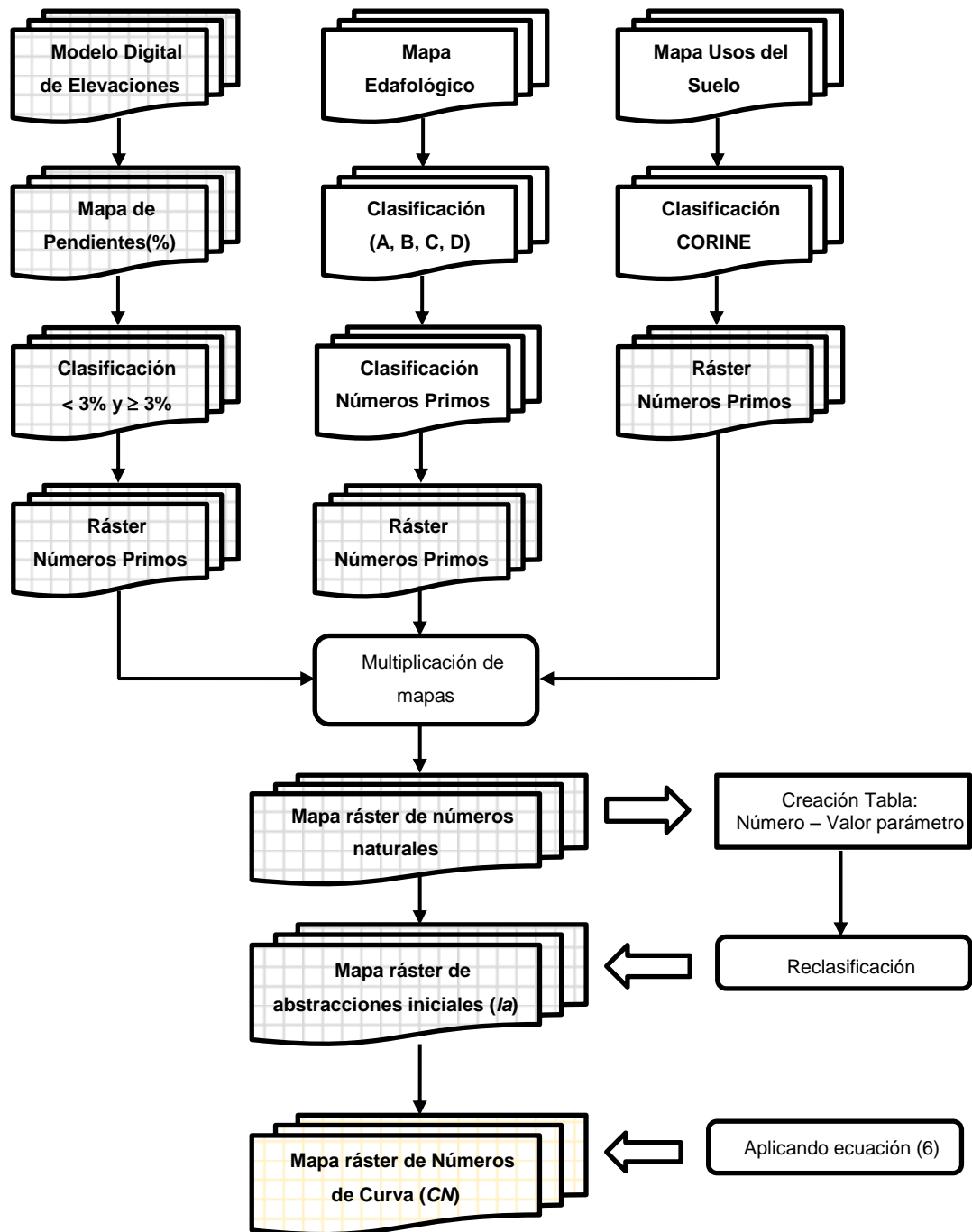
Uso del Suelo		Pendiente	Tipo de Suelo				Pendiente	Tipo de Suelo			
Código CORINE	Denominación	$p < 3$	A	B	C	D	$p \leq 3$	A	B	C	D
11200	Tejido urbano discontinuo	1	24	14	8	6	2	24	14	8	6

12100	Zonas industriales y comerciales	1	6	4	3	3	2	6	4	3	3
14210	Campos de Golf	1	79	32	18	13	2	79	32	18	13
33310	Xeroestepa subdesértica	1	57	25	12	7	2	24	14	8	6
33320	Cárcavas y/o zonas en proceso de erosión	1	15	8	6	4	2	15	8	6	4

Fuente: Estrela *et al.* (1995).

