



Estimación del parámetro hidrológico del Número de Curva NC: Automatización del cálculo mediante S.I.G. y nuevas fuentes de información cartográfica. Caso del área urbana de Pozo Hondo

Jorge Prieto Villarroya^{1,2} & Hector Daniel Farias² & Mabel Elisabeth Amarilla³

(1) *Estudio Delta – Phi Ingeniería. La Banda, Santiago del Estero*
jorgeprietovillarroya@yahoo.com.ar delta.ph@gmail.com

(2) *Instituto de Recursos Hídricos, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías*
Universidad Nacional de Santiago del Estero.
hdf@unse.edu.ar

(3) *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA EEA Santiago del Estero*
mamarilla@santiago.inta.gov.ar

RESUMEN: El método hidrológico del Soil Conservation Service SCS de Estados Unidos define mediante el parámetro Número de Curva NC la capacidad de una cuenca vertiente para producir escorrentía durante una lluvia. El parámetro permite obtener la lluvia neta o precipitación efectiva así como definir el Coeficiente de Escorrentía de cada cuenca. Se propone la aplicación de una metodología, introducida por la Universidad Politécnica de Valencia y el Centro de Estudios Hidrográficos CEDEX, que apoyada en el uso de Sistemas de Información Geográfica SIG, permita el cálculo del NC de manera automatizada y mediante el uso de fuentes de datos actualizados y de libre difusión en Argentina. Se aplica el procedimiento a una cuenca en el área peri-urbana de Pozo Hondo, en Santiago del Estero.

1 INTRODUCCIÓN

La escorrentía superficial es el fenómeno de mayor importancia desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica y consiste en la ocurrencia y conducción de agua en la superficie terrestre (Monsalve 1999).

La metodología del número de curva (NC ó CN) elaborada por el Soil Conservation Service SCS de Estados Unidos, que se utiliza para determinar la escorrentía superficial, es un método aplicado cuando se desea obtener una adecuada aproximación (Kent, 1968; SCS, 1972).

Las razones principales para el uso generalizado del método son:

- Aplicabilidad y eficacia aceptadas, debida al hecho de tratarse de un método ampliamente conocido y de uso habitual.
- Requiere un reducido número de variables para su aplicación, y estas son relativamente fáciles de obtener.
- Aunque utiliza un único parámetro, los resultados son similares y coherentes con otros modelos de mayor complejidad.

El método del Número de Curva NC se emplea en todo tipo de cálculos hidrológicos, especialmente en cuencas sin aforar (Rallison y Millar, 1982).

No obstante, la determinación práctica del parámetro NC en Argentina se realiza en ocasiones de manera un tanto “artesanal”, con fuentes de datos poco rigurosas o actualizadas y bajo una cierta subjetividad. Por ello, se propone la aplicación de una metodología que apoyada en el uso de Sistemas de Información Geográfica SIG, permita el cálculo del NC de manera cuasi-automatizada y mediante el uso de fuentes de datos actualizadas y de libre difusión.

La metodología de automatización mediante SIG, originalmente propuesta por la Universidad Politécnica de Valencia y el Centro de Estudios Hidrográficos CEDEX, ha sido implementada y actualizada empleando las fuentes de datos cartográficos disponibles en Argentina, aplicándola a una cuenca vertiente a la población de Pozo Hondo, en Santiago del Estero.

2 FUNDAMENTO TEÓRICO DEL MÉTODO

El modelo del Número de Curva NC permite obtener la escorrentía superficial acumulada (o lluvia neta acumulada) desde el comienzo del aguacero hasta un instante dado (Azagra 1995).

En 1954 (con revisiones sucesivas 1956, 1964, 1965, 1971, 1972, 1985) el Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los EEUU (USDA SCS), desarrolló un método sencillo para calcular el

escurrimiento como una función de las siguientes variables:

- La lluvia antecedente
- El tipo y uso del suelo
- La cobertura del suelo
- Manejo del suelo
- Hidrología o capacidad de infiltración del suelo

Se trata de un método de carácter empírico deducido de una numerosa serie de determinaciones realizadas por el SCS.

La formulación que sirve como fundamento para el método se basa en la premisa del SCS, que desarrolla un método para el cálculo de las abstracciones a la precipitación de una tormenta.

