



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-287

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Análisis de la sensibilidad en la generación de escorrentía en zonas forestales ante las variaciones de la fracción de cabida cubierta. Caso de estudio: Valle del Jerte.

Mesa Temática 4. Hidrología, repoblación y restauración forestal

FRAGOSO CAMPÓN, L.¹, DURÁN-BARROSO, P.², ROSADO QUIRÓS, E.³ y GUTIÉRREZ GALLEGO, J.A.³

¹ Universidad de Extremadura. Escuela Politécnica. 10003 Cáceres.

² Departamento de Construcción. Área de Ingeniería Hidráulica. Universidad de Extremadura. Escuela Politécnica. 10003 Cáceres.

³ Departamento Expresión Gráfica. Área de Ingeniería Cartográfica Geodesia y Fotogrametría. Universidad de Extremadura. Escuela Politécnica. 10003 Cáceres

Resumen

La evaluación del proceso de transformación de precipitación en escorrentía es importante en la gestión de una cuenca hidrográfica, ya que permite identificar, predecir y explicar la respuesta de la misma. Su cuantificación se realiza mundialmente mediante el método del Número de Curva del NRCS. En zonas forestales, el factor de cabida cubierta es un elemento fundamental al condicionar el volumen de precipitación que circula libremente por la superficie. Este trabajo analiza la sensibilidad del valor final del número de curva propuesto, en función de la adopción de distintos criterios de densidad de cobertura vegetal. El área de estudio se encuentra en el valle del Jerte al norte de la provincia de Cáceres, considerando una superficie de 316 km². Dentro de este ámbito se analizará, mediante Sistemas de Información Geográfica, la varianza de los valores estimados del CN obtenidos en base al Mapa Forestal de España y la aplicación de distintos criterios de densidad a la hora de valorar las características hidrológicas más adecuadas. Para cada uno de los criterios se establecerán correlaciones entre el factor de cabida cubierta y las características hidrológicas, comprobándose la sensibilidad del valor resultante del CN, debida a la subjetividad de interpretación de los datos.

Palabras clave

Número de curva (CN), densidad de cobertura vegetal, sistemas de información geográfica, mapa forestal de España.

1. Introducción

La escorrentía generada en una cuenca tras un episodio de lluvia se evalúa de forma generalizada a nivel mundial, según el método del Número de Curva del NRCS (USDA, 1986). Éste método se fundamenta en la hipótesis de equivalencia entre los volúmenes máximos de retención y precipitación y los volúmenes efectivos de escorrentía e infiltración, junto con la hipótesis de balance continuo de volúmenes totales. El valor de la escorrentía total se obtiene a partir de la precipitación total y de un único parámetro, como es la capacidad de retención potencial máxima. Este parámetro fue estandarizado mediante el parámetro adimensional del número de curva (CN). Para la utilización del método del número de curva en cuencas no aforadas, en las que no se dispone de datos precipitación y caudal que permitan la calibración de dicho parámetro, se propuso una tabla de valores del parámetro del CN basada en: uso del suelo, características hidrológicas y grupo de suelo.

En los últimos años la aplicación del método del CN ha sido ampliamente estudiado a nivel mundial, sin embargo, no son tantos los estudios que centran el análisis en la validez de la aplicación del método en zonas forestales. En KIM&LEE (2008) indican que los valores que ofrecen las tablas originales del NRCS, ofrecen resultados inexactos en cuencas forestales. Siguiendo el mismo sentido, en AJMAL *et al.* (2016) se analizan los resultados de la aplicación del número de curva en zonas forestales, comparando los resultados obtenidos mediante la aplicación directa de los CN tabulados por el SCS respecto a los valores del CN calibrados en la cuenca, concluyendo que la aplicación de los valores tabulados suponían la sobreestimación de la escorrentía real aforada. El trabajo de TEDELA *et al.* (2011) evalúa la precisión y consistencia

del método del número de curva en varias pequeñas cuencas forestales en el este de los Estados Unidos. Para ello compara los valores teóricos tabulados en las tablas con los obtenidos a partir de datos reales aforados, concluyendo que los resultados obtenidos a partir de los valores tabulados no reflejaban la realidad en nueve de las diez cuencas estudiadas.

El método del número de curva fue traspuesto en España por TÉMEZ PELÁEZ (1987), estableciendo como parámetro del modelo la abstracción inicial, el cual fue renombrado como umbral escorrentía P_0 , asumiendo la relación entre las abstracciones iniciales y la capacidad de retención máxima de 0,2 y antecedente de humedad normal (AMC II). Se adaptó la tabla original del CN expresándola en términos del parámetro P_0 , para condiciones medias de antecedente de humedad, con algunas modificaciones y puntualizaciones aconsejadas por la experiencia en España. Igual que su homóloga, la tabla expresa el valor del parámetro P_0 en función del uso del suelo, características hidrológicas y grupo de suelo añadiendo el parámetro de la pendiente.