Por lo que, a partir de un modelo digital de elevaciones con el que determinar la pendiente, otro edafológico para determinar el tipo de suelo (A, B, C ó D), y otro de usos del suelo, es posible hacer una reclasificación y determinar el *CN* en un determinado punto (Tabla 1). Si este proceso se automatiza con las herramientas SIG, se estima un mapa ráster con *CN* que puede aplicarse en modelos hidrológicos distribuidos para el cálculo de caudales (Figura 2).

**Figura 2. Proceso de cálculo del Número de Curva.**



Fuente: Elaboración propia.

## 4. Aplicación para determinar el número de Mannig

### 4.1. Definición del número de Manning

Generalmente en los cálculos hidráulicos de caudales en lámina libre, la velocidad media del flujo se estima a partir de la siguiente ecuación conocida como fórmula de Manning (7):

$$V = \frac{1}{n} \cdot R_H^{2/3} \cdot S^{1/2} \quad (7)$$

Donde  $R_H$  y  $S$  son características geométricas del cauce: el radio hidráulico y la pendiente, respectivamente. Mientras que  $n$  es el número de Manning, parámetro que establece la resistencia al avance del agua por parte del material que da forma al cauce.

#### 4.2. Cálculo del número de Manning

Si bien existen muchas tabulaciones que fijan el valor de  $n$  para materiales artificiales (calculados en laboratorio), tales como el hormigón, esta aproximación no es posible en cuencas naturales, dada la alta heterogeneidad de los materiales que forman la red de drenaje. El valor de  $n$  depende de i) las distintas granulometrías de los materiales que están presentes en el lecho y en las márgenes del río, ii) la geología de estos materiales, iii) la forma del cauce y los obstáculos ubicados dentro del cauce y, iv) la vegetación. Incluso el valor de  $n$  es variable en función del caudal, si éste va modificando la geometría del cauce por medio de la erosión y por la deformación de la vegetación debida a la velocidad del agua (Martín Vide, 2004).

Por tanto, en cauces naturales, es recomendable utilizar otras metodologías capaces de considerar su heterogeneidad. Para ello, en la determinación espacial de este parámetro se suelen usar metodologías que contemplen estas variaciones, como es la propuesta por Cowan (1956), ya que considera en su formulación los principales factores que influyen en el rozamiento del agua durante su avance mediante la ecuación (8).

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \cdot m \quad (8)$$

Donde las cualidades del lecho que se analizan vienen recogidas en la Tabla 2.

**Tabla 2. Componentes del número de Manning de Cowan.**

$n_b$	Valor base de $n$ por las características de los materiales del cauce
$n_1$	Corrección por el efecto de las irregularidades del lecho
$n_2$	Corrección por variaciones en el ancho y forma de la sección transversal
$n_3$	Corrección por las obstrucciones
$n_4$	Corrección por la vegetación
$m$	Corrección por el grado de sinuosidad del cauce

Fuente: Cowan (1956).

Para establecer los valores de las correcciones que incluye Cowan (1956) se recurre al trabajo de Aldridge & Garrett (1973), que recoge unos valores recomendados en función de las características del cauce (Tabla 3).