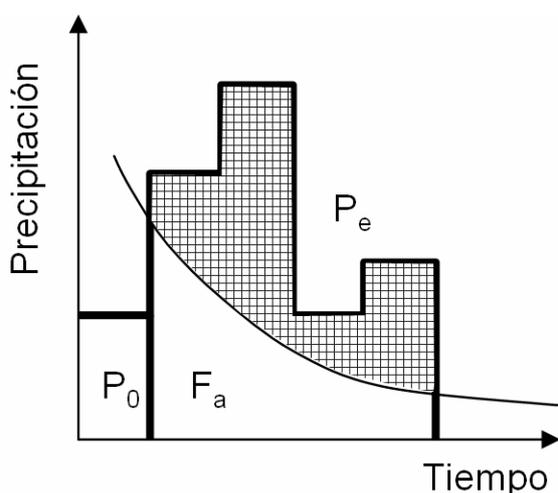


Figura 1. Hietograma. Variables del Método del Curva Número del SCS

Dada una tormenta con una lámina o precipitación total P , resulta siempre superior o igual a la profundidad de Exceso de Precipitación o Precipitación Neta/Efectiva o Escorrentía Superficial " P_e ó E_s ".

Asimismo, existe una cantidad inicial de precipitación " P_0 ", abstracción inicial antes del encharcamiento, para la cual no se producirá escorrentía, por lo que la escorrentía neta potencial es $(P - P_0)$.

Del mismo modo, una vez iniciada la escorrentía, la profundidad del agua retenida en la cuenca F_a , es menor o igual a la retención potencial máxima de la cuenca " S ": $(S = P_0 + F_a)$.

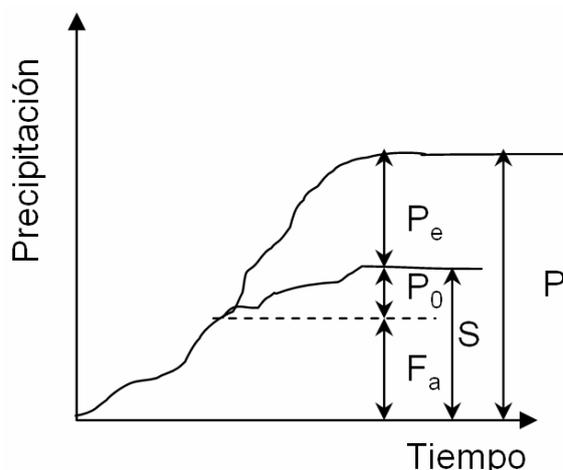


Figura 2. Esquema del Modelo Conceptual del Número de Curva (USDA SCS)

Por la Ec. del Principio de Continuidad se cumple la siguiente ecuación:

$$P = P_0 + F_a + P_e \quad (1)$$

Donde cada término representa:

P = Precipitación total

P_0 = Abstracción Inicial o Umbral de Escorrentía

F_a = Abstracción continuada

E_s ó P_e = Escorrentía Superf o Precipit. Neta

S = Retención potencial máxima

Por otra parte, la hipótesis del método del SCS USDA considera que las relaciones entre las dos cantidades reales y las dos cantidades potenciales son iguales, lo que da lugar a la siguiente expresión (2):

$$\frac{F_a}{S} = \frac{E_s}{P - P_0} \quad (2)$$

El significado hidrológico de la hipótesis expresa que el cociente entre las pérdidas reales producidas durante la lluvia y las pérdidas máximas posibles o pérdidas potenciales es igual al cociente entre el escurrimiento superficial real y el escurrimiento superficial máximo.

Combinando las ecuaciones (1) y (2), y despejando la escorrentía neta se obtiene la ecuación (3) básica de cálculo de escorrentía directa del SCS:

$$E_s = \frac{(P - P_0)^2}{P - P_0 + S} \quad (3)$$

El umbral de escorrentía P_0 se atribuye a la interceptación, infiltración y almacenamiento en depresiones que ocurren antes del inicio de la

escorrentía superficial, su influencia sobre la fórmula anterior es directa:

$$E_s = 0 \quad \text{si} \quad P < P_0$$

$$E_s = \frac{(P - P_0)^2}{P - P_0 + S} \quad \text{si} \quad P \geq P_0$$

Lo que representa que, una vez iniciadas las precipitaciones, la escorrentía no se produce hasta que las mismas no superan el umbral de escorrentía o abstracción inicial de lluvia.

Por ello, el USDA SCS propone la siguiente relación empírica (4) existente entre el umbral de escorrentía P_0 y la máxima retención posible o retención potencial máxima de la cuenca S .

$$P_0 = 0.2 \cdot S \quad (4)$$

Reemplazando la expresión (5) en la ecuación (3) de cálculo de escorrentía directa se obtiene la expresión (6):

$$E_s = \frac{(P - 0.2 \cdot S)^2}{P + 0.8 \cdot S} \quad (5)$$

Para limitar la variabilidad del parámetro S entre 0 y 100, se desarrolló el concepto del Número de Curva NC, parámetro adimensional que se obtiene al realizar el cambio de variable mostrado en las expresiones (7), (8) y (9):

$$NC = \frac{25400}{S + 254} \quad (6)$$

$$S \text{ (mm)} = 254 \cdot \left(\frac{100}{NC} - 1 \right) \quad (7)$$

$$P_0 \text{ (mm)} = \frac{5080}{NC} - 50.8 \quad (8)$$

De este modo, los números de curva quedan representados por el siguiente nomograma.