Los usos del suelo y características hidrológicas propuestos por TÉMEZ PELÁEZ (1987) son: zonas de cultivos, praderas, plantaciones regulares de aprovechamiento forestal, masas forestales, rocas permeables e impermeables. En las zonas de cultivos, como son el barbecho, cultivos en hilera, cereales de invierno, rotación de cultivos pobres y densos, las características hidrológicas se establecen en base a las prácticas de cultivo: según la línea de máxima pendiente (R), o según las curvas de nivel (N). Se agrupan en la categoría de praderas, prados y pastizales, el conjunto de cultivos cuyo aprovechamiento constituye la base de la alimentación del ganado, y se definen cuatro niveles de características hidrológicas (pobres, medias, buenas y muy buenas) según el régimen de pastoreo o grado de cobertura vegetal. Para las plantaciones regulares de aprovechamiento forestal, se establecen tres niveles de características hidrológicas (pobres, medias y buenas) según las características de la cobertura vegetal no arbórea. En el caso de masas forestales, consideradas como las superficies de terreno en las que se desarrolla vegetación leñosa o arbustiva (monte bajo, monte alto o bosques), se establecen cinco niveles de características hidrológicas de acuerdo con la densidad de la vegetación (muy claras, claras, medias, espesas y muy espesas). Sin embargo, en la clasificación propuesta por TÉMEZ PELÁEZ (1987) no se establece ningún criterio objetivo para la discretización en función de la densidad de cobertura vegetal.

En los estudios sobre la aplicación del método del número de curva a nivel nacional, hay que destacar las aportaciones expuestas en FERRER I JULIÁ (2003), que describe una metodología para la generación automática del número de curva con Sistemas de Información Geográfica. En este trabajo se define el uso del suelo y características hidrológicas propuestas en TÉMEZ PELÁEZ (1987) aplicando la información cartográfica del Corine Land Cover, y realiza una clasificación del grupo de suelo en desde el punto de vista edáfico, en base a la tasa de infiltración de los suelos. Se indica que la principal dificultad que ha presentado el uso de la cartografía del Corine Land Cover es que la descripción de la leyenda es algo escasa y muy homogénea para todo el territorio nacional, por lo que en algunos casos, principalmente en las áreas forestales, se ha sobrevalorado el papel de la vegetación en el proceso de la infiltración. Finalmente, en FERRER JULIA *et al.* (2006) se actualiza la clasificación del uso del suelo y características hidrológicas basadas en la revisión del Corine Land Cover. Estos resultados han sido asumidos en la nueva edición de la Instrucción de Carreteras 5.2 - IC drenaje superficial (FOMENTO, 2016).

Aparte del ya mencionado mapa del Corine Land Cover, las principales fuentes de datos cartográficas disponibles en España son: el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos de España (MCA), el Mapa Forestal de España (MFE50) y el Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España (SIOSE). En FRAGOSO CAMPÓN *et al.* (2015) se analizan las distintas fuentes de datos cartográficas ya señaladas y señala que ninguna de ellas, aporta todos los datos necesarios a la hora de poder establecer, con criterios objetivos, el uso de la tierra y las características hidrológicas. Se indica así mismo que, de las distintas fuentes de datos consultadas, tan solo el mapa forestal aporta el dato numérico (fácilmente manejable) de la

densidad de cobertura vegetal para las zonas arboladas, no así en los casos de praderas y matorral. Concluyendo que bajo estas circunstancias, la elección de las características hidrológicas más adecuadas, están sujetas decisiones de carácter subjetivo que introducen cierto grado de incertidumbre en el valor final adoptado del CN.

En zonas forestales, el número de curva dependerá fundamentalmente de la clasificación del uso del suelo (fundamentalmente masas forestales y/o praderas) y de la asignación de las características hidrológicas, que dependerán de la densidad de cobertura vegetal. Éste último dato solo está disponible en el caso de las zonas arboladas, no así para el matorral ni para las praderas. A lo hay que sumar, que aun conociendo el valor de la densidad de cobertura vegetal en zonas arboladas, no existe ningún criterio objetivo para la discretización de las características hidrológicas en función de este valor. Este estudio evalúa la sensibilidad del valor del CN en una cuenca forestal a la hora de definir los distintos niveles de características hidrológicas.