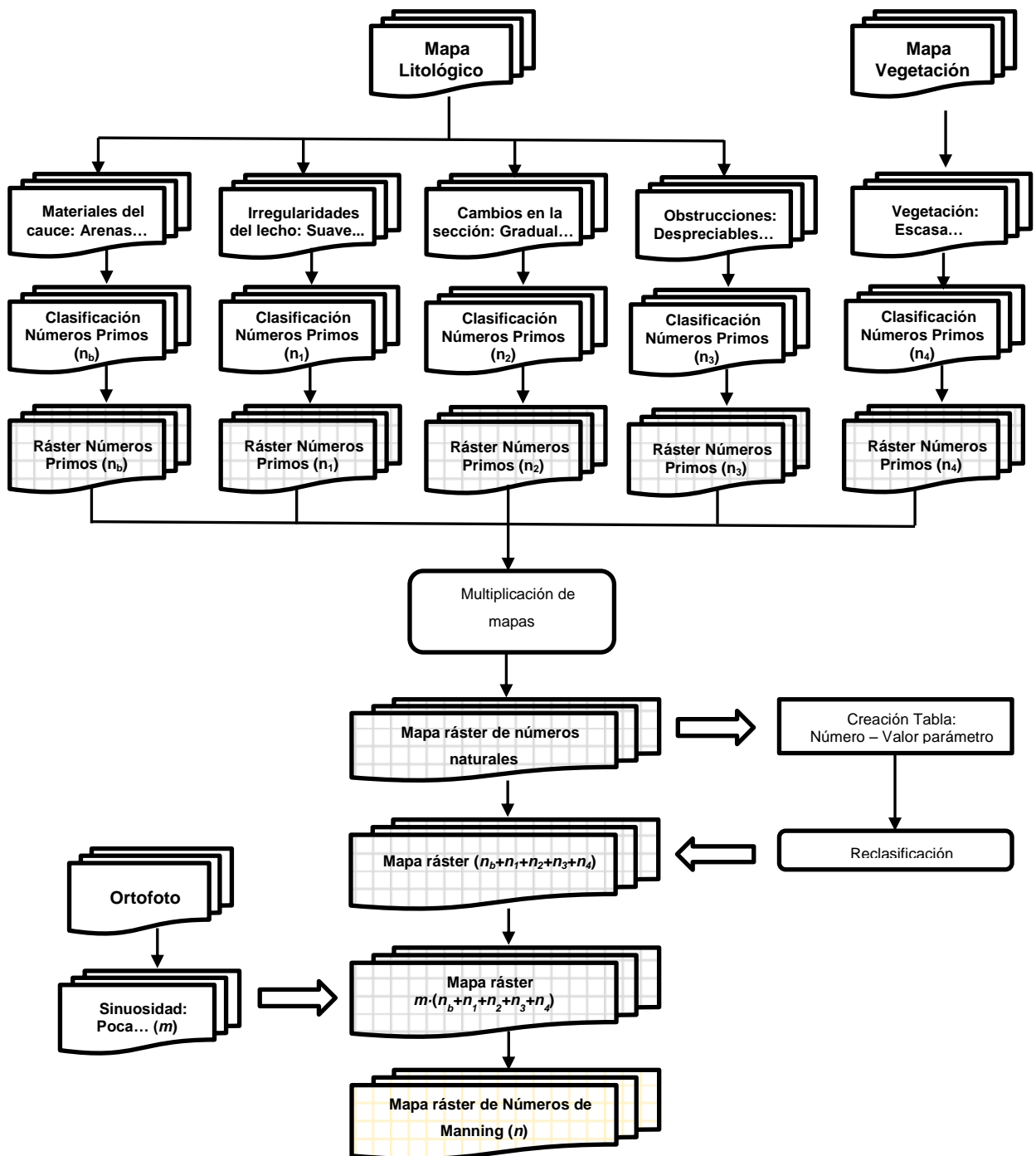
**Tabla 3. Rango de variación del número de Manning.**

		Alternativas	Valor recomendado	
$n_b$	Materiales del cauce	Arenas	0,020	
		Roca	0,025	
		Gravilla	0,024	
		Grava	0,028	
$n_1$	Irregularidades del lecho	Suave	0,000	
		Pequeñas	0,0001 - 0,005	
		Moderadas	0,006 - 0,010	
		Importantes	0,011 - 0,020	
$n_2$	Cambios en la sección transversal	Gradual	0,000	
		Ocasionalmente	0,001 - 0,005	
		Frecuentemente	0,010 - 0,015	
$n_3$	Obstrucciones	Despreciables	0,000 - 0,004	
		Pequeñas	0,005 - 0,015	
		Apreciables	0,020 - 0,030	
		Importantes	0,040 - 0,050	
$n_4$	Vegetación	Escasa	0,002 - 0,010	
		Media	0,010 - 0,025	
		Alta	0,025 - 0,050	
		Muy alta	0,050 - 0,100	
$m$	Sinuosidad	Poca	1,0	Ratio longitud del cauce/longitud del valle (1,0 – 1,2)
		Apreciable	1,15	Ratio longitud del cauce/longitud del valle (1,2 – 1,5)
		Importante	1,30	Ratio longitud del cauce/longitud del valle (>1,5)

Fuente: Aldridge & Garret (1972).

Por tanto, a partir de un mapa litológico se puede estimar tanto el valor base del número de Manning, como las correcciones por irregularidades del lecho, cambios en la sección transversal y obstrucciones, ya que estas características están ligadas al tipo de roca. La corrección por vegetación se puede determinar con un mapa de alturas de vegetación, mientras que la corrección por sinuosidad se calcularía posteriormente mediante una ortofoto. En la Figura 3 se muestra el proceso de cálculo propuesto.

