

Determinación del parámetro número de curva en la cuenca Las Coloradas en un entorno SIG

Rafael Miguel Pacheco Moya e-mail: rpacheco@uo.edu.cu
MSc. Ing., Dpto. de Ingeniería Hidráulica. Univ. de Oriente, Santiago de Cuba.

Elio Quiala Ortiz e-mail: elquiala@uo.edu.cu
MSc. Ing., Dpto. de Ingeniería Hidráulica. Univ. de Oriente, Santiago de Cuba.

Ivan Martínez Hernández e-mail: ivan.martinez@dprh.hlg.hidro.cu
Ing., Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos. Holguín.

RESUMEN

En el presente artículo se determina de manera automática el número de curva en la cuenca Las Coloradas, parámetro hidrológico que utiliza el método del Servicio de Conservación de Suelos de los EEUU para estimar el escurrimiento superficial en cuencas hidrográficas. El procedimiento está basado en la utilización del Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcView 3.3, el cual permite trabajar con datos de muy diversa índole que se encuentran en una misma localización geográfica. La generación de mapas del número de curva a escala regional se realiza mediante la aplicación de operaciones aritméticas de superposición de mapas y criterios de las distintas capas de información de las que depende el método (tipo, uso del suelo, condición hidrológica y tratamiento).

Palabras clave: escurrimiento superficial, parámetro número de curva, Servicio de Conservación de Suelos de los EEUU, Sistema de Información Geográfica.

Determination of the curve number parameter in Las Coloradas basin on a GIS environment

ABSTRACT

In this paper, the curve number in Las Coloradas basin is automatically determined. The curve number is a hydrological parameter used by the US Soil Conservation Service method for the estimation of surface runoff in watersheds. The procedure is based on the use of the Geographic Information System (GIS) ArcView 3.3, which allows working with data of very diverse nature that are in the same geographical location. The generation of regional curve number maps is performed by the application of map overlay arithmetic operations and criteria from the different layers of information on which the SCS curve number method depends (type, land use, hydrological condition and treatment).

Keywords: surface runoff, curve number parameter, US Soil Conservation Service, Geographic Information System.

INTRODUCCIÓN

La determinación de escurrimientos de aguas superficiales reviste una gran importancia desde el punto de vista ingenieril y consecuentemente social y económico. Para poder diseñar apropiadamente estructuras de aprovechamiento y control del recurso agua, es necesario conocer la magnitud y extensión de los escurrimientos.

Existen varios métodos internacionales para el cálculo del escurrimiento producido por eventos de precipitación, algunos basados en simples correlaciones y otros más sofisticados que toman en cuenta la interacción de los diferentes componentes del sistema natural. Un método que ha encontrado bastante aceptación, por su simplicidad y mediano requerimiento de información es el propuesto por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (USSCS por sus siglas en inglés).

Este método se basa en la altura de precipitación y el valor de un parámetro conocido como número de curva (NC) que toma en cuenta los rasgos característicos del suelo y su vegetación. El valor de NC, es un parámetro hidrológico de una cuenca o zona determinada e indica el potencial para generar escurrimiento cuando los suelos no están congelados, de manera que un alto valor de NC producirá gran escurrimiento y viceversa.

El método es únicamente aplicable a cuencas pequeñas y preferentemente a cuencas rurales con gran porcentaje de su área cultivada (Campos 1992). Este método es la consolidación de diversos procedimientos y se aplica principalmente en los estudios de avenidas máximas en cuencas sin aforos, lo cual es muy apropiado para su aplicación en las cuencas del país por la inexistencia, en la mayoría de ellas, de dichos aforos.

La determinación de este parámetro requiere del procesamiento de una gran cantidad de información espacialmente distribuida, por lo que resulta un tanto complejo su obtención de forma manual. Para resolver esta situación, el manejo de dicha información se puede llevar a cabo con la ayuda de un SIG, lo cual garantiza ahorrar tiempo de trabajo, fuerza técnica, y posee un alto efecto económico-social al contribuir a la salvación de vidas humanas y recursos materiales ya que mejora la eficiencia en el cálculo del escurrimiento en cuencas hidrográficas.

