

Determinación del número de curva en la subcuenca de Betancí (Córdoba, Colombia) mediante teledetección y SIG

Determination of curve number in Betancí subwatershed (Córdoba, Colombia) through remote sensing and GIS

Ángel Díaz Carvajal*
Teobaldis Mercado Fernández**
Universidad de Córdoba, Colombia

* Universidad de Córdoba, Departamento de Ingeniería Ambiental, Colombia, Ingeniero Ambiental, adanieldiaz93@gmail.com

** Universidad de Córdoba, Departamento de Ingeniería Agronómica, Colombia, Ph.D Hidrociencias, teobaldis@gmail.com

Correspondencia: Teobaldis Mercado Fernández, Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Agrícolas, Departamento de Ingeniería Agronómica. Carrera 6 No. 76-103, Bloque 41, Montería, Colombia.

Resumen

El comportamiento de la escorrentía en una cuenca hidrográfica se puede caracterizar mediante el número de curva (NC), el cual se determina a partir de información espacial sobre el suelo y las coberturas. La teledetección fue utilizada para establecer las coberturas del terreno, mientras que el sistema de información geográfica (SIG) permitió generar una capa de grupos hidrológicos de suelo y combinar los datos para obtener un mapa del número de curva. En la subcuenca de Betancí, el pasto ocupa el 85% del área total y el 83% de los suelos tienen un alto potencial de escorrentía, por ello la mayor parte del área tiene un NC entre 81 y 86. En estas condiciones, la escorrentía tiende a ser mayor a la infiltración con lo cual se favorecen los procesos erosivos, las inundaciones e incluso la desertificación del territorio. Se recomienda estudiar la evolución temporal del número de curva y extender su uso a otras zonas del departamento de Córdoba.

Palabras clave: cobertura, escorrentía, GHS.

Abstract

The runoff behavior in a watershed can be characterized through the curve number (CN), which is determined with field information about soil and cover. Remote sensing was used to establish the soil covers, while the geographic information system (GIS) allowed to generate a hydrologic soil group layer and combine data to produce a curve number map. In Betancí subwatershed the grass covers 85% of the total area and 83% of soils have a high runoff potential. For this reason, major part of the ground has a CN between 81 and 86. These conditions make runoff greater than infiltration and tend to increase the erosion process, flood and the desertification. As a result, it is recommended to study evolution term of the curve number and to extend its use to another areas of the Córdoba department.

Keywords: HGS, runoff, soil cover.

Fecha de recepción: 26 de julio de 2016
Fecha de aceptación: 21 de marzo de 2017

I. INTRODUCCIÓN

El número de curva es un parámetro hidrológico que permite caracterizar el potencial de escorrentía en una cuenca hidrográfica y se determina a partir de algunas características físicas del territorio como el tipo, la densidad y el tratamiento de las coberturas, así como por el grupo hidrológico de suelo [1]. La escorrentía es el agua que aparece en las fuentes superficiales y es uno de los procesos del ciclo hidrológico que más atención requiere debido a sus efectos en la conservación y degradación de los recursos naturales [2].

En los años 50, el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS) desarrolló un método (Ecuación 1) para estimar la escorrentía directa generada por un evento de lluvia con el siguiente modelo empírico [3], [4]:

$$Q = \frac{(P - 0,2 S)^2}{P + 0,8 S} \quad (1)$$

Donde la escorrentía (Q) es una función de la lámina de lluvia (P) y el potencial máximo de retención (S), todos en pulgadas o milímetros. El potencial máximo de retención puede tomar cualquier valor entre cero e infinito y se requiere el uso de varias cifras decimales para alcanzar algún tipo de precisión, razón por la cual se decidió utilizar un parámetro más conveniente que toma valores enteros y solo varía entre 0 y 100, al que llamaron número de curva [5]. El número de curva (NC) se relaciona con el potencial máximo de retención a través de la siguiente expresión:

$$NC = \frac{25.400}{S + 254} \quad (S \text{ en milímetros}) \quad (2)$$

Los números de curva para diferentes combinaciones de grupos hidrológicos de suelo y coberturas se pueden consultar en las tablas del NRCS [1]. Un grupo hidrológico de suelo (GHS) es un conjunto de suelos que tiene similar comportamiento frente a la generación de escorrentía y se clasifica en una de las siguientes categorías [6]:

- Grupo A: son suelos predominantemente arenosos, donde el agua se transmite libremente a través del perfil y por ende tienen un bajo potencial de escorrentía cuando están completamente húmedos.