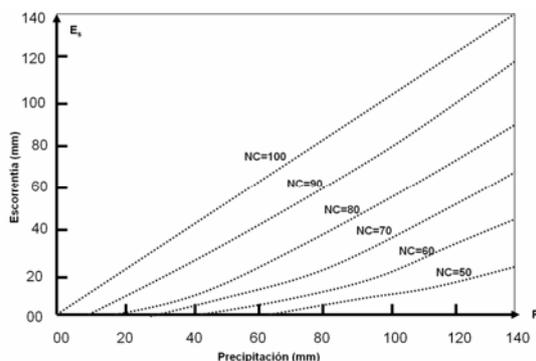


Figura 3. Representación gráfica de los NC

Los números de curva NC alcanzan valores comprendidos entre 0 y 100. A mayor número se obtiene un umbral de escorrentía menor, lo que se traduce en un menor escurrimiento. Para $NC = 100$ correspondería a una cuenca completamente impermeable en la que toda la precipitación sobre la misma se transforma en escorrentía.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Procedimiento de cálculo

Los Números de Curva del SCS reflejan la capacidad de la cuenca vertiente para producir escorrentía durante una lluvia. El parámetro permite obtener la lluvia neta así como definir el Coeficiente de Escorrentía de cada cuenca.

El valor del parámetro depende de los siguientes factores:

- Permeabilidad o Grupo Hidrológico de Suelo: Tipología de suelo y su capacidad de infiltración
- Uso de Suelo o tipo de cubierta vegetal: cultivos, praderas, bosques... así como los tratamientos efectuado en el mismo (labores de cultivo): líneas de máxima pendiente, cultivos a nivel, fajas, terrazas,...
- Pendiente del terreno (en función de que ésta sea superior o inferior al 3%)

Dicho parámetro (Número de Curva) se obtiene a partir de los mapas de permeabilidad de suelos, cobertura vegetal y pendiente. Sobre estos, se planimetrizan los diversos usos y tipos de terreno, aplicándoles a cada uso y tipo el número de curva característica, obteniendo la media de la cuenca.

3.1.1 Grupo hidrológico de suelo

Con respecto al grupo de suelo, el método establece una clasificación del suelo en función de su mayor o menor capacidad de infiltración o permeabilidad, y por lo tanto de su potencial de generación de escorrentía. Se establece una clasificación de los suelos en 4 diferentes grupos:

Grupo A: Suelos de mayor permeabilidad y menor escorrentía. Suelos profundos texturas gruesas (arenoso o arenoso - limosos)

Grupo B: Suelos de permeabilidad moderada. Terrenos de textura franco - arenosa de mediana profundidad y suelos francos profundos.

Grupo C: Suelos con poca permeabilidad, de texturas franco - arcillosos e incluso arcillosos

con escasa capacidad de infiltración una vez saturados, o con algún estrato impermeable.

Grupo D: Se trata de suelos con gran impermeabilidad, arcillosos y también se incluyen terrenos que presentan una capa de arcilla.

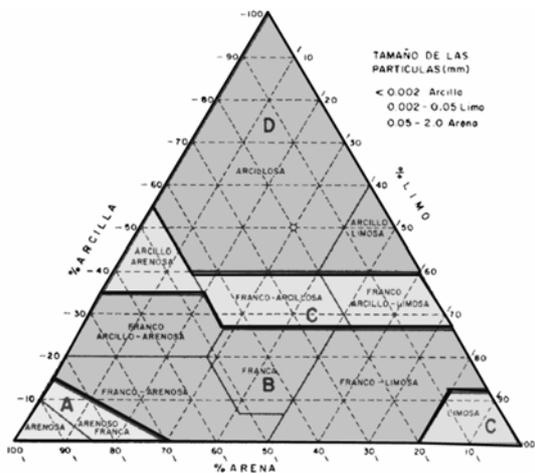


Figura.4- Relaciones entre la clase textural del suelo y la clasificación del USDA

3.1.2 Uso del suelo o cubierta vegetal

En lo referente a los usos del suelo, se tiene en consideración la profundidad y extensión del sistema radicular de la cubierta vegetal y/o de la distribución y densidad de vegetación.

De este modo, frente a la presencia de un suelo desnudo con síntomas de erosión, poco favorable a la infiltración de la precipitación, se encontrará asociado a números de curva NC elevados, mientras que suelos con cobertura vegetal densa y bien distribuida presentan condiciones favorables a la infiltración y penetración del agua, por lo que se encuentran vinculados a números de curva NC más reducidos.

En las publicaciones más recientes del National Engineering Handbook, Section Hydrology se aportan tablas en las que se asignan números de curva específicos asociados a cada tipología de usos de suelo (urbano, forestal, agrícola, etc...).