Un SIG es un sistema de hardware, software y procedimientos diseñados para soportar la captura, administración, manipulación, análisis y modelación de datos u objetos referenciados espacialmente, para resolver problemas complejos de planificación y gestión (Aranoff 1991).

Los especialistas en Hidrología encuentran cada vez más efectivo el uso de los SIG debido a su gran capacidad para gestionar datos distribuidos y referenciados en el mundo real. Actualmente las aplicaciones hidrológicas están prestando una mayor atención a los modelos que contemplan la componente espacial y temporal de los datos, desarrollando a su vez métodos de programación orientada a objetos.

Por otra parte, según (Serrano et al. 2006), el empleo de técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC) pueden ser aplicadas en diversos estudios hidrológicos. El objetivo de la EMC consiste en aplicar técnicas de búsqueda avanzadas, que apoyen el proceso de la toma de decisiones. De

acuerdo con Voogd (1983) citado por (Serrano et al. 2006), el propósito de la EMC es de investigar un número de alternativas a través de múltiples criterios con objetivos en conflicto.

Con base en lo anterior, es factible generar soluciones-compromiso y jerarquizaciones de las alternativas de acuerdo con su grado de aptitud (Janssen and Rietveld 1990). La EMC al apoyarse en un Sistema de Información Geográfica (SIG), permite determinar el valor del NC de forma rápida y eficiente.

El objetivo de este artículo es calcular el parámetro del número de curva en la cuenca Las Coloradas en un entorno SIG, para su posterior utilización en el cálculo del escurrimiento de dicha cuenca.

Dicho cálculo está basado en la actualización de la metodología propuesta por Serrano et al. (2006), que tiene en cuenta las técnicas de evaluación multicriterio y el empleo de un SIG.

El software empleado para el procesamiento de la información gráfica en la obtención del parámetro NC es el ArcView 3.3 (ESRI 1996). Este programa maneja principalmente datos de tipo vectorial, pero es capaz de soportar datos con formato tipo ráster, que es el formato con que ArcView hace las operaciones entre mapas, interpolaciones y en general los análisis de superficies que sean pertinentes.

Además contiene herramientas para la entrada y manipulación de información geográfica, maneja bases de datos, realiza búsquedas geográficas, análisis y visualización y posee una interfaz gráfica que permite acceder fácilmente a las herramientas.

Por otro lado, este software es uno de los más utilizados y conocidos internacionalmente por sus resultados satisfactorios, sin descartar otros SIG que proporcionan también excelentes resultados.

CARACTERÍSTICA DE LA CUENCA DE ESTUDIO

La presente investigación se enmarca en la cuenca “Las Coloradas”, definida por el cierre de cálculo ubicado, conforme al Sistema de Coordenadas Lambert del Sistema Cuba Sur, en las coordenadas Norte: 161,1 y Este: 571,8, en el río Cauto, aguas arriba del embalse Gilbert, la misma se localiza en el municipio Palma Soriano, en la provincia Santiago de Cuba (figura 1).

La cuenca hidrográfica tiene como río principal al Cauto a partir de su nacimiento en el río La Cubana, con 21,5 km. de longitud. El área de captación es de 65 km² y la altitud varía entre los 846 y 220 msnm. El relieve de la cuenca es montañoso, con fuertes pendientes, lo que permite una rápida evacuación de las aguas precipitadas. La misma es óvalo-redonda con un perímetro de 39 km.

En el cierre de la cuenca se ubica la estación hidrométrica homónima. La cuenca limita al este, norte y oeste con el resto de la cuenca del río Cauto: afluentes Marianao, Caney y Contra maestre. Al sur limita con las elevaciones de la Sierra Maestra, nacimiento de los ríos de la vertiente sur de la provincia (Pacheco 2011).

PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DEL PARÁMETRO NÚMERO DE CURVA (NC) CON EL ARC-VIEW 3.3

Con el fin de estimar el parámetro de número de curva en la cuenca Las Coloradas, se estableció un procedimiento de trabajo basado en la metodología propuesta por (Serrano et al. 2006). El valor de NC que se obtiene es para la condición de humedad antecedente media (CHA II) que es para la cual están tabulados los valores del USSCS. Para emplear el NC en el cálculo del escurrimiento hay que analizar la condición de humedad antecedente de la cuenca en el instante en que se presenta la tormenta, ya que de acuerdo con la cantidad de lluvia ocurrida en los cinco días previos al de ocurrencia de la tormenta, dicho valor debe ser corregido según las equivalencias del NC para las condiciones de humedad antecedente CHA I (Baja) o III (Alta) (Campos 1992).



Figura 1. Localización de la cuenca Las Coloradas. Esc: 1: 50 000

Obtención de la base gráfica de datos de la cuenca de estudio

Para determinar el parámetro número de curva en un entorno SIG, se requiere información gráfica de la zona objeto de estudio.

Dicha información gráfica consiste en mapas temáticos de tipo y uso del suelo, así como de las características de la cuenca como es su red de drenaje. En nuestro país, dicha información es controlada por los Organismos de la Administración Central del Estado encargados para tal fin, como son GEOCUBA y MINAGRI.

En la cuenca de estudio los mapas temáticos de tipo y uso del suelo fueron adquiridos del mapa de propiedades de suelos realizado por GEOCUBA, el cual fue obtenido como resultado de un riguroso trabajo de campo llevado a cabo en conjunto con el Departamento de Suelos de la Delegación Provincial del MINAGRI en Santiago de Cuba (figura 2).

Equivalencia entre la información de tipo y uso de suelo de la cuenca con la requerida por el método del USSCS

Con el fin de establecer la equivalencia de la información de tipo y uso de suelo, publicada por GEOCUBA y el MINAGRI en Santiago de Cuba, con la requerida por el método del USSCS, se modificó la tabla de atributos de cada uno de los temas agregando nuevos campos.