- Grupo B: son suelos con texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas que tienen un potencial de escorrentía moderadamente bajo cuando están completamente húmedos.
- Grupo C: Son suelos con una capa que limita el movimiento vertical del agua y texturas de moderadamente finas a finas. El potencial de escorrentía es moderadamente alto cuando están húmedos.
- Grupo D: son suelos con alto potencial de escorrentía y tasas de infiltración muy bajas. Las texturas son arcillosas, el nivel freático es alto o son suelos poco profundos, asentados sobre material impermeable.

Por otro lado, las condiciones de cobertura en una cuenca se caracterizan a través del tipo de cobertura, la densidad de la vegetación, también llamada condición hidrológica, y el tratamiento del terreno en las zonas de cultivo.

El método del SCS se ha convertido en una de las herramientas de modelación hidrológica y ambiental más populares y ampliamente utilizadas [7]; sin embargo, existe una tendencia creciente a dirigir la atención hacia el número de curva, el cual se interpreta como un descriptor geográfico general de las condiciones del territorio [8] y representa el potencial de escorrentía que tiene una superficie.

La teledetección y los sistemas de información geográfica han demostrado ser herramientas de gran utilidad en la estimación del número de curva en una cuenca hidrográfica [9], [10]. Deshmukh et al. [11] utilizaron los productos de la teledetección (imágenes satelitales) y un SIG para conocer la evolución del número de curva en tres cuencas de la India, demostrando que se ha incrementado a causa de la expansión de la frontera agrícola. Mientras que Rodríguez et al. [12] establecen que el uso de los SIG en hidrología permite evaluar el impacto de un escenario propuesto de ocupación del territorio mediante la zonificación del NC.

La subcuenca de Betancí, localizada en la costa Norte de Colombia, en el departamento de Córdoba, tiene un área aproximada de 1.202 Km² que corresponden al área de drenaje de la ciénaga de Betancí y sus corrientes aportantes. La ciénaga de Betancí es considerada un ecosistema estratégico para el departamento de Córdoba en razón a que ofrece enormes posibilidades para la conservación de la biodiversidad y la producción pesquera.

No obstante, la intervención de los territorios asociados a la ciénaga ha provocado profundos cambios en los usos del suelo como la pérdida casi total del bosque secundario por el aumento de las áreas destinadas a la ganadería y la agricultura [13].

Además, la dinámica natural del cuerpo de agua se vio alterada por la construcción de un dique en el caño que conduce las aguas hacia el río Sinú. Por este motivo, la ciénaga de Betancí perdió su carácter de humedal natural y pasó a ser considerada un embalse artificial que recibe los aportes de la escorrentía generada por la subcuenca [14].

Teniendo en cuenta los antecedentes de intervención del medio en la zona de estudio, resulta imprescindible conocer el potencial actual de generación de escorrentía para proveer a las autoridades de herramientas que faciliten la toma de decisiones en la recuperación del ecosistema. Los objetivos del presente trabajo fueron: determinar el número de curva en la subcuenca de Betancí con el fin de caracterizar el comportamiento hidrológico del territorio frente a la generación de escorrentía, establecer las coberturas del suelo a partir del procesamiento de una imagen de satélite y realizar la asignación de grupos hidrológicos de suelo.

II. METODOLOGÍA

A. Área de estudio

La subcuenca de Betancí pertenece a la cuenca media del río Sinú en el departamento de Córdoba, tiene un área aproximada de 1.202 km² que corresponden al área de drenaje de la ciénaga de Betancí y sus corrientes aportantes (Fig. 1).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1. Localización del área de estudio.

Tiene una altura que oscila entre los 19 y los 500 m.s.n.m. y la precipitación media anual tiene un valor aproximado de 1.600 mm. Las coordenadas geográficas del centro geométrico son: latitud $8^{\circ} 21' 0,22''$ N y longitud $75^{\circ} 46' 53,72''$ W.

B. Fuentes de información

- *Imagen Landsat 8*: se utilizó una imagen de satélite Landsat 8 del 20 de agosto de 2014 (*path 9 row 54*) con baja nubosidad en la zona de estudio. La escena fue obtenida a través del servidor Glovis del USGS (Fig. 2).