Adicionalmente a la discretización en función del tipo de vegetación, también se tiene en cuenta su grado de cobertura (pobre, media y buena), así como se incorpora como criterio el de la existencia de laboreo del terreno considerando (N) o no (R) las curvas de nivel.

3.1.3 Pendiente del terreno

El método original del número de curva fue implementado sobre parcelas experimentales en terreno llano, por ello resulta de interés la incorporación del criterio de la pendiente a la

asignación del NC del terreno, dado que es incuestionable la influencia del factor pendiente sobre la capacidad de escorrentía e infiltración del terreno.

3.1.4 Asignación del NC

La asignación de cada NC se establece en función a una tabla de triple entrada Pendiente/Suelo/Cobertura. En la que se recogen todos los posibles escenarios contemplados por las variables anteriormente descritas.

| USOS Y APROVECHAMIENTOS DEL SUELO | PDTE (%) | NC EN SEGUN PERMEABILIDAD | | | |
|----------------------------------------------------------|----------|---------------------------|----|----|----|
| | | A | B | C | D |
| Barbecho R | ≥ 3 | 77 | 68 | 89 | 93 |
| Barbecho N | ≥ 3 | 74 | 82 | 86 | 89 |
| Barbecho R | < 3 | 71 | 78 | 82 | 86 |
| Barbecho N | < 3 | 71 | 78 | 82 | 86 |
| Cultivos en hilera R | ≥ 3 | 69 | 79 | 86 | 89 |
| Cultivos en hilera N | ≥ 3 | 67 | 76 | 82 | 86 |
| Cultivos en hilera R | < 3 | 64 | 73 | 78 | 82 |
| Cultivos en hilera N | < 3 | 64 | 73 | 78 | 82 |
| Cereales de Invierno R | ≥ 3 | 63 | 75 | 83 | 86 |
| Cereales de Invierno N | ≥ 3 | 61 | 73 | 81 | 83 |
| Cereales de Invierno R | < 3 | 59 | 70 | 78 | 81 |
| Cereales de Invierno N | < 3 | 59 | 70 | 78 | 81 |
| Rotación de cultivos Pobres R | ≥ 3 | 86 | 77 | 85 | 89 |
| Rotación de cultivos Pobres N | ≥ 3 | 64 | 75 | 82 | 86 |
| Rotación de cultivos Pobres R | < 3 | 63 | 73 | 79 | 83 |
| Rotación de cultivos Pobres N | < 3 | 63 | 73 | 79 | 83 |
| Rotación de cultivos Densos R | ≥ 3 | 58 | 71 | 81 | 85 |
| Rotación de cultivos Densos N | ≥ 3 | 54 | 69 | 78 | 82 |
| Rotación de cultivos Densos R | < 3 | 52 | 67 | 76 | 79 |
| Rotación de cultivos Densos N | < 3 | 52 | 67 | 76 | 79 |
| Pradera pobre | ≥ 3 | 68 | 78 | 86 | 89 |
| Pradera media | ≥ 3 | 49 | 69 | 78 | 85 |
| Pradera buena | < 3 | 42 | 60 | 74 | 79 |
| Pradera muy buena | < 3 | 39 | 55 | 67 | 77 |
| Pradera pobre | ≥ 3 | 46 | 67 | 81 | 88 |
| Pradera media | > 3 | 39 | 59 | 75 | 83 |
| Pradera buena | < 3 | 29 | 48 | 69 | 78 |
| Pradera muy buena | < 3 | 17 | 33 | 57 | 76 |
| Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal pobre | ≥ 3 | 45 | 66 | 77 | 83 |
| Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal media | ≥ 3 | 39 | 60 | 73 | 78 |
| Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal buena | ≥ 3 | 33 | 54 | 69 | 77 |
| Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal pobre | < 3 | 40 | 60 | 73 | 78 |
| Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal media | < 3 | 35 | 54 | 69 | 77 |
| Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal buena | < 3 | 25 | 50 | 67 | 76 |
| Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) muy clara | | 56 | 75 | 86 | 91 |
| Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) clara | | 46 | 68 | 78 | 83 |
| Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) media | | 40 | 60 | 69 | 76 |
| Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) espesa | | 36 | 52 | 62 | 68 |
| Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) muy espesa | | 29 | 44 | 54 | 60 |
| Rocas permeables | ≥ 3 | 94 | 94 | 94 | 94 |
| Rocas permeables | < 3 | 91 | 91 | 91 | 91 |
| Rocas impermeables | ≥ 3 | 96 | 96 | 96 | 96 |
| Rocas impermeables | < 3 | 93 | 93 | 93 | 93 |

Tabla 1: Asignación del Número de Curva

Existe una gran variedad de tablas de asignación de NC desglosadas en función de los diferentes tipos de cubierta vegetal, tal y como lo muestra Ponce (1989).