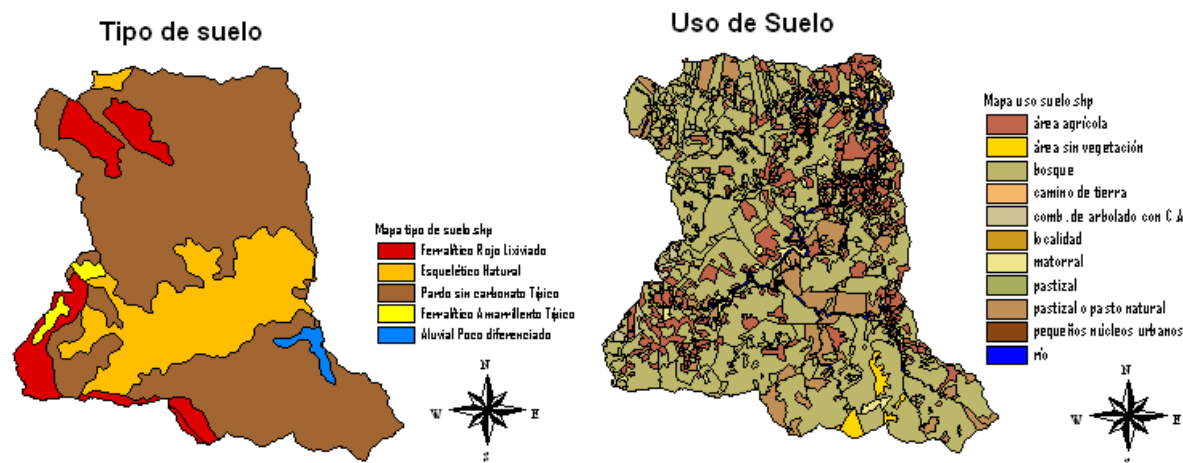


Figura 2. Mapas temáticos de tipo y uso de suelo de la cuenca Las Coloradas

En la tabla de atributos del mapa temático uso de suelo se anexaron los campos: “uso de tierra” y “valoruno”. Dentro del campo “uso de tierra” se hizo una correspondencia de las entidades que el MINAGRI maneja, con los usos y tratamiento del suelo que maneja el método del número de escurrimiento del USSCS.

En la tabla 1 se muestra la correspondencia que se estableció entre los usos de las entidades del MINAGRI con los del método del USSCS. El segundo campo “valoruno”, se anexó para contar con un campo numérico con el cual se puedan hacer las operaciones entre mapas o temas para la conversión de formatos SHP a GRID.

Tabla 1. Equivalencia de las nomenclaturas MINAGRI y USSCS de uso de suelo

Uso de Suelo del MINAGRI	Correspondencia con el Uso de Suelo según el USSCS
Autoconsumo	Área agrícola
Bosque	Bosque
Café	Área agrícola
Café y Bosque de Latifolia	Combinado de arbolado con C.A
Camino	Camino de Tierra
Caña	Área agrícola
Poblado, Cementerio, corral, Despulpadora, etc.	Pequeños núcleos urbanos
Frutales	Área agrícola
No tiene uso	Área sin vegetación
Pasto no cultivado	Pastizal o pasto natural
Pasto cultivado	Pastizal
Río, arroyo	Río
Superficie ociosa	Matorral

Con el mismo fin en la tabla de atributos del mapa temático de tipo de suelo se anexaron los campos: “textura de suelo” y “valornc”. Dentro del campo “textura de suelo” se hizo una correspondencia entre la textura de los tipos de suelo de la cuenca que el MINAGRI maneja, con la textura de los suelos que el método del USSCS maneja en función de los cuatro grupos hidrológicos A, B, C y D (capacidad del suelo para generar escurrimiento).

Para establecer esta correspondencia se empleó la tabla de clasificación de los subtipos de suelos cubanos según los grupos hidrológicos, propuesta por Hernández et al. (1999), ya que se cuenta con el mapa tipo de suelo brindado por el MINAGRI y GEOCUBA.

Los tipos de suelo de la cuenca de estudio, presenta tres grupos hidrológicos: A, B y C (tabla 2). En el caso del suelo esquelético natural que en general clasifica como A/C, para el caso particular de la cuenca se clasificó como C por ser un suelo de textura arcillosa, poco profundo y con bajo contenido de materia orgánica.

El campo “valornc” se incluyó como el campo numérico necesario para hacer la conversión a GRID, a partir de un criterio de jerarquización (Gómez y Barredo 2005) citado por (Serrano et al. 2006).

El criterio consiste en tomar valores desde cero hasta tres, jerarquizando la capacidad de generar escurrimiento de cada zona de la cuenca: El valor cero se le otorgó al suelo cubierto por agua ya que al relacionarse con el mapa de uso de suelo se “anularán” por no existir las entidades mencionadas anteriormente (tabla 3).

Conversión de los mapas temáticos de formato SHP a GRID

Este paso consiste en convertir los mapas temáticos de tipo y uso del suelo de formato SHP a GRID ya que es el formato en que ArcView hace las operaciones entre mapas. El campo para convertir a formato GRID cada uno de los mapas temáticos de tipo y uso de suelo, son los campos numéricos “valornc” y “valoruno” respectivamente, declarados en el paso anterior.

El resultado de la operación anterior, para el caso del tema tipo de suelo (Tsuelo), es un mapa criterio dividido en tres valores, uno, dos y tres, mostrados en la figura 3.