2. Objetivos

El objetivo general que se plantea es analizar, en una cuenca forestal, la sensibilidad del valor final propuesto para el número de curva en base a la adopción de distintos criterios a la hora de establecer las características hidrológicas más adecuadas. Los objetivos específicos propuestos son los siguientes: (i) establecer distintas correlaciones entre la densidad de cobertura vegetal y las características hidrológicas, (ii) analizar el ajuste de los valores del CN respecto a los obtenidos a partir de los datos de escorrentía registrados.

3. Metodología

El ámbito de estudio es una subcuenca hidrológica del río Jerte, correspondiéndose con la cabecera de cuenca dentro del Valle del Jerte en la provincia de Cáceres, perteneciente a la Confederación Hidrográfica del Tago (Figura 1). La extensión de la cuenca es de 315 km², y presenta una orografía bastante pronunciada, cuyo rango de elevaciones se encuentra entre la cota 374 m y la cota 2.045 m.

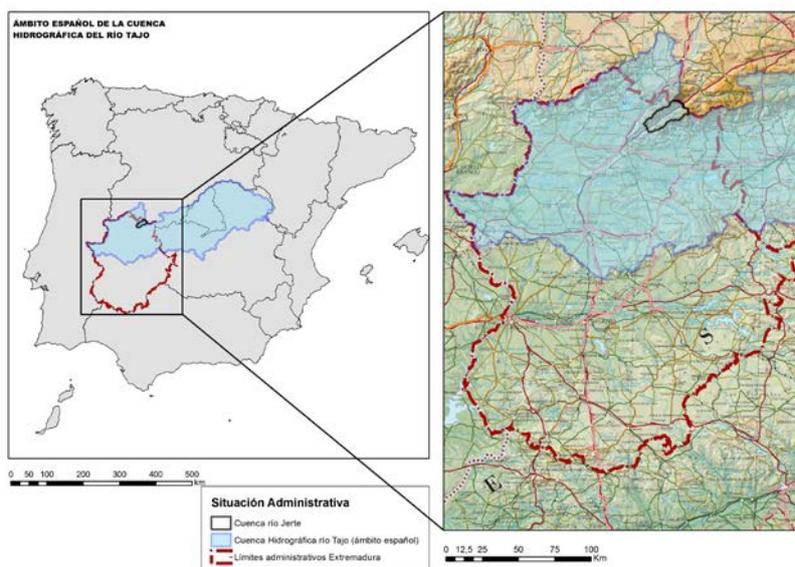


Figura 1. Situación de la cuenca el río Jerte dentro del ámbito de la Confederación Hidrográfica del Tago.

La asignación del valor del número de curva se ha realizado en base a la clasificación de TÉMEZ PELÁEZ (1987), y que, como ya se ha señalado, depende de cuatro factores: uso de la tierra, características hidrológicas, pendiente del terreno y grupo de suelo. La caracterización de los usos de la tierra y características hidrológicas se ha establecido en base a la información

facilitada por el Mapa Forestal de España (MFE) que se presenta a escala 1:50.000 a nivel provincial. La pendiente se ha obtenido a partir del modelo digital de elevaciones MDT05 facilitado por el Instituto Geográfico Nacional y, debido a las laderas escarpadas que caracterizan al valle del Jerte, se obtienen pendientes medias superiores al 3%. El grupo de suelo se ha asignado según el mapa nacional de grupos de suelo obtenido en FERRER I JULIÁ (2003), resultando que la zona estudiada corresponde únicamente al grupo de suelo B.

El MFE muestra una cuenca de carácter mayoritariamente forestal: el 40% catalogada como bosque, el 19 % como matorral, 17 % herbazal, el 23% cultivos y el pequeño porcentaje restante se refiere a zonas urbanas, carreteras y otros usos menores (montes sin vegetación superior, A.F.M. bosquetes y riberas, bosque plantación, cultivo con arbolado disperso y dehesa). La asignación del valor del número de curva a partir de la información facilitada por el MFE se ha realizado considerando los criterios que se exponen a continuación.

Las áreas agrícolas se catalogan como cultivos en hilera asignándoles las características hidrológicas N (según las curvas de nivel) ya que, en el valle del Jerte, las prácticas de cultivos generalizadas corresponden a cerezos en bancales. Bajo esta premisa, a estas zonas se les asigna un valor del número de curva de 76.

El monte sin vegetación superior se cataloga como roca impermeable y las áreas artificiales como pavimentos bituminosos, asignándoles los valores de número de curva de 96 y 98 respectivamente.