3.2 Fuentes de información cartográfica

3.2.1 Cartografía de permeabilidad de suelo

Las fuentes de información cartográfica propuestas, y empleadas para el ejemplo de Pozo Hondo son las siguientes.

Para la estimación de la permeabilidad del suelo, o clasificación en grupos hidrológicos se ha empleado cartografía procedente del Sistema de Gestión de Datos Espaciales GEOINTA <http://geointa.inta.gov.ar/> del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA.

GeoINTA constituye una aplicación SIG que posibilita la consulta on-line de mapas, con sus bases de datos asociadas, imágenes y fotorrastreros. Combina herramientas de visualización web, con bases de datos de recursos naturales, productivos y riesgo agropecuario, permitiendo la consulta por coordenadas geográficas y la combinación de diferentes mapas, generando análisis por capas.

La cartografía de suelos propuesta, divide la superficie en teselas o polígonos, para cada uno de los cuales se dispone, en la base de datos alfanumérica asociada a la cartografía, de información alfanumérica vinculada indicando, entre otros atributos, la textura del horizonte superficial, la textura del horizonte subsuperficial y la clasificación edafológica de cada polígono.

A partir de la información cartográfica puede establecerse una reclasificación en función de los grupos hidrológicos de suelo A/B/C/D. (Figura 8)

3.2.2 Cartografía de uso de suelo y cubierta vegetal

Para la estimación del Uso de Suelo o Cobertura vegetal, se ha tomado como referencia de material cartográfico la publicación digital Atlas de Cobertura de Suelo de la República Argentina, elaborado por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA, de libre difusión a través de un acceso Web Map Service WMS en la plataforma GEOINTA Sistema de Consulta de Mapas, Imágenes y Bases de Datos Georreferenciadas

La fuente de datos empleada corresponde al Proyecto "Monitoreo de la Cobertura y Uso del Suelo a partir de Sensores Remotos. Campaña 2006-2007. Para ello se utilizó el sistema de clasificación LCCS de FAO (Land Cover Classification System) propuesto por Di Gregorio y colaboradores (1998).

Como fuente primaria de información se utilizaron imágenes de los satélites Landsat y Terra; datos de campo y antecedentes

cartográficos regionales y zonales. (El resultado obtenido puede visualizarse en la figura 9)

3.2.3 Cartografía de pendientes

Como fuente de información cartográfica se han empleado los datos de elevación del terreno en formato SRTM Shuttle Radar Topography Mission v4.1.

Los datos de SRTM son datos de libre difusión elaborados por la NASA National Aeronautics and Space Administration y NGA National Geospatial-Intelligence Agency de los EEUU a través de la misión espacial STS-99 de febrero del 2000, realizada por el Transbordador Espacial Endeavour durante 11 días, con la finalidad de obtener una base completa de datos de elevación topográfica estereoscópica de la zona del globo terrestre comprendida entre las latitudes 56°S a 60°N.

Como resultado, se elaboró una cartografía de libre distribución a través de la plataforma de la web <http://srtm.csi.cgiar.org/> con distintas versiones correspondientes a distintas resoluciones. En el caso de Argentina, la cartografía corresponde a una resolución de 3 segundos de arco (equivalente a 90 m)

A partir del MDE SRTM90 puede elaborarse una cartografía de pendientes de la zona de estudio.

Se ha considerado la pendiente como la ratio máxima de cambio del valor de Z a través de cada píxel con respecto a sus píxeles colindantes.

Para la estimación de la pendiente de cada píxel, los SIG emplean un kernel o filtro o núcleo de análisis, que consta de una matriz de 3 x 3 píxeles. (El mapa de pendientes puede visualizarse en figura 10)

De éste modo, se tiene en cuenta para cada valor del raster de entrada (altitudes en nuestro caso), los 8 píxeles vecinos al píxel dado, en lo referente a la estimación de la pendiente del píxel y las direcciones de flujo. Seibert y McGlynn (2007)

3.3 AUTOMATIZACIÓN DEL CÁLCULO APLICANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA SIG

El empleo de SIG en la modelización permite atenuar los problemas existentes debidos a la variabilidad de las características físicas y geomorfológicas en una cuenca hidrográfica. Para la Generación del Umbral de Escorrentía, Herramientas SIG, para el desarrollo de la metodología "Generación Automática del Número de Curva con Sistemas de Información

Geográfica”, realizada con la colaboración del CEDEX y Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia (España).

La metodología permite la obtención, de una manera precisa y automatizada, del número de curva, parámetro hidrológico que utiliza el SCS de los EEUU para el cálculo de la escorrentía. Para ello se generan capas de cartografía temática correspondientes a cada una de las variables que influyen en la determinación del parámetro número de curva, que resulta finalmente determinado mediante la realización de operaciones de reclasificación y superposición de las siguientes capas de información:

- Mapa de Pendientes.