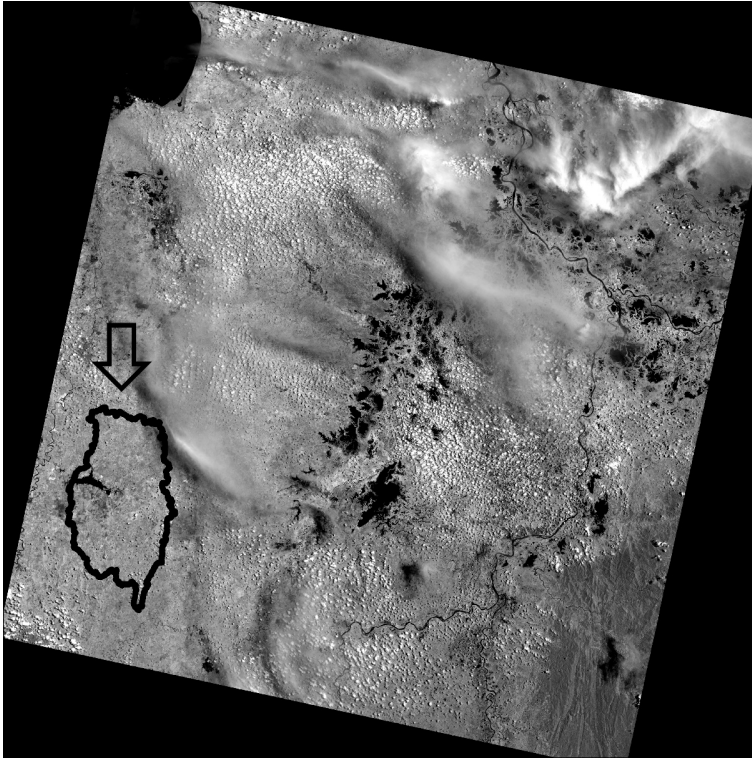


Figura 2. Imagen Landsat 8 (banda 5) con área de estudio resaltada.

- *Mapa de Suelos de Córdoba:* se utilizó el Mapa de Suelos de Córdoba escala 1:100.000 elaborado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) en el año 2009.

C. Diseño Metodológico

La metodología utilizada contempló la aplicación conjunta de la teledetección y los sistemas de información geográfica. Los procesos se describen a continuación:

- *Clasificación supervisada:* El mapa de coberturas se generó mediante la clasificación supervisada de la imagen de satélite. Este proceso consiste en la segmentación de la imagen en categorías en función del conocimiento previo sobre el área de estudio: inicialmente el intérprete delimita sobre la imagen áreas representativas de cada co-

bertura, luego calcula algunos parámetros estadísticos de las muestras y finalmente clasifica el resto de la imagen mediante un algoritmo de asignación [15]. Las categorías de cobertura se definieron según el sistema *Corine Land Cover* adaptado para Colombia.

Se realizó un muestreo aleatorio estratificado del área de estudio tomando un total de 237 puntos de referencia. La cobertura real en cada punto se determinó mediante visitas de campo y el análisis visual de imágenes de mayor resolución espacial disponibles en Google Earth.

Para evaluar la exactitud temática del mapa de coberturas se utilizaron algunas medidas como la *fiabilidad global*, que se obtiene al dividir el número de puntos correctamente asignados entre el total de puntos de referencia; y el *coeficiente kappa*, que se obtiene a partir de la siguiente expresión [16]:

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}} \quad (3)$$

Donde X_{ii} son los puntos correctamente asignados en cada categoría, X_{i+} es el total de puntos pertenecientes a la categoría i en el mapa, X_{+i} el total de puntos que pertenecen a la categoría i en el terreno y N es el total de puntos de referencia. Congalton y Green [17] indican que el valor mínimo estandarizado para la fiabilidad global es del 85%; mientras que Loya-Carrillo et al. [18] señalan que una clasificación es aceptada si alcanza un valor mayor o igual a 0,8 en el coeficiente Kappa.

- *Asignación de Grupos Hidrológicos de Suelo*: El mapa de grupos hidrológicos de suelo (GHS) se generó a partir del Mapa de Suelos de Córdoba con ayuda del sistema de información geográfica (SIG). Las características litológicas de cada unidad cartográfica permitieron definir el GHS correspondiente utilizando la textura como criterio principal de asignación. Teniendo en cuenta que las unidades cartográficas son una combinación de varios tipos de suelo, el GHS escogido corresponde al de mayor porcentaje de participación dentro de la unidad o al de mayor potencial de escorrentía cuando los porcentajes de participación fueron muy cercanos.

- *Determinación del Número de Curva*: el mapa del número de curva se generó mediante la combinación del mapa de coberturas y el mapa de grupos hidrológicos de suelo, utilizando la herramienta ArcCN-Runoff para ArcGIS [19] que incorpora las tablas del NRCS.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Coberturas del Suelo

El mapa de coberturas en la subcuenca de Betancí (Fig. 3) muestra que la cubierta predominante es el pasto, que ocupa aproximadamente el 85% del área total y se destina a la ganadería extensiva. Resultados similares fueron reportados por CVS [14] cuando se encontró que en los alrededores de la ciénaga de Betancí la vegetación natural fue desplazada mayoritariamente por pastos manejados, lo cual sugiere que la tendencia de ocupación del suelo se ha mantenido desde entonces y se extiende a toda la subcuenca.