Los herbazales se catalogan como praderas y las áreas de matorral, bosque, bosquetes y riberas, se catalogan como masas forestales. Para definir las características hidrológicas se han aplicado distintos criterios de densidad vegetal que se exponen a continuación. En el caso de las **praderas**, TÉMEZ PELÁEZ (1987) clasifica las características hidrológicas en función de la densidad de la vegetación del siguiente modo: pobre (P) si la densidad de cobertura vegetal es menor del 50%, media (M) si la densidad de cobertura vegetal está entre el 50% y 75%, buena (B) si la densidad de cobertura vegetal supera el 75%. Por último asigna características hidrológicas muy buenas a los prados naturales con vegetación densa, en este estudio se considera una densidad de cobertura vegetal superior al 95%. En el caso de las **masas forestales**, TÉMEZ PELÁEZ (1987) clasifica las características hidrológicas en función de la densidad de la vegetación en cinco niveles: muy claras (MC), claras (C), medias (M), espesas (E) y muy espesas (ME). Sin embargo no define los intervalos de densidad de vegetación aplicables a cada nivel. La Tabla 1 muestra los valores del número de curva en cada caso.

Tabla 1. Valores del número de curva para las praderas y masas forestales en función de las características hidrológicas

Uso del Suelo	Praderas				Masa Forestal				
	P	M	B	MB	MC	C	M	E	ME
CN	78	69	61	55	75	68	60	52	44
	Pobre (P), media (M), buena (B) y muy buena (MB)				Muy claras (MC), claras (C), medias (M), espesas (E) y muy espesas (ME).				

Como ya se ha señalado, el MFE no facilita el dato de cobertura para las áreas catalogadas como herbazal, y por lo tanto, no disponemos del dato de densidad de cobertura vegetal para asignar objetivamente las características hidrológicas en las zonas clasificadas como praderas. Por otro lado, en el caso de las masas forestales, se definen cinco niveles de características hidrológicas, sin embargo TÉMEZ PELÁEZ (1987) no define los intervalos de densidad de vegetación aplicable a cada nivel. En este caso, el MFE sí facilita los valores de cobertura vegetal, pero exclusivamente para las zonas arboladas, no así para el caso de matorral, que al igual que para los herbazales, no facilita este valor. En las zonas arboladas se ofrecen los valores de la

fracción de cabida cubierta arbórea (TFCCARB) y fracción de cabida cubierta total (TFCCTOT) definidas del siguiente modo por el MFE (MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, 2006):

- La fracción de cabida cubierta arbórea (TFCCARB) representa valores entre 0 y 100% del conjunto de las especies del estrato arbóreo como porcentaje de suelo cubierto por la proyección de todas las copas.
- La fracción de cabida cubierta total (TFCCTOT) representa valores entre 0 y 100% del total de la vegetación arbórea y de matorral. Proporciona información sobre la proyección sobre el suelo de los principales pisos de vegetación. En algún caso se incluirán fracciones de cabida cubierta de pastizales o cultivos

A la vista de los datos disponibles, y con el objetivo de analizar la sensibilidad del valor final del número de curva ante las distintas decisiones sobre las características hidrológicas aplicables a las praderas y masas forestales, se han definido distintas hipótesis $H_{i,j,k}$ donde:

- El subíndice i (1 a 5) se refiere a las distintas hipótesis consideradas para definir los criterios de los niveles de las características hidrológicas de las masas forestales arboladas en función de la densidad de cobertura vegetal. Se establecen distintos valores del número de curva en base a las posibles combinaciones del factor de cabida cubierta total (TFCCTOT) y factor de cabida cubierta arbórea (TFCCARB) (Tablas 2 a 6). Las tablas presentan dos entradas, por un lado el valor TFCCTOT, que para el caso de TFCCARB nulo, ofrece el valor del CN en función del criterio definido en TÉMEZ PELÁEZ (1987) para las praderas. Una vez fijado el valor del TFCCTOT, la segunda entrada en la tabla corresponde al valor de la fracción arbolada, TFCCARB, y es en este valor en el que se han establecido cinco hipótesis para fijar los porcentajes de densidad de cobertura vegetal aplicables cada nivel de características hidrológicas. Para manejar las tablas de manera amigable, se establece un código de color específico (Tabla 1) para las características hidrológicas y el número de curva asociado.
- El subíndice j (1 a 5) se refiere a las posibles características hidrológicas de las masas forestales de matorral, en los que no se conoce el valor de cobertura vegetal y por tanto se consideran las cinco posibles soluciones:
 - $j=1$ para características hidrológicas muy claras, asignando un CN de 75,
 - $j=2$ para características hidrológicas claras, asignando un CN de 68,
 - $j=3$ para características hidrológicas medias, asignando un CN de 60,
 - $j=4$ para características hidrológicas espesas, asignando un CN de 52 y,
 - $j=5$ para características hidrológicas muy espesas, asignando un CN de 44.
- El subíndice k (1 a 4) se refiere a las posibles características hidrológicas de las praderas, en los que tampoco se conoce el valor de cobertura vegetal y por tanto se consideran las cuatro posibles soluciones:
 - $k=1$ para características hidrológicas pobres, asignando un CN de 78,
 - $k=2$ para características hidrológicas medias, asignando un CN de 69,
 - $k=3$ para características hidrológicas buenas, asignando un CN de 61 y,
 - $k=4$ para características hidrológicas muy buenas, asignando un CN de 55.