Obtenido tomando como punto de partida el Modelo Digital de Elevaciones de la cuenca hidrográfica, y reclasificado en dos categorías en función de que la pendiente del terreno sea igual o superior al 3%. A las celdas con pendiente inferior a tres se les asignará el número primo 1, frente a las celdas de pendiente superior a tres a las que se asignará el número primo 2 (figura 10)

- Grupo hidrológico de Suelo.

Se establecerá un reclasificación de celdas en los cuatro niveles de permeabilidad establecidos por el SCS: A (Rápida infiltración), B (Infiltración Moderada), C (Infiltración Lenta), D (Infiltración muy lenta). Asignando respectivamente los números primos 3,5,7 y 11. (figura 8)

- Cobertura de Suelo

Se identifican las tipologías de usos de suelo que establece el SCS, a los que se asignarán los números primos comprendidos entre 13 y 109. (figura 9)

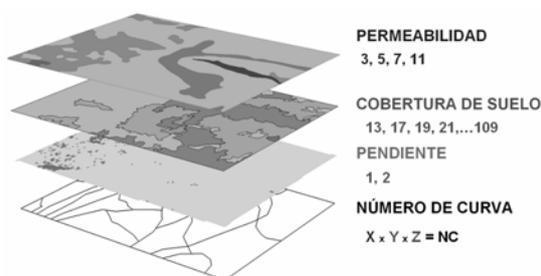


Figura 5. Álgebra de mapas para cálculo del NC

Dada la singularidad de los números primos, el producto de ellos siempre dará un número diferente. Así pues, al multiplicar los mapas de usos de suelo, pendiente y permeabilidad de

suelo (el equivalente a la superposición cartográfica de todos los factores implicados en el NC), se obtendrá un número diferente para cada una de las combinaciones de tres números primos. Posteriormente se establece una correlación entre el producto de números primos obtenido, y el número de curva correspondiente.

¿QUÉ ES UN NÚMERO PRIMO?

Sólo son divisibles por 1 y por sí mismos

| | | | | | | | |
|---------------|---------------|---------------|---------------|----|---------------|---------------|---------------|
| 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 |
| 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 |
| 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 |

Número primo "A" x Número primo "B" = Número "C"

Ningún otro producto de números primos da como resultado "C". Sólo A x B

Figura 6.- Propiedades de los números primos

La tabla de vinculación del número primo con el NC correspondiente se adjunta al final del artículo. La Figura 11 muestra el mapa resultante

4 CASO DE APLICACIÓN: CUENCAS VERTIENTES AL NÚCLEO URBANO DE POZO HONDO (SGO. DEL ESTERO.)

4.1 Caracterización

Los cauces y vías de escurrimiento del “Área Urbana de Pozo Hondo” (figura 7) exhiben una serie de procesos hidrológicos generados por la escorrentía originada por lluvias intensas convectivas (fundamentalmente en la temporada estival), que ocasionan inundaciones y anegamientos recurrentes. Ello genera una serie de problemas relacionados con el manejo de las aguas de escorrentía superficial, con las consiguientes afectaciones tanto sobre áreas rurales como urbanas y peri-urbanas, e impactos significativos sobre los sectores productivos e infraestructura vial existente en las áreas de influencia directa de las cuencas.

Con la finalidad de poder caracterizar debidamente los impactos indicados, y disponer de elementos que auxilien la toma de decisiones respecto a las posibles acciones que mitiguen los problemas generados se precisa establecer la magnitud, importancia y extensión de las causas y efectos directos e indirectos, además de la formulación de las alternativas más convenientes para la solución en el corto, mediano y largo plazo de los problemas asociados a la dinámica hidrológica del área de estudio.



Figura 7.- Área de Pozo Hondo (Sgo del Estero)

Al objeto de respaldar un Programa de Prevención y Emergencia, como parte de su cuantificación preliminar y acciones correspondientes para la implementación de medidas de control en la cuenca y vías de escurrimiento del área de Pozo Hondo se realiza un estudio hidrológico, empleando para el cálculo de la precipitación efectiva el Método del Número de la Curva. NC del SCS utilizando para ello, el procedimiento de cálculo y la automatización del mismo mediante SIG y las fuentes de información cartográfica descritos en anteriores apartados del artículo.

Obteniendo la cartografía a partir de las fuentes de datos indicadas en el apartado “fuentes de información cartográfica”, codificando la información conforme a lo indicado en el apartado “automatización del cálculo”, realizando el producto de los tres mapas obtenidos:

$(\text{Permeabilidad}) \times (\text{Cobertura veg.}) \times (\text{Pendiente})$

y en coherencia con la tabla de asignación de NC que figura al final del artículo se obtiene el valor del NC de la cuenca de estudio, cuyo valor medio ponderada corresponde a $NC = 53.50$ (AMC II).