Por otro lado, el mapa muestra que las cubiertas de bosque están dispersas en el área de estudio, ocupando un área de 7.780,57 hectáreas (ha); no obstante, durante el trabajo de campo se observó que buena parte de estas zonas están representadas por plantaciones forestales de especies foráneas como la *acacia mangium*. Se presume que los bosques naturales están concentrados principalmente hacia el sur, en límites con el Cerro Murrucucú.

Los cultivos ocupan menos del 1% del área total y están representados en su mayoría por plantaciones de palma africana. La ciénaga de Betancí tiene una superficie de 2.050,2 ha de espejo de agua, mientras que las tierras desnudas y las zonas urbanas discontinuas ocupan en conjunto el 0,63% de la subcuenca. Por este motivo, para efectos de representación y visualización, fueron resaltadas en el mapa mediante símbolos.

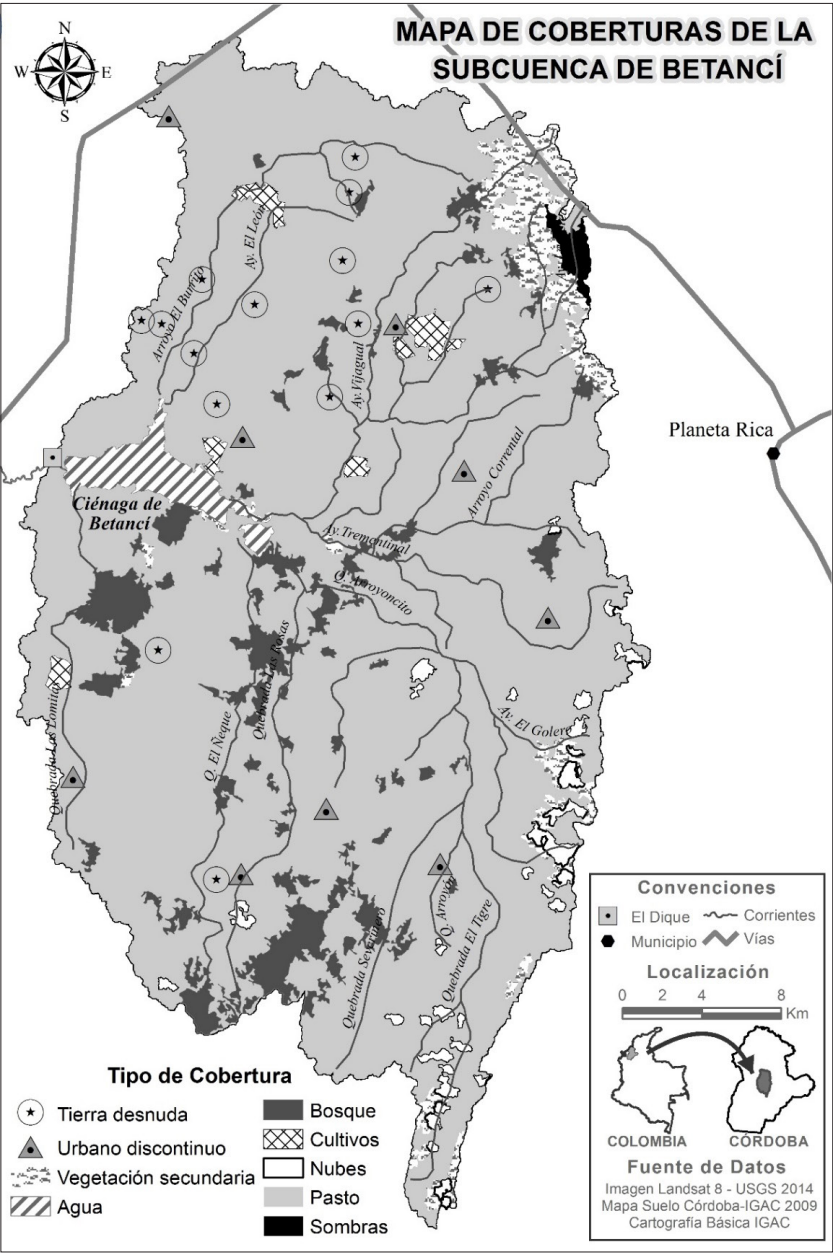


Figura 3. Distribución espacial de coberturas.

La correcta determinación del comportamiento espacial del número de curva depende de la calidad de los insumos cartográficos, por esta razón fue necesario establecer la exactitud temática del mapa de coberturas mediante el uso de índices como la fiabilidad global y el coeficiente Kappa. La fiabilidad global tuvo un valor de 93,7% que es superior al umbral mínimo estandarizado del 85% [17]; mientras que el coeficiente Kappa tuvo un valor de 0,85 que indica que los resultados de la clasificación son aceptables [18].