Tabla 2. Valores del número de curva considerados para distintas combinaciones del valor de TFCCARB y TFCCTOT en la Hipótesis $i=1$.

		TFCCARB																				
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
TFCCTOT	0	78																				
	5	78	75																			
	10	78	75	68																		
	15	78	75	68	68																	
	20	78	75	68	68	68																



(SAIH) de la Confederación Hidrográfica del Tajo, y que se sitúa en el punto de cierre de la cuenca considerada.

En total se han estudiado 24 episodios tormentosos desde 2008 a 2014, separando el flujo base del caudal total aplicando la herramienta WHAT (Automated Web GIS Based Hydrograph Analysis Tool) descrita en LIM *et al.* (2005), mediante el método del filtro digital recursivo (“Recursive Digital Filter”) propuesto por ECKHARDT (2005). Para ello se ha adoptado un valor del BFI_{max} $\approx 0,25$ dado que la mayor parte de la cuenca se caracteriza por presentar litología ígnea de baja permeabilidad. Para cada una de las tormentas se ha obtenido el CN equivalente comparando el grado de ajuste de las distintas hipótesis i,j,k mediante los siguientes criterios de comparación: criterio del sesgo (PBIAS), el ratio de desviación estándar del error cuadrático medio (RSR) y coeficiente de eficiencia de Nash Sutcliffe (NS). La bondad del ajuste se ha determinado según el criterio expuesto en MORIASI *et al.* (2007).

4. Resultados

En base a la metodología expuesta se han obtenido distintos valores del CN en la cuenca para las 100 combinaciones i,j,k consideradas. Los valores obtenidos (Figura 2) muestran un amplio rango de variación del CN entre 56,6 y 66,6 para la hipótesis $H_{1,j,k}$, entre 57,4 y 67,4 para la hipótesis $H_{2,j,k}$, entre 59,4 y 69,3 para la hipótesis $H_{3,j,k}$, entre 60,2 y 70,1 para la hipótesis $H_{4,j,k}$ y entre 61,4 y 71,3 para la hipótesis $H_{5,j,k}$.

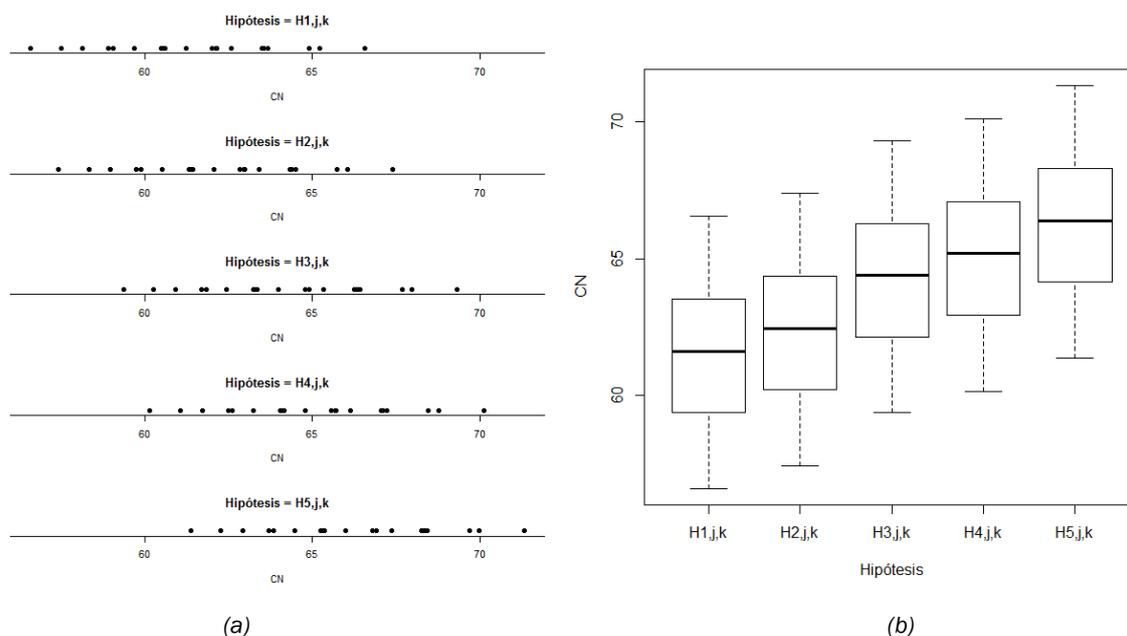


Figura 2. Resultados obtenidos para las combinaciones estudiadas: hipótesis $H_{1,j,k}$, $H_{2,j,k}$, $H_{3,j,k}$, $H_{4,j,k}$ y $H_{5,j,k}$ (a) Números de curva (b) Diagrama de cajas.