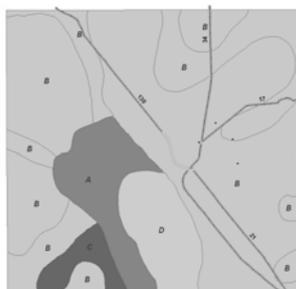


Figura.8- Mapa de Grupo Hidrológico de Suelo



Figura.9- Mapa de los usos de suelo o cobertura vegetal



Figura.10- Mapa de pendientes (superiores o inferiores a 3%)



Figura.11- Mapa de NC condiciones antecedentes de Humedad AMC II

Los resultados producidos podrán ser utilizados para definir propuestas de formulación y esquemas de ejecución de programas de asistencia técnica y financiera para los Organismos Provinciales, municipales, nacionales y privados con injerencia en la problemática regional, con la priorización de acciones y de los procesos de toma de decisiones correspondientes.

5 BIBLIOGRAFÍA

Azagra, A & Navarro, J. Hidrología Forestal: El Ciclo Hidrológico. Universidad Valladolid (1995)

Cadenas de Llano, F. Restauración Hidrológico-Forestal de Cuencas y Control de la Erosión. Tragsatec. Editorial Mundi-Prensa. (1994)

Dal-Ré Tenreiro, R. Pequeños Embalses de Uso Agrícola. Editorial Mundi-Prensa (2003)

Ferrer, M & Rodríguez, J. Generación Automática del Número de Curva. Ingeniería del Agua (1995)

Ferrer, M. Análisis de Nuevas Fuentes de datos para la Estimación del Parámetro: Número Curva. Centro de Estudios Hidrográficos CEDEX (2003)

Kent K, A method for estimating volume and rate of runoff in small watershed. USDA SCS. (1968).

Monsalve, G. Hidrología en la Ingeniería. Escuela Colombiana de Ingeniería y E. Alfaomega. (1996)

Ponce V. Engineering Hydrology: Principles and Práctices. Prentice Hall (1989)

Rallison, R & Miller, N. Past, present and future SCS runoff procedure. In Rainfall-Runoff Relationship, Water Resources P, Littleton (1982)

Seibert & McGlynn. A new triangular multiple flow-direction algorithm Water Resour. (2007)

Soil Conservation Service SCS: National Engineering Handbook, Section 4. Hydrology, US Department of Agriculture. (1972)