Tabla 2. Grupo hidrológico de los suelos de la cuenca

Tipo de suelo		Grupo hidrológico	Textura del suelo	Intervalos de las tasas de pérdidas (pulg./h)
XXVIII-U	Esquelético Natural	A/C=C	Arcilloso	0,05-0,15
III-A	Ferralítico Rojo Lixiviado Típico	A	Loam arcilloso a arcilloso	0,30-0,45
IX-A	Pardo sin carbonato Típico	B	Loam arenoso	0,15-0,30
IV-A	Ferralítico Amarillento típico	B	Loam arenoso	0,15-0,30
XXVI-S	Aluvial Poco Diferenciado	C	Arcilla arenosa	0,05-0,15

En el caso del mapa uso de suelo, la transformación a GRID se realizó para cada uno de los usos de suelos especificados según la equivalencia establecida anteriormente (tabla 1) para las condiciones del método del USSCS.

La transformación se basó en asignarles valores de uno a un suelo específico y cero a los restantes valores del campo “valoruno”. Esto se repitió para cada uno de los usos de suelo, generando trece mapas criterios correspondientes a los temas que se establecieron según la equivalencia. En la figura 4 se muestran, como ejemplo, los mapas criterio Autoconsumo y Bosque.

Tabla 3. Equivalencia de nomenclaturas MINAGRI y USSCS para tipo de suelo, así como su respectiva jerarquización de acuerdo con su capacidad para producir escurrimiento

Tipo de suelo (clasificación MINAGRI-USSCS)	Jerarquización para obtener el valor del Número de Curva (valornc)
Suelo cubierto por agua	Cero (0)
A	Uno (1)
B	Dos (2)
C	Tres (3)

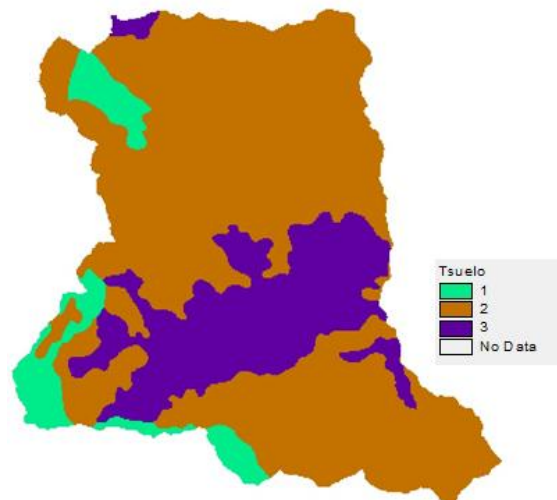


Figura 3. Mapa criterio del tipo de suelo en formato GRID de acuerdo con su capacidad de producir escurrimiento

Operaciones entre mapas en formato GRID

Con el objetivo de obtener el parámetro número de curva, se debe realizar operaciones entre los mapas en formato GRID obtenidos anteriormente.

Para ello hay que realizar una superposición de dichos mapas, basado en la multiplicación del tema GRID tipo de suelo (figura 3) con cada uno de los temas GRID correspondientes a los usos de suelo específico (figura 4).

La figura 5 muestra la regla de decisión basado en la superposición de mapas. Al combinar cada tema de uso de suelo con el tipo de suelo, se obtiene un nuevo tema con atributos 0, 1, 2 y 3, que representa la capacidad de cada zona de la cuenca para generar escurrimientos superficiales en términos del NC.