Para cada una de las tormentas se ha obtenido el CN equivalente comparando el grado de ajuste de las distintas hipótesis i,j,k obteniendo los siguientes resultados para los distintos criterios de comparación considerados: criterio del sesgo (PBIAS) (Figura 3a), el ratio de desviación estándar del error cuadrático medio (RSR) (Figura 3b) y coeficiente de eficiencia de Nash Sutcliffe (NS) (Figura 3d). La bondad del ajuste se representa en las distintas gráficas mediante código de color (Figura 3d) distinguiendo entre: ajuste muy bueno, bueno, satisfactorio e insatisfactorio (MORIASI *et al.*, 2007).

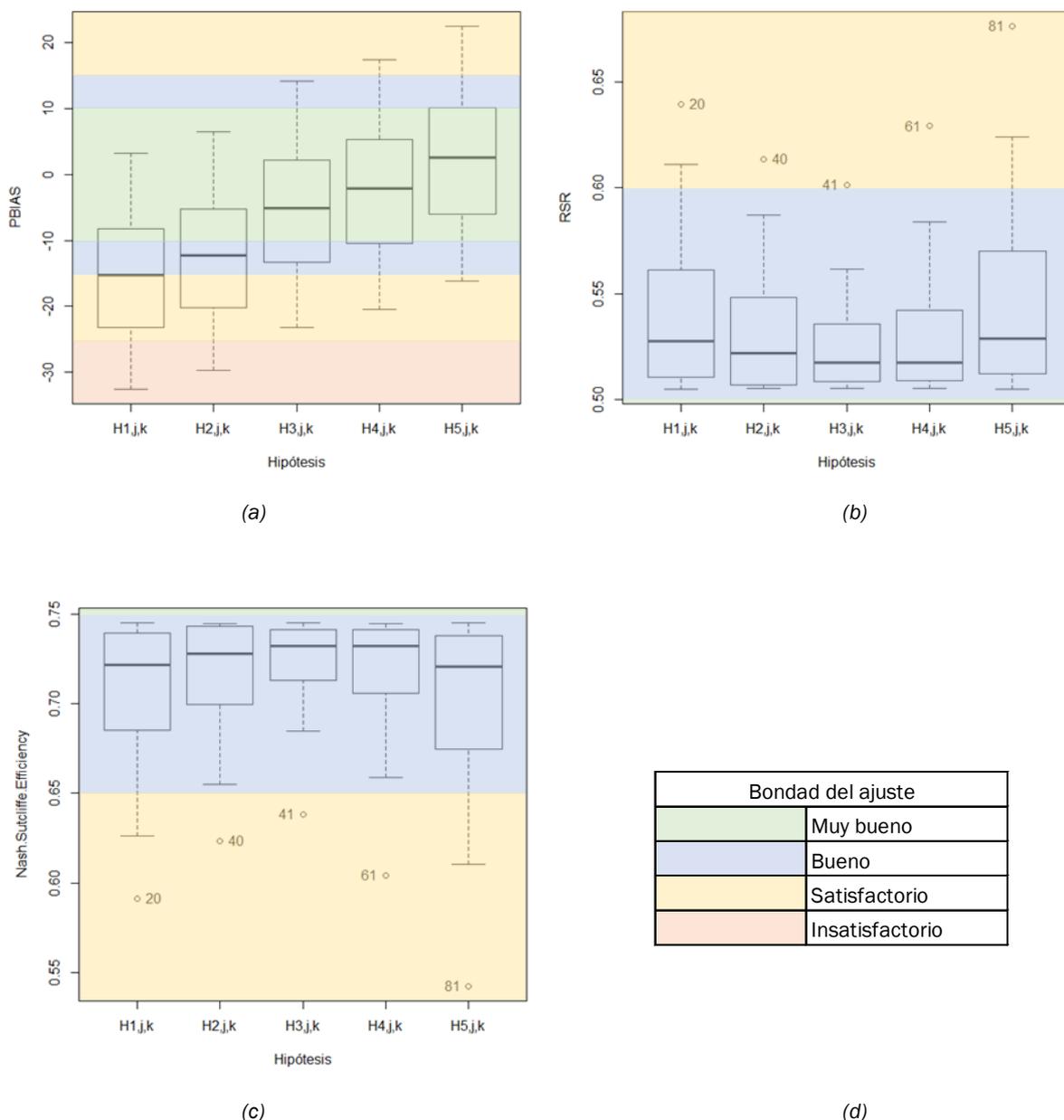


Figura 3. Resultados obtenidos para las combinaciones estudiadas: hipótesis $H_{1,j,k}$, $H_{2,j,k}$, $H_{3,j,k}$, $H_{4,j,k}$ y $H_{5,j,k}$ (a) Criterio del sesgo (PBIAS) (b) Ratio de desviación estándar del error cuadrático medio (RSR) (c) Coeficiente de Eficiencia de Nash Sutcliffe (NS) (d) Leyenda de colores sobre la bondad del ajuste según la propuesta de MORIASI et al. (2007).

5. Discusión

La variedad de soluciones obtenidas en las distintas hipótesis en el valor final del número de curva (Figura 2) muestran la influencia de la adecuada elección de las características hidrológicas sobre el valor final propuesto.

Según el criterio del sesgo (Figura 3a) y aplicando la valoración de la bondad del ajuste expuesto en MORIASI et al. (2007) (Figura 3d), las hipótesis $H_{1,j,k}$ y $H_{2,j,k}$ se descartarían ya que el valor medio se encuentran en dentro del rango de la bondad de ajuste bueno, mientras que el valor medio de las restantes hipótesis se clasifican como ajuste muy bueno. Así mismo, los valores correspondientes al percentil del 25 % se encuentran en los umbrales clasificados como