B. Grupos Hidrológicos de Suelo

En la Fig. 4 se muestran los diferentes grupos hidrológicos de suelo en la subcuenca de Betancí. El 83 % pertenece al grupo hidrológico D, ya que presenta texturas finas y en algunos casos se encuentra limitado por capas impermeables, encharcamientos, contacto rocoso a menos de 50 centímetros de profundidad y/o fluctuaciones del nivel freático [20]. Los suelos restantes (17 %) pertenecen al grupo hidrológico C y exhiben texturas moderadamente finas o medias.

Estos resultados indican que los suelos de la subcuenca de Betancí tienen un potencial de escorrentía alto o moderadamente alto según la clasificación dada por el método del número de curva; por tanto, son naturalmente susceptibles a la erosión hídrica cuando están desprovistos de cobertura.

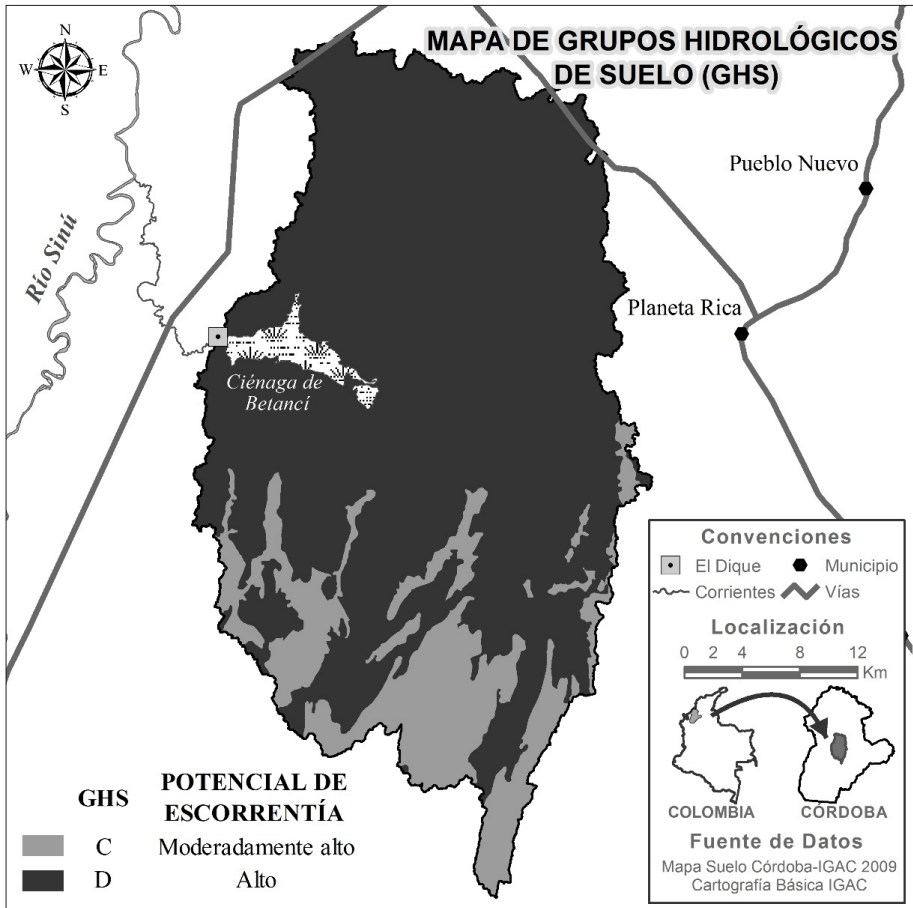


Figura 4. Grupos hidrológicos de suelo.

C. Número de Curva

La Tabla 1 muestra las diferentes combinaciones de cobertura y grupo hidrológico de suelo que fueron encontradas en la subcuenca de Betancí. A cada combinación corresponde un número de curva que representa su potencial de escorrentía. Los valores más bajos se encuentran en los suelos del grupo C cubiertos por bosques o vegetación secundaria, mientras que los valores más altos se dan en los suelos del grupo D desprovistos de cobertura. A los cuerpos de agua se le asigna un NC igual a 98 porque toda la lluvia que cae sobre ellos se convierte directamente en escorrentía.

Los resultados de la Tabla I señalan que a medida que aumenta el desarrollo y la densidad de la vegetación, menor es la escorrentía y mayor la infiltración. El efecto de las plantas sobre la respuesta hidrológica del territorio se relaciona con su capacidad para mejorar la estructura del suelo y por ende su permeabilidad, aportar materia orgánica, retardar el flujo de agua sobre el terreno y prevenir el sellado de la superficie a causa del impacto directo de la lluvia [21].