**Figura 3. Proceso de cálculo del número de Manning.**



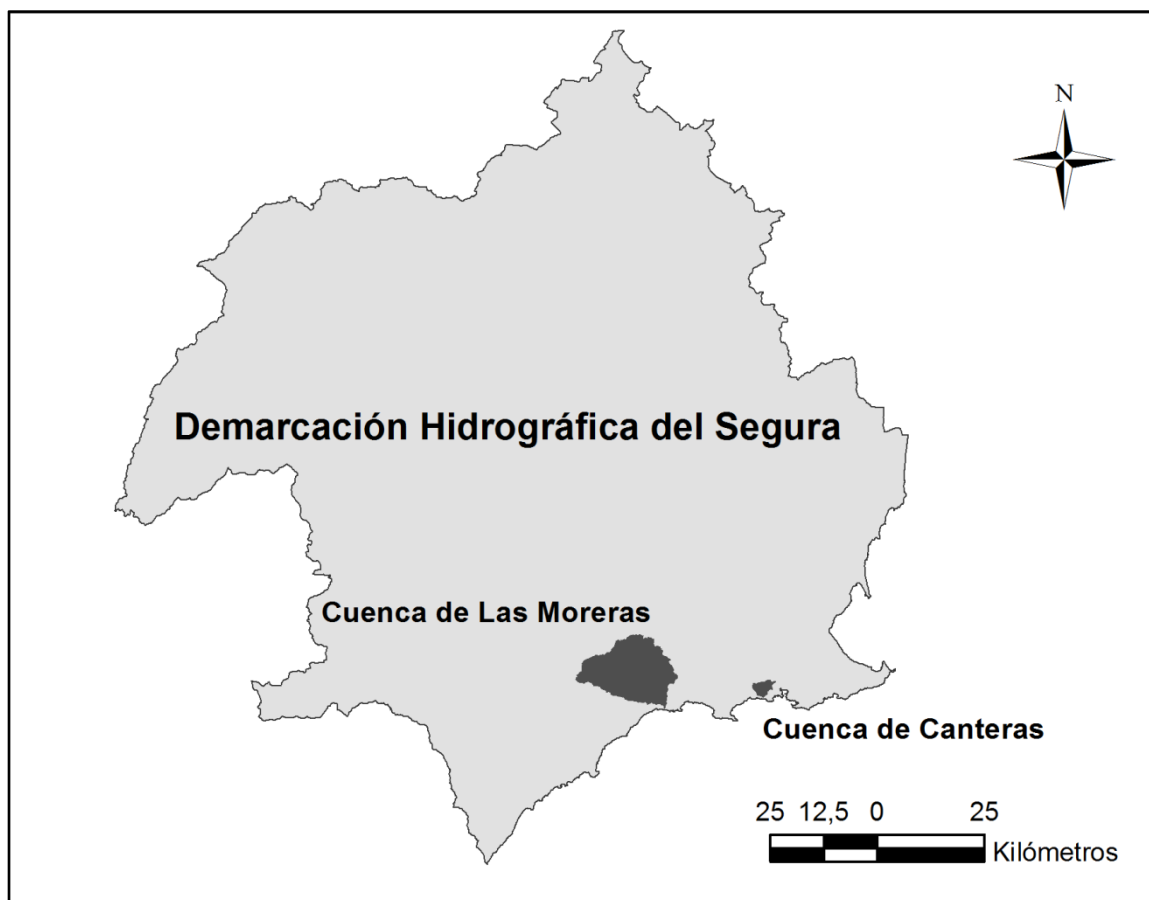
Fuente: Elaboración propia.

### 5. Aplicación a las cuencas de dos ramblas costeras: Moreras y Canteras.

La metodología descrita se ha puesto en práctica en dos cuencas costeras ubicadas dentro de la Demarcación Hidrográfica del Segura: Las Moreras y Canteras (Figura 4). La cuenca de Las Moreras tiene una extensión de 246 Km<sup>2</sup>, mientras que la de Canteras sólo tiene 9 Km<sup>2</sup>. Los principales usos del suelo en ambas cuencas son agrícolas y

forestales, pero existen pequeños núcleos urbanos cerca de los cauces principales. El clima es semiárido con precipitaciones medias que pueden llegar a ser inferiores a 200 mm/año (Grindlay *et al.*, 2011). A la baja precipitación que se registra cabe añadir que la mayor parte de la misma se produce de forma torrencial. Por lo que la red de drenaje son ramblas en las que se producen caudales esporádicos, siendo algunos de ellos de gran virulencia (García-Pintado *et al.*, 2009). De hecho, el tramo final del cauce principal de ambas ramblas está declarado como zona inundable (MAGRAMA, 2016).