satisfactorios. Basándonos en el RSR (Figura 3b) y el criterio de eficiencia de Nash Sutcliffe (NS) (Figura 3c), las hipótesis que presentan un mejores ajustes son la $H_{3,j,k}$ y la $H_{4,j,k}$. Por tanto, dichas hipótesis representan el rango de valores con mejores resultados. Ambas hipótesis presentan también las menores diferencias entre los percentiles 75 y 25%. Observando con más detalle los resultados obtenidos en estas dos hipótesis, según el RSR (Figura 4a) y criterio de eficiencia de Nash Sutcliffe (NS) (Figura 4b), podemos observar como la hipótesis que consideran el matorral con características hidrológicas medias o espesas ($j=3$ y $j=4$ respectivamente) ofrecen los mejores ajustes, observándose que para el caso de la hipótesis $H_{4,4,k}$ encontramos las menores diferencias entre los percentiles 75 y 25%.

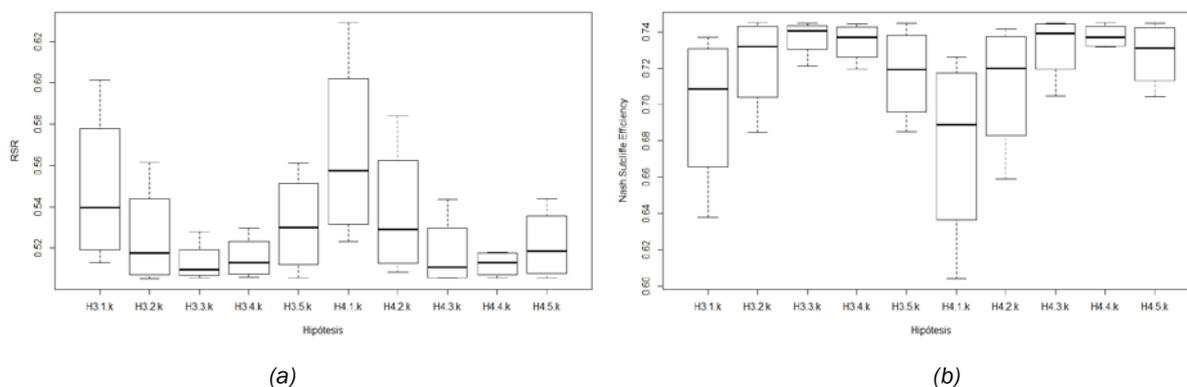


Figura 4. Detalle de los resultados obtenidos para las: hipótesis $H_{3,j,k}$ y $H_{4,j,k}$. (a) Ratio de desviación estándar del error cuadrático medio (RSR) (b) Coeficiente de Eficiencia de Nash Sutcliffe (NS)

La distribución del factor de cabida cubierta arbóreo dentro de la cuenca estudiada muestra como la fracción entre 60% e inferior al 70% supone el 30% de total catalogado como masa forestal. Por tanto, los resultados obtenidos están condicionados principalmente por la clasificación que, cada hipótesis $H_{i,j,k}$ considera en esta franja. La $H_{3,j,k}$ clasifica este intervalo como espeso, mientras que $H_{4,j,k}$ lo clasifica como medio. Se observa también la influencia de las grandes áreas con fracción de cabida cubierta inferior al 10%, que suponen el 33% del total de las masas forestales, y esto es debido a las zonas de matorral en las que se asigna un TFCCARB igual a cero, sobre estas áreas se han considerado las distintas combinaciones j .