Ahora bien, aún bajo las mismas condiciones de vegetación, las características propias del suelo tienen un efecto importante sobre la producción de escorrentía. Esto se ve reflejado en números de curva mayores para las categorías de vegetación secundaria, bosque, pasto, cultivos y urbano discontinuo, que se combinan con suelos del grupo D, en comparación con las que se combinan con suelos del grupo C.

Estos resultados se agruparon en intervalos para facilitar su representación gráfica, obteniendo el mapa del número de curva en la subcuenca de Betancí (Fig. 5).

Las variaciones espaciales del número de curva se deben a la distribución espacial de las coberturas y grupos hidrológicos de suelo; es evidente el predominio de las zonas con NC entre 81 y 86, que ocupan casi el 70% del área total y resultan de combinar las dos características físicas más abundantes en la subcuenca de Betancí: pasto más suelos del grupo hidrológico D.

Tabla 1. Asignación del número de curva para cada asociación suelo-cobertura

Tipo de Cobertura	GHS	Área (ha)	%	NC
Vegetación secundaria	C	657,35	0,55	70
Bosque	C	2.609,11	2,17	70
Pasto (bueno)	C	423,82	0,35	74
Vegetación secundaria	D	3.261,45	2,71	77
Bosque	D	5.171,46	4,30	77
Pasto (medio)	C	15.860,90	13,20	79
Pasto (bueno)	D	1.199,99	1	80

Continúa...

Tipo de Cobertura	GHS	Área (ha)	%	NC
Pasto (medio)	D	81.484,00	67,81	84
Cultivos	C	17,60	0,01	85
Pasto (pobre)	C	8,55	0,01	86
Cultivos	D	1.138,61	0,95	89
Pasto (pobre)	D	3.167,30	2,64	89
Urbano discontinuo	C	11,78	0,01	90
Urbano discontinuo	D	149,15	0,12	92
Tierra desnuda	D	597,64	0,50	94
Agua	-	2.050,21	1,71	98
Nubes	C	746,31	0,62	-
Nubes	D	1.177,99	0,98	-
Sombras	D	440,09	0,37	-
TOTAL	-	120.173,30	100	-

Las zonas de mayor potencial de escorrentía ($93 < CN < 98$, parches de color negro) se localizan hacia el norte de la ciénaga de Betancí donde existe una concentración importante de tierras desnudas. Las zonas de menor potencial ($70 < CN < 74$, parches de color blanco) se encuentran principalmente en el Sur, donde se combina la cobertura boscosa con suelos del grupo hidrológico C.