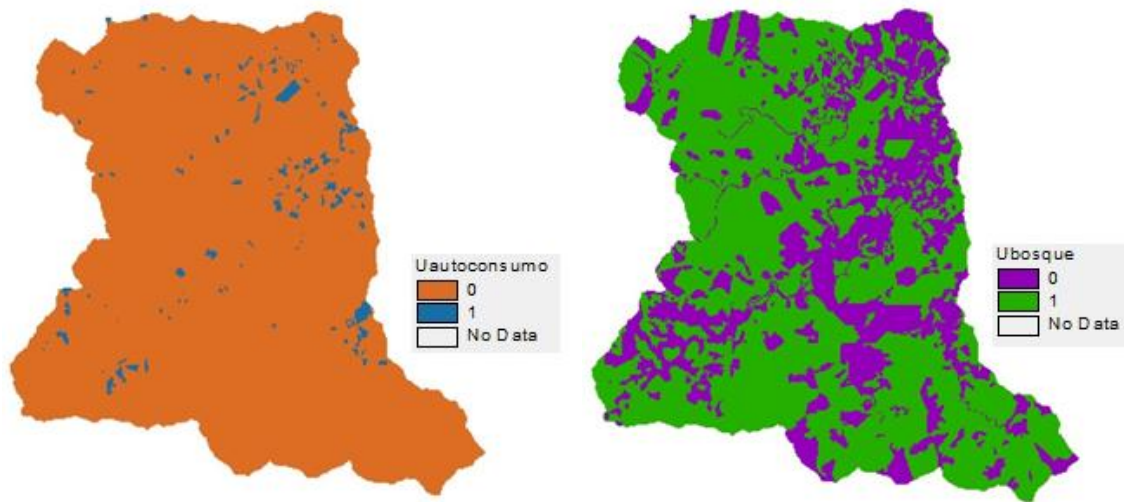


Figura 4. A la izquierda tema “U autoconsumo” y a la derecha tema “U bosque”, dividido en dos regiones: uno (para el suelo específico) y cero (para los restantes usos)

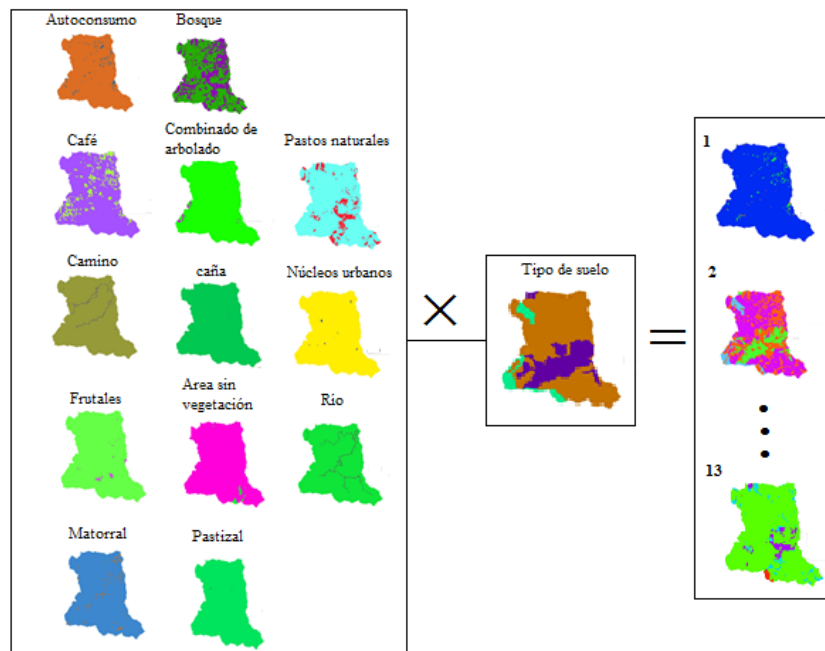


Figura 5. Regla de decisión: superposición de mapas a través de su multiplicación. Reclasificación de las operaciones entre mapas

Cada uno de los 13 temas de atributos obtenidos en el paso anterior se deben modificar (reclasificar) con el fin de determinar los valores de número de curva correspondientes a los usos de suelo establecidos según la correspondencia con el método del USSCS (figura 6). Dicha reclasificación consiste en introducirle al tema, los valores de NC correspondientes al uso de suelo específico.