**Figura 4. Localización zonas estudiadas**



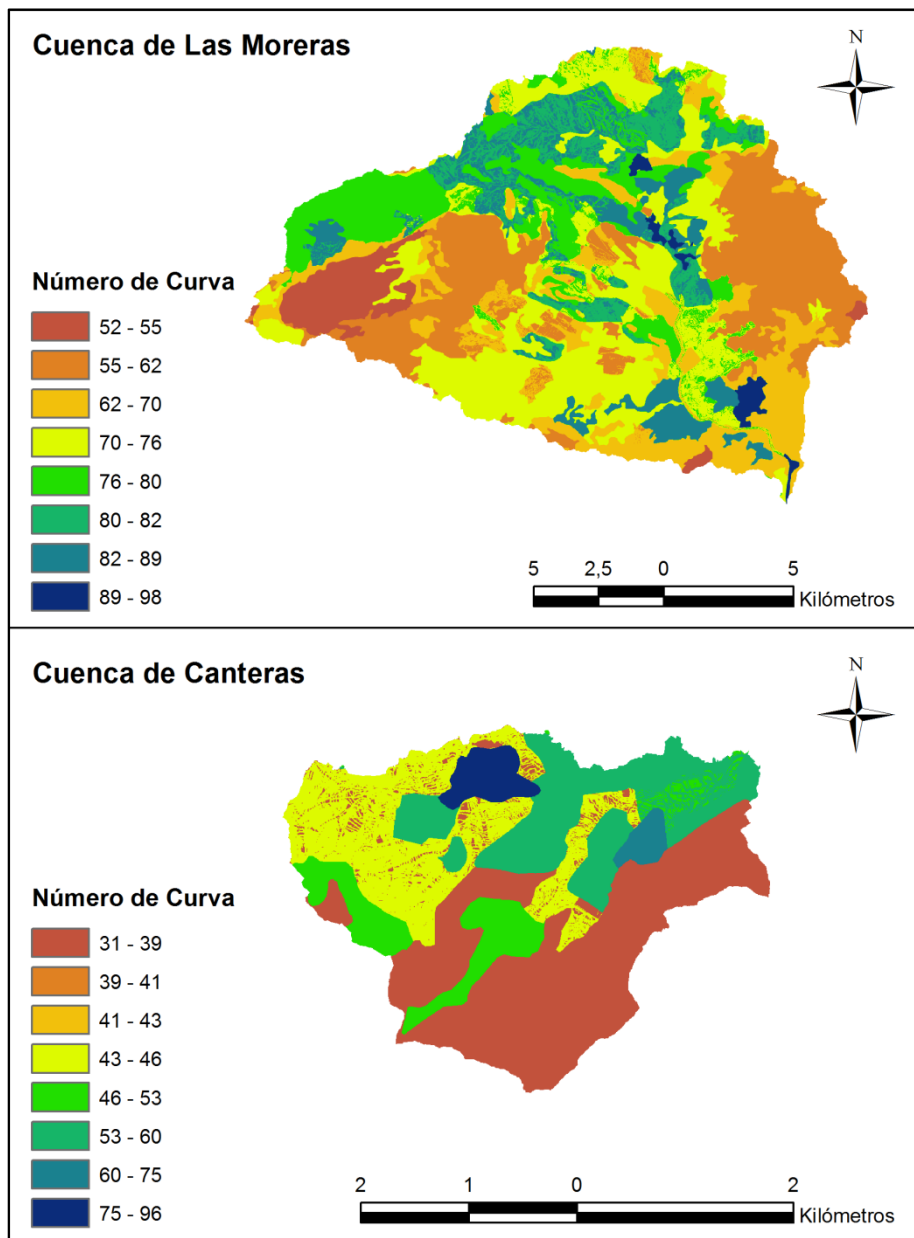
Fuente: Elaboración propia.

Los datos de partida empleados para determinar el parámetro  $CN$  son el Modelo Digital de Elevaciones y Edafológico de la Región de Murcia (IDE, 2016; CARM, 2008) y la clasificación de usos del suelo CORINE 2006 (Reif & Hanzelka, 2016). Mientras que los mapas de altura de vegetación, geológico y ortofoto (IDE, 2016; CARM, 2008; IGME, 2016) de la Región de Murcia son los empleados para definir el número de Manning  $n$ .