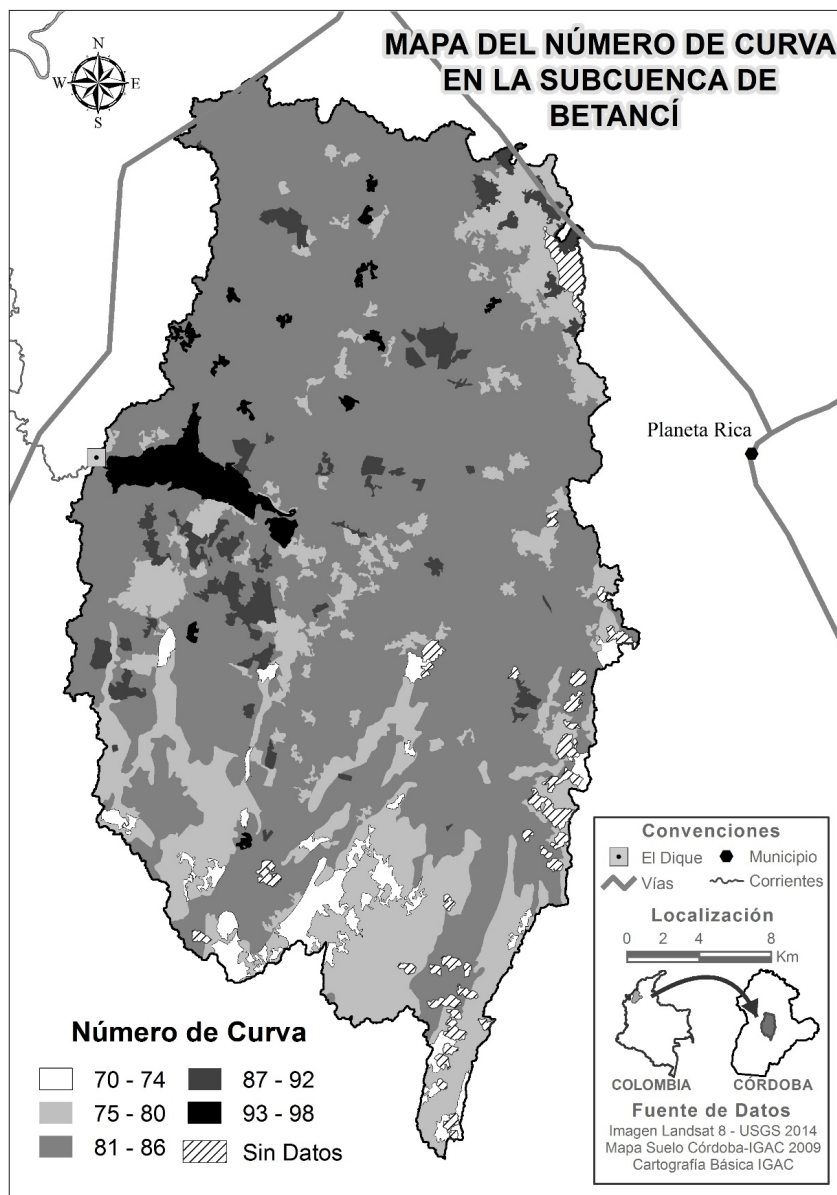


Figura 5. Mapa del número de curva.

El número de curva promedio ponderado para la subcuenca de Betancí tuvo un valor de 83, el cual sugiere que las condiciones generales del territorio tienden a favorecer la escorrentía por encima de la infiltración. Resultados

similares han sido reportados en otras zonas de la cuenca media del río Sinú, como la microcuenca de la quebrada Aguas Blancas, donde el CN tuvo un valor medio de 80 [22].

En estas condiciones se favorece la ocurrencia de procesos erosivos y se reduce la productividad del suelo, pues a mayor escorrentía mayor pérdida de sedimentos, nutrientes y humedad [23]. Además, la escorrentía sin control es causante de avenidas e inundaciones que son consideradas el desastre natural más frecuente de América Latina y El Caribe [24].

Autores como Martínez de Azagra et al. [25] señalan que la desertificación del territorio se presenta cuando existe un alto potencial de escorrentía ($Q \approx P$). En este sentido, las condiciones de la subcuenca de Betancí, descritas por el número de curva, promueven la desertificación del territorio.

Por lo anterior, es necesario emprender acciones para reducir los valores del número de curva y por ende mantener la escorrentía bajo control, tales como: reforestar las tierras degradadas, ampliar las zonas de bosque, implementar sistemas silvopastoriles, realizar controles de pastoreo para mantener una buena condición hidrológica y mejorar el tratamiento del terreno en los cultivos mediante planes de conservación de suelos y agua.

El impacto hidrológico de estas acciones puede ser evaluado fácilmente mediante el monitoreo de los cambios espaciales y temporales del número de curva.

IV. CONCLUSIONES

En la subcuenca de Betancí se registran valores altos del número de curva en la mayor parte del territorio, lo que indica la presencia de condiciones que favorecen el proceso de escorrentía por encima de la infiltración. La escorrentía sin control conduce a la degradación de recursos naturales como el suelo y el agua, y finalmente propicia la desertificación.

El número de curva resume el efecto de las condiciones del territorio sobre la hidrología superficial de una cuenca. El uso de las tablas del NC permite transformar información cualitativa sobre el tipo de cobertura y el grupo hidrológico de suelo, en información cuantitativa que representa el com-

portamiento de la escurrentía y que puede utilizarse como un indicador de impacto ambiental.

Con esta investigación se demuestra que la información disponible permite aplicar la teoría del número de curva en el departamento de Córdoba, por lo que debe replicarse en otras cuencas hidrográficas del departamento. Las futuras investigaciones pueden encaminarse al estudio de las variaciones espaciotemporales del número de curva, aprovechando la capacidad de los sensores remotos para capturar los cambios que ocurren en la superficie terrestre.

REFERENCIAS

- [1] NRCS, "Hydrologic soil-cover complexes", in *Part 630 Hydrology National Engineering Handbook*, Natural Resources Conservation Service, Ed. USA: USDA, 2004, cap. 9, pp. 1-3.
- [2] R. Almánzar, J. A. Pascual, "Análisis de sucesos productores de caudal en pequeñas cuencas mediterráneas como apoyo a la gestión integrada y sostenible del agua", en *VII Congreso Ibérico Gestión y Planificación Agua*, Talavera de la Reina, España, 2011.
- [3] V. Mockus, "Estimation of direct runoff from storm rainfall", en *National Engineering Handbook Section 4 Hydrology*, Soil Conservation Service, Ed. USA: USDA, 1964.
- [4] NRCS, "Estimation of direct runoff from storm rainfall", en *Part 630 Hydrology National Engineering Handbook*, Natural Resources Conservation Service, Ed. USA: USDA, 2004, cap. 10, pp. 1-8.
- [5] NEDC, "Module 205 SCS runoff equation", en *Engineering Hydrology Training Series*, National Employee Development Center, Ed. USA: USDA, 1999, pp. 5-8.
- [6] NRCS, "Hydrologic soil groups", en *Part 630 Hydrology National Engineering Handbook*, Natural Resources Conservation Service, Ed. USA: USDA, 2009, cap. 7, pp. 1-3.
- [7] M. Ajmal, G. Moon, J. Ahn, T. Kim, "Investigation of SCS-CN and its inspired modified models for runoff estimation in South Korean watersheds", *J. of Hydro-Environment Research*, vol. 9, pp. 592-603, 2015. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jher.2014.11.003>.
- [8] R. Hawkins, T. Ward, E. Woodward, J. Van Mullen, "Continuing evolution of rainfall-runoff and the curve number precedent", en *2nd Joint Federal Interagency Conf. ACWI*, Las Vegas, NV, 2010, pp. 1-12.