Para conocer los valores de NC, hay que hacer coincidir el tipo de vegetación, la condición hidrológica, el tipo de tratamiento y el tipo de suelo como establece la tabla del método del USSCS (Campos 1992).

Cuando la operación en una región es cero, no se cumple alguna característica por lo tanto se anula esa área para estas condiciones.



Figura 6. Diagrama de la operación de reclasificación

Suma de los mapas de reclasificación

A partir del conjunto de mapas reclasificados, se procedió aplicar una segunda regla de decisión, la cual consistió en sumar cada uno de los mapas con la clasificación del NC (figura 7), obteniendo un nuevo tema GRID con los valores de número de curva, cubriendo la totalidad de la cuenca (figura 8).

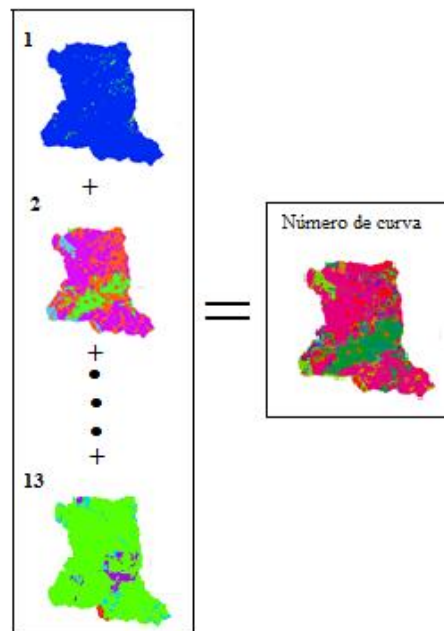


Figura 7. Superposición de los mapas a través de la suma

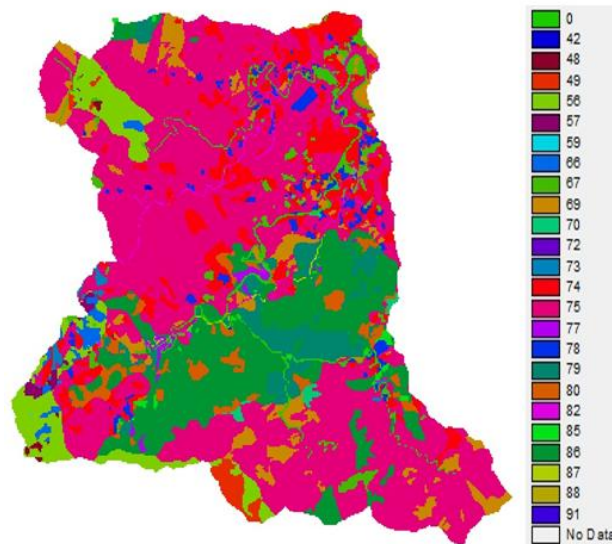


Figura 8. Mapa del número de curva (NC) de la cuenca Las Coloradas

Obtención del $NC_{promedio}$ de la cuenca

Para calcular el valor del $NC_{promedio}$ de la cuenca, se convirtió a formato SHP el mapa de NC obtenido anteriormente, donde cada polígono quedó referenciado con el código-Grid correspondiente (el NC).

Con esto fue posible obtener el área que cada polígono ocupa dentro de la cuenca, modificando la tabla de atributos de NCurva. Shp, anexando el campo “área” y con ayuda de la herramienta “Field Calculator” se obtiene el área de cada polígono.

Posteriormente se debe obtener el área total correspondiente a cada uno de los números de curva, sumando los valores de un mismo código, que en este caso corresponde al NC. Para realizar esta operación se debe presionar el botón “ Σ ” y especificar el campo del cual se desea obtener la sumatoria (“gridcode”).