Respecto a los resultados obtenidos, en primer lugar destacar que la metodología aplicada en ambas cuencas ha sido capaz de establecer los parámetros  $CN$  y  $n$  de forma

distribuida en el espacio teniendo en cuenta las premisas establecidas por los métodos aplicados (Estrela *et al.*, 1995; Cowan, 1956; Aldridge & Garret, 1972).

Figura 5. Resultados Número de Curva (CN).



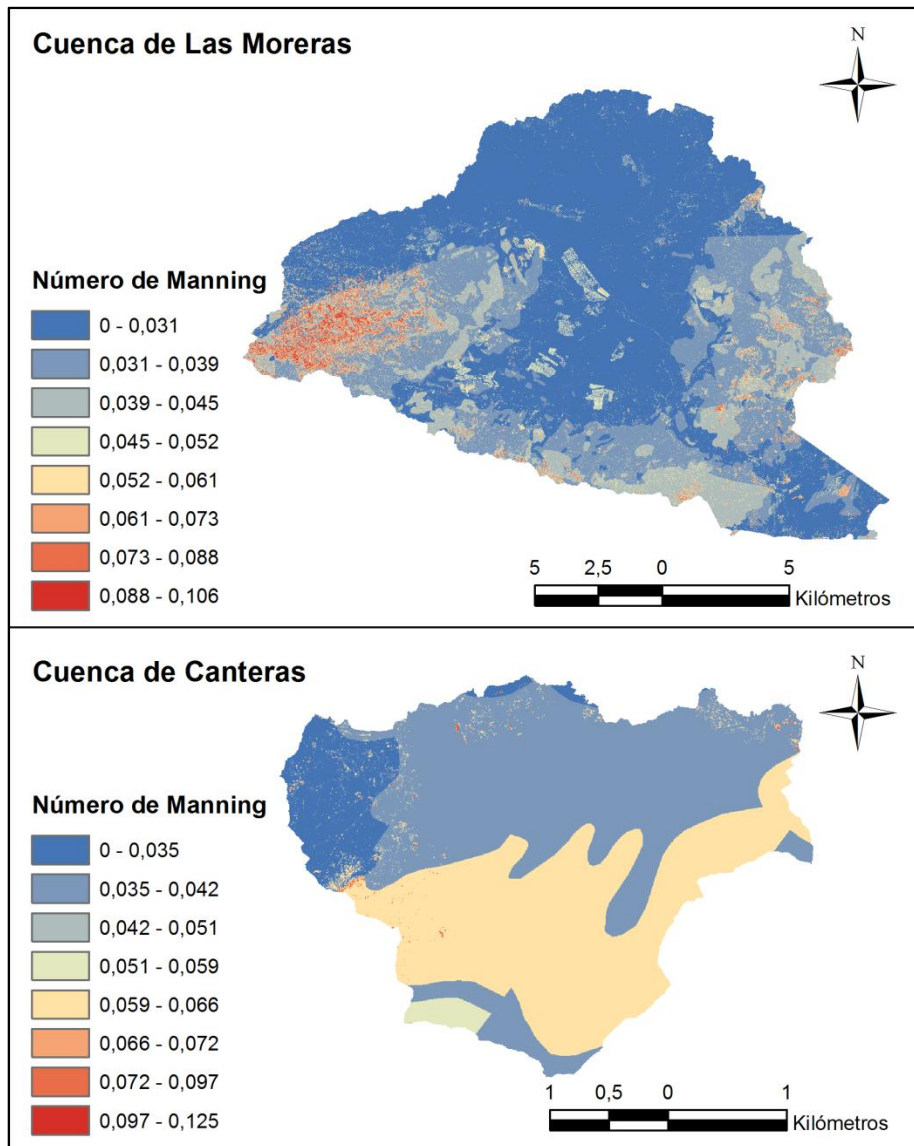
Fuente: Elaboración propia.

En la cuenca de Las Moreras los valores del CN varían entre 52 y 98, existiendo unas pequeñas zonas de la cuenca en la que las pérdidas de precipitación son muy bajas, que es donde se ubican los centros urbanos. Las zonas en las que se producen las mayores

abstracciones iniciales e infiltración (este y oeste de la cuenca) es donde se encuentran las principales extensiones de masas boscosas (Figura 5).