6. Conclusiones

En este trabajo se ha analizado, para una cuenca de carácter forestal, la sensibilidad del valor del número de curva, en base al criterio utilizado para definir las características hidrológicas. En zonas forestales, las praderas y masas forestales son los usos del suelo con mayor representación, y es en estos casos, en los que la definición de las características hidrológicas está condicionada por la interpretación subjetiva del usuario, bien por falta de criterios objetivos para definir las, o bien por falta del dato de densidad de vegetación. Ante esta situación, se han analizado distintas hipótesis en la definición de las características hidrológicas en función de la densidad de cobertura vegetal.

Los resultados obtenidos muestran un amplio abanico de posibles valores del número de curva, comprobándose que la bondad del ajuste de la modelización hidrológica depende de la adecuada elección de las características hidrológicas de la cuenca.

Será necesario profundizar sobre la definición objetiva de criterios para la elección de las características hidrológicas en zonas forestales en función de la densidad de cobertura vegetal. En este sentido, se proponen nuevas líneas de trabajo mediante el uso conjunto de la cartografía

temática existente, junto con técnicas de Teledetección y LIDAR, para el estudio de la densidad de cobertura vegetal.

7. Agradecimientos

A la Confederación Hidrográfica del Tajo, por facilitar los datos de la estación 3.146 "El Torno" del Sistema Automático de Información Hidrológica (S.A.I.H.) y a la Agencia Estatal de Meteorología del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente por facilitar los datos de las precipitaciones horarias de la zona de estudio.

8. Bibliografía

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: 1-14.

ECKHARDT, K.; 2005. How to construct recursive digital filters for baseflow separation. *Hydrological Processes* 19 2: 507-515.

FERRER I JULIÁ, M.; 2003. Análisis de nuevas fuentes de datos para la estimación del parámetro número de curva: perfiles de suelos y teledetección., CEDEX.

FERRER JULIA, M.;BLANCO, J.;RAMÍREZ, J.; 2006. Propuesta metodológica para la adaptación del parámetro del número de curva a las nuevas fuentes de datos. III Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente. Zaragoza.

FOMENTO, M. D.; 2016. Instrucción de Carreteras norma 5.2 - IC drenaje superficial.

FRAGOSO CAMPÓN, L.;QUIRÓS ROSADO, E.;DURÁN-BARROSO, P.; 2015. Análisis de la variabilidad en la estimación del umbral de escorrentía en función de las distintas fuentes de información disponibles. IV Jornadas de Ingeniería del Agua, Córdoba 2015.

KIM, N. W.;LEE, J.; 2008. Temporally weighted average curve number method for daily runoff simulation. *Hydrological Processes* 22 25: 4936-4948.

LIM, K. J.;ENGEL, B. A.;TANG, Z.;CHOI, J.;KIM, K.-S.;MUTHUKRISHNAN, S.;TRIPATHY, D.; 2005. Automated Web GIS based Hydrograph Analysis Tool, WHAT. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 41 6: 1407-1416.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, A. Y. M. A. (2006). "Mapa Forestal de España (MFE50)." Obtenido el: 02/07/2015, de <http://www.mapama.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/mfe50.aspx>.

MORIASI, D. N.;ARNOLD, J. G.;VAN LIEW, M. W.;BINGNER, R. L.;HARMEL, R. D.;VEITH, T. L.; 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE* 50 3: 885-900.

TEDELA, N. H.;MCCUTCHEON, S. C.;RASMUSSEN, T. C.;HAWKINS, R. H.;SWANK, W. T.;CAMPBELL, J. L.;ADAMS, M. B.;JACKSON, C. R.;TOLLNER, E. W.; 2011. Runoff Curve Numbers for 10 small

forested watersheds in the mountains of the Eastern United States. Journal of Hydrologic Engineering 17 11: 1188-1198.

TÉMEZ PELÁEZ, J. R.; 1987. Cálculo hidrometereológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales, MOPU. Dirección General de Carreteras.

USDA, S.; 1986. Urban hydrology for small watersheds.