Finalmente, realizando una ponderación de los valores de NC por sus áreas correspondientes, se obtiene el valor de número de curva promedio de la cuenca. En el caso de la cuenca de estudio “Las Coloradas”, se obtuvo un valor de $NC_{promedio}$ de 73.

El valor de $NC_{promedio}$ obtenido es para la condición de humedad antecedente media el cual debe ser corregido como se explicó anteriormente.

Una vez corregido el valor de número de curva se puede determinar el escurrimiento de la cuenca aplicando la ecuación propuesta por USSCS (ecuación 1), a partir de conocer el valor de lluvia máxima de un evento extraordinario.

$$Q = \frac{[P - \frac{5080}{NC} + 50,8]^2}{P + \frac{20320}{NC} - 203,2} \quad (1)$$

donde:

Q = Esguerrimiento.

P = Precipitación, en milímetros.

NC = número de curva, parámetro adimensional varía en un rango de 0 a 100.

CONCLUSIONES

- La obtención del parámetro número de curva del Servicio de Conservación de Suelo de los Estados Unidos de forma manual resulta complejo debido a la necesidad de procesar gran cantidad de información especialmente distribuida; estos inconvenientes pueden ser reducidos con la aplicación del procedimiento propuesto basado en la metodología de (Serrano et al. 2006), empleando un Sistema de Información Geográfica.
- Se aplicó dicho procedimiento a la cuenca Las Coloradas de la provincia de Santiago de Cuba, obteniéndose un valor de NC = 73. Este valor obtenido del NC es para la condición de humedad antecedente (CHA) II (media) que es para la cual están tabulados los valores del USSCS y debe ser ajustado.
- El conocimiento del valor de NC reviste gran importancia ya que permite saber cuál es el potencial para generar esguerrimiento de una cuenca. Además dicho método es de gran utilidad para cuencas pequeñas y sin aforos, lo cual es muy apropiado para su aplicación en las cuencas del país por la inexistencia en la mayoría de ellas de dichos aforos.
- El uso de este tipo de procedimiento, permite ahorrar tiempo de trabajo, fuerza técnica y mejorar la eficiencia en el cálculo del esguerrimiento en cuencas hidrográficas. Además de contribuir a la elaboración de modelos de apoyo a la toma de decisiones relativas al control de avenidas y prevención de inundaciones.

REFERENCIAS

- Aranoff S.** (1991). "Geographic information systems: a management perspective", WDL Publications, Ottawa, Canadá.
- Campos D. F.** (1992). "Procesos del ciclo hidrológico", Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México.
- ESRI** (1996). "Software ArcView 3.3", Environmental Systems Research Institute, Inc., USA.

Gómez M. y Barredo J. I. (2005). “Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio”, 2da ed., Ed. Ra-Ma, ISBN 978-84-7897-673-7, 304p, Madrid, España.

Hernández A., Pérez J. M., Bosch D. y Rivero L. (1999). “Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba”, Ed. Agrinfor, ISBN 978-959-246-022-5, 64p., La Habana, Cuba.

Janssen R. and Rietveld P. (1990). “Multicriteria analysis and geographical information systems: an application to agricultural land use in the Netherlands”, Geographical Information Systems for Urban and Regional Planning, vol 17, no,1, pp 129-139, ISBN 978-94-017-1677-2, Springer, Netherlands.

Pacheco R. M. (2011). “Modelación hidrológica con HEC-HMS en cuencas montañosas de la región oriental de Cuba”, Tesis para optar por el título de Máster en Ing. Hidráulica, Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae), La Habana.

Serrano M. M., Rodríguez J. A. y Villanueva A. C. (2006). “Cálculo del número de curva de escurrimiento mediante la aplicación de técnicas de evaluación multicriterio en un entorno SIG”, XXII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Guayana, Venezuela.

Voogd H. (1983). “Multicriteria evaluation for urban and regional planning”, Ed. Delftsche Uitgevers Maatschappij, DOI: 10.6100/IR102252, Delft, Netherlands.