En la cuenca de Canteras los valores del CN varían en un rango mayor, entre 31 y 95. En las zonas urbanas del norte es donde se encuentran los suelos más impermeables, mientras que los cultivos en terraza ubicada al sur de la cuenca son los responsables de las mayores pérdidas de precipitación. Por lo que en ambos casos, tal y como establece el método seguido (Estrela *et al.*, 1995), el uso del suelo ha resultado ser la variable más determinante a la hora de establecer el orden de magnitud del CN, y el tipo de suelo y la pendiente sirven para ajustar su valor final (Figura 5).

Figura 6. Resultados número de Manning (*n*).



Fuente: Elaboración propia.

Respecto a los resultados obtenidos para el parámetro número de Manning ( $n$ ) cabe señalar, en primer lugar, que para ambas cuencas el rango de variación ha sido muy similar, siendo el valor máximo siempre inferior a 0,130. Esta similitud en los resultados permite verificar, de algún modo, los valores obtenidos, dada la imposibilidad de contrastarlos con otros resultados ya calculados. El valor de  $n$  para la mayor parte de la superficie es inferior a 0,051, por lo que a partir de estos datos se podría establecer este valor como umbral máximo a la hora de realizar estudios hidráulicos en la zona. Además, los valores más elevados se encuentran casi en su totalidad en zonas con vegetación densa ubicadas en la parte alta de la cuenca, por lo que su afección a los cauces sería en principio mínima (Figura 6).

## 6. Conclusiones

La metodología propuesta ha resultado eficaz a la hora de establecer el valor de parámetros hidrológicos de forma distribuida en el espacio, permitiendo conocer cómo varía su magnitud a lo largo de las cuencas estudiadas. Dada su sencillez de aplicación, sería posible extrapolar los cálculos realizados a extensiones mayores, por ejemplo a toda la superficie de la Demarcación Hidrográfica del Segura, o a otros parámetros hidrológicos relacionados con el suelo, como son la carga de succión o la conductividad hidráulica no saturada.

Actualmente, los modelos hidrometeorológicos para estimar los caudales que se pueden generar en las cuencas, así como los modelos hidráulicos para conocer las zonas que serían afectadas por éstos (BORM, 2007) son cada vez más complejos. La mayoría de herramientas informáticas en las que se implementan tratan la información directamente en SIG, con el fin de considerar en la modelización, ya sea hidrológica o hidráulica, la heterogeneidad espacial de la zona estudiada. Por tanto, los mapas de parámetros aquí calculados podrían ser utilizados directamente en dichas modelizaciones, siendo la clasificación propuesta un paso previo a las mismas.

## 7. Referencias

- Ajmal, M., Kim, T.W., Ahn, J.H. 2016. Stability assessment of the curve number methodology used to estimate excess rainfall in forest-dominated watersheds. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(5).
- Aldridge, B.N. & Garrett, J.M. 1973. Roughness coefficients for stream channels in Arizona. U.S. Geological Survey. Open-file Report, 87 pp.
- Bauwe, A., Kahle, P., Lennartz, B. 2016. Hydrologic evaluation of the curve number and Green and Ampt infiltration methods by applying Hooghoudt and Kirkham tile drain equations using SWAT. *Journal of Hydrology*, 537: 311-321.
- BORM. 2007. Decreto número 258/2007, de 13 de julio, por el que se establece el contenido y procedimiento de los estudios de inundabilidad en el ámbito del Plan de Ordenación Territorial del Litoral de la Región de Murcia. *Boletín Oficial de la Región de Murcia*, 173: 23145-23165.