- [9] A. M. Melesse, S. F. Shih, "Spatially distributed storm runoff depth estimation using Landsat images and GIS," *Computers and Electronic in Agriculture*, vol. 37, pp. 173-183, 2002. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1699\(02\)00111-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1699(02)00111-4).
- [10] S. Lavao, "Aplicación de la teoría del número de curva (NC) a una cuenca de montaña. Caso de estudio: cuenca del Río Murca, mediante la utilización de sistemas de información geográfica", Tesis de Diplomado, Depto. Ing. Civil, Univ. Militar Nueva Granada, 2014.
- [11] D. S. Deshmukh, U. C. Chaube, A. Ekube Hailu, D. Abera Gudeta, M. Tegene Kassa, "Estimation and comparision of curve numbers based on dynamic land use land cover change, observed rainfall-runoff data and land slope", *Journal of Hydrology*, vol. 492, pp. 89-101, 6/7, 2013. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.04.001>.
- [12] A. Rodríguez, F. Gaspari, G. Sinisterra, M. I. Delgado, S. Besteiro, "Evaluación del efecto de la restauración agro-hidrológica mediante la aplicación del modelo hidrológico GeoQ", *Revista Investigaciones Agropecuarias*, vol. 38, pp. 171-181, 2012. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86423631013>, ISSN 0325-8718.
- [13] Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y San Jorge, *Plan de gestión ambiental regional - PGAR. Actualización 2008-2019*. Montería, 2008, pp. 86-88.
- [14] Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y San Jorge, "Inventario y caracterización de los recursos naturales renovables", en *Diagnóstico ambiental de la cuenca hidrográfica del río Sinú*, 1st ed., CVS, Ed. Montería: CVS, 2004.
- [15] E. Posada, H. Ramírez, N. Espejo, *Manual de prácticas de percepción remota con el programa ERDAS IMAGINE 2011*. Bogotá D.C.: IGAC, 2012.
- [16] E. Chuvieco, *Fundamentos de teledetección espacial*. Madrid, España: RIALP. S.A., 1996.
- [17] R. Congalton, K. Green, *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*. New York: Taylor & Francis Group, 2009.
- [18] J. Loya-Carrillo, S. Aguilar-Estrada, L. Bravo-Peña, E. Sánchez-Flores, "Evaluación espacio-temporal del impacto del crecimiento urbano sobre la cobertura vegetal en la región fronteriza Nogales, México y Arizona, Estados Unidos, durante el periodo 1995-2010", *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, vol. 9, pp. 124-240, 2013. Disponible en: <http://www.itson.mx/publicaciones/rlrn/Documents>
- [19] X. Zhan, M. Huang, "ArcCN-Runoff: an ArcGIS tool for generating curve number and runoff maps", *Environmental Modelling & Software*, vol. 19, pp. 875-879, 10, 2004. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2004.03.001>

- [20] IGAC, *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de córdoba*, 1:100.000. Bogotá D.C.: Imprenta Nacional de Colombia, 2009.
- [21] NRCS, "Module 103 – runoff concepts", in *Hydrology Training Series*, Soil Conservation Service, Ed. USA: USDA, 1989.
- [22] A. López, L. Martínez, J. Fera, J. Cruz, "Planificación del recurso hídrico en la quebrada Aguas Blancas, zona rural de Montería, Córdoba", *Prospect*, vol. 14, pp. 71-80, 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.15665/rp.v14i2.567>
- [23] *Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos*, FAO, Roma, Italia, 2000, pp. 13-27.
- [24] C. Fernández, S. Buss, "Ocurrencia y gestión de inundaciones en América Latina y el Caribe - factores claves y experiencia adquirida", *BID, Norma Técnica IDB-TN-924*, 2016.
- [25] A. Martínez de Azagra, J. Mongil, L. Rojo, "Modelos hidrológicos para la oasificación de laderas degradadas", *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, vol. 18, pp. 275-279, 2004. ISSN: 1575-2410.