- CARM. 2008. Proyecto NATMUR-08. Vuelo fotogramétrico digital y levantamiento LIDAR de la Región de Murcia. Disponible en: <http://www.murcianatural.carm.es/natmur08/>
- CHS. 2016. Memoria del Plan de Cuenca de la Cuenca del Segura. Ciclo de planificación 2015-2021. Confederación Hidrográfica del Segura. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Murcia.
- Cowan, W.L. 1956. Estimating Hydraulic Roughness Coefficients. *Agricultural Engineering*, 37(7): 473-475.
- Estrela, T., Ferrer, M., Ardiles, L. 1995. Estimation of precipitation-runoff regional laws and runoffs maps in Spain using a Geographical Information System. *International Hydrological Programme (IHP). UNESCO FRIEND AMHY. Thessaloniki, Greece.*
- García-Pintado, J., Barbera, G.G., Erena, M. Castillo, V. M. 2009. Calibration of structure in a distributed forecasting model for a semiarid flash flood: Dynamic surface storage and channel roughness. *Journal of Hydrology*, 337(1-2):165-184.
- Grindlay, A.L., Zamorano, M., Rodríguez, M.I., Molero, E., Urrea, M.A. 2011. Implementation of the European Water Framework Directive: Integration of hydrological and regional planning at the Segura River Basin, southeast Spain. *Land Use Policy*, 28(1): 242-256.
- IDE. 2016. Infraestructura de Datos Espaciales de la Región de Murcia. Vuelo fotogramétrico digital y levantamiento LIDAR de la Región de Murcia. Disponible en: <http://iderm.imida.es/iderm/>
- IGME. 2016. Instituto Geológico y Minero de España. Cartografía del IGME. Cartografía geológica digital continua a escala 1:50.000. Disponible en: <http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Geode.aspx>
- Jin, Q.T., Zhang, J.T., Shi, M.C., Huang, J.X. 2016. Estimating Loess Plateau Average Annual Precipitation with Multiple Linear Regression Kriging and Geographically Weighted Regression Kriging. *Water*, 8(6): 266.
- Koriche, S.A. & Rientjes, T. H. M. 2016. Application of satellite products and hydrological modelling for flood early warning. *Physics and Chemistry of the Earth*, 93: 12-23.
- Latorre, B., Pena, C. Lassabatere, L. Angulo-Jaramillo, R. Moret-Fernandez, D. 2015. Estimate of soil hydraulic properties from disc infiltrometer three-dimensional infiltration curve. Numerical analysis and field application. *Journal of Hydrology*, 527: 1-12.
- Li, J., Wang, Z.G., Liu, C.M. 2015. A combined rainfall infiltration model based on Green-Ampt and SCS-curve number. *Hydrological Processes*, 29(11): 2628-2634.
- Linhoss, A.C. & Siegert, C.M. 2016. A comparison of five forest interception models using global sensitivity and uncertainty analysis. *Journal of Hydrology*, 538: 109-116.
- MAGRAMA. 2016. Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/snczi/>



- Mao, L.L., Li, Y.Z., Hao, W.P., Zhou, X.N., Xu, C.Y., Lei, T.W. 2016. A new method to estimate soil water infiltration based on a modified Green-Ampt model. *Soil & Tillage Research*, 161: 31-37.
- Martin Vide, J.P. 2004. "Utilidad de la hidraulica fluvial". *Ingenieria y Territorio*, no 68, pp. 44-49.
- Mishra, S.K., & V.P. Singh. 2004. Long-term hydrological simulation based on the Soil Conservation Service curve number. *Hydrological Processes*, 18(7): 1291-1313.
- Mishra, S.K. Chaudhary, A., Shrestha, R.K., Pandey, A., Lal, M. 2014. Experimental Verification of the Effect of Slope and Land Use on SCS Runoff Curve Number. *Water Resources Management*, 28(11): 3407-3416.
- Pellicer-Martínez, F. & Martínez-Paz J.M. 2014. Assessment of interbasin groundwater flows between catchments using a semi-distributed water balance model. *Journal of Hydrology*, 519(B): 1848-1858.
- Portela, M.M. & Santos, J.F. 2007. Estimation of monthly stream flows based on the sequential water budget technique applied to the Thornthwaite potential evapotranspiration. In: Brebbia, C.A., Katsifarakis, K.L. (Eds.), *River Basin Management Iv. WIT Transactions on Ecology and the Environment*, pp. 159-168.
- Reif, J. & Hanzelka, J. 2016. Grassland winners and arable land losers: The effects of post-totalitarian land use changes on long-term population trends of farmland birdse. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 223: 208-217.
- Sharifi, S. & Hosseini, S. M. 2011. Methodology for Identifying the Best Equations for Estimating the Time of Concentration of Watersheds in a Particular Region. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering-ASCE*, 137(11): 712-719.
- Wegehenkel, M., Gerke, HH. 2013. Comparison of real evapotranspiration measured by weighing lysimeters with simulations based on the Penman formula and a crop growth model. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 61(2): 161-172.
- Zhang, G. H., Luo, R.T., Cao, Y., Shen, R.C., Zhang, X.C. 2011. Impacts of sediment load on Manning coefficient in supercritical shallow flow on steep slopes. *Hydrological Processes*, 24(26): 3909-3914.