| USOS DE SUELO | PDTE (%) | | | GRUPOS HIDROLOGICOS DE SUELO | | | | | | | |
|-----------------------------------------------------|----------|-----|---|------------------------------|----|----------|----|----------|----|----------|----|
| | | | | A | | B | | C | | D | |
| | | | | 3 | | 5 | | 7 | | 11 | |
| | | | | PRODUCTO | NC | PRODUCTO | NC | PRODUCTO | NC | PRODUCTO | NC |
| Barbecho R | 13 | ≥ 3 | 2 | 78 | 77 | 130 | 68 | 162 | 89 | 372 | 93 |
| Barbecho N | 97 | ≥ 3 | 2 | 582 | 74 | 970 | 82 | 1358 | 86 | 2134 | 89 |
| Barbecho R | 13 | < 3 | 1 | 39 | 71 | 65 | 78 | 91 | 82 | 143 | 86 |
| Barbecho N | 97 | < 3 | 1 | 291 | 71 | 485 | 78 | 679 | 82 | 1067 | 86 |
| Cultivos en hilera R | 17 | ≥ 3 | 2 | 102 | 69 | 170 | 79 | 238 | 86 | 374 | 89 |
| Cultivos en hilera N | 101 | ≥ 3 | 2 | 606 | 67 | 1010 | 76 | 1414 | 82 | 2222 | 86 |
| Cultivos en hilera R | 17 | < 3 | 1 | 51 | 64 | 85 | 73 | 119 | 78 | 187 | 82 |
| Cultivos en hilera N | 101 | < 3 | 1 | 303 | 64 | 505 | 73 | 707 | 78 | 1111 | 82 |
| Cereales de invierno R | 19 | ≥ 3 | 2 | 114 | 63 | 190 | 75 | 266 | 83 | 418 | 86 |
| Cereales de invierno N | 103 | ≥ 3 | 2 | 618 | 61 | 1030 | 73 | 1442 | 81 | 2266 | 83 |
| Cereales de invierno N | 19 | < 3 | 1 | 57 | 59 | 95 | 70 | 133 | 78 | 209 | 81 |
| Cereales de invierno N | 103 | < 3 | 1 | 309 | 59 | 515 | 70 | 721 | 78 | 1133 | 81 |
| Rotación de cultivos Pobres R | 23 | ≥ 3 | 2 | 138 | 86 | 230 | 77 | 322 | 85 | 506 | 89 |
| Rotación de cultivos Pobres N | 107 | ≥ 3 | 2 | 642 | 64 | 1070 | 75 | 1498 | 82 | 2354 | 86 |
| Rotación de cultivos Pobres R | 23 | < 3 | 1 | 69 | 63 | 115 | 73 | 161 | 79 | 253 | 83 |
| Rotación de cultivos Pobres N | 107 | < 3 | 1 | 321 | 63 | 535 | 73 | 749 | 79 | 1177 | 83 |
| Rotación de cultivos Densos R | 29 | ≥ 3 | 2 | 174 | 58 | 290 | 71 | 406 | 81 | 638 | 85 |
| Rotación de cultivos Densos N | 109 | ≥ 3 | 2 | 654 | 54 | 1090 | 89 | 1526 | 78 | 2398 | 82 |
| Rotación de cultivos Densos R | 29 | < 3 | 1 | 87 | 52 | 145 | 67 | 203 | 76 | 319 | 78 |
| Rotación de cultivos Densos N | 109 | < 3 | 1 | 327 | 52 | 545 | 67 | 763 | 76 | 1199 | 79 |
| Pradera pobre | 31 | ≥ 3 | 2 | 186 | 68 | 310 | 78 | 434 | 88 | 682 | 89 |
| Pradera media | 37 | ≥ 3 | 2 | 222 | 49 | 370 | 69 | 518 | 78 | 814 | 85 |
| Pradera buena | 41 | ≥ 3 | 2 | 246 | 42 | 410 | 60 | 574 | 74 | 902 | 79 |
| Pradera muy buena | 43 | ≥ 3 | 2 | 258 | 39 | 430 | 55 | 602 | 67 | 946 | 77 |
| Pradera pobre | 31 | < 3 | 1 | 93 | 46 | 155 | 67 | 217 | 81 | 341 | 88 |
| Pradera media | 37 | < 3 | 1 | 111 | 39 | 185 | 59 | 259 | 75 | 407 | 83 |
| Pradera buena | 41 | < 3 | 1 | 123 | 29 | 205 | 48 | 287 | 69 | 451 | 78 |
| Pradera muy buena | 43 | < 3 | 1 | 129 | 17 | 215 | 33 | 301 | 87 | 473 | 76 |
| Plantaciones regulares de aprov. Forestal pobre | 47 | ≥ 3 | 2 | 282 | 45 | 470 | 66 | 658 | 77 | 1034 | 83 |
| Plantaciones regulares de aprov. Forestal media | 53 | ≥ 3 | 2 | 318 | 39 | 530 | 80 | 742 | 73 | 1166 | 78 |
| Plantaciones regulares de aprov. Forestal buena | 59 | ≥ 3 | 2 | 354 | 33 | 590 | 54 | 826 | 69 | 1298 | 77 |
| Plantaciones regulares de aprov. Forestal pobre | 47 | < 3 | 1 | 141 | 40 | 235 | 60 | 329 | 73 | 517 | 78 |
| Plantaciones regulares de aprov. Forestal media | 53 | < 3 | 1 | 159 | 35 | 265 | 54 | 371 | 68 | 583 | 77 |
| Plantaciones regulares de aprov. Forestal buena | 59 | < 3 | 1 | 177 | 25 | 295 | 50 | 413 | 67 | 649 | 76 |
| Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) muy clara | 61 | < 3 | 1 | 183 | 56 | 305 | 75 | 427 | 86 | 671 | 91 |
| Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) clara | 67 | < 3 | 1 | 201 | 46 | 335 | 68 | 469 | 78 | 737 | 83 |
| Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) media | 71 | < 3 | 1 | 213 | 40 | 355 | 60 | 497 | 69 | 781 | 76 |
| Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) espesa | 73 | < 3 | 1 | 219 | 36 | 365 | 52 | 511 | 62 | 803 | 68 |
| Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) muy espesa | 79 | < 3 | 1 | 237 | 29 | 395 | 44 | 553 | 54 | 889 | 60 |
| Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) muy clara | 61 | ≥ 3 | 2 | 366 | 56 | 610 | 75 | 854 | 86 | 1342 | 91 |
| Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) clara | 67 | ≥ 3 | 2 | 402 | 46 | 670 | 68 | 938 | 78 | 1474 | 83 |
| Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) media | 71 | ≥ 3 | 2 | 426 | 40 | 710 | 60 | 994 | 69 | 1582 | 76 |
| Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) espesa | 73 | ≥ 3 | 2 | 438 | 36 | 730 | 52 | 1022 | 62 | 1606 | 68 |
| Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) muy espesa | 79 | ≥ 3 | 2 | 474 | 29 | 790 | 44 | 1106 | 54 | 1738 | 60 |
| Rocas permeables | 83 | ≥ 3 | 2 | 498 | 94 | 830 | 94 | 1162 | 94 | 1826 | 94 |
| Rocas permeables | 83 | < 3 | 1 | 249 | 91 | 415 | 91 | 581 | 91 | 913 | 81 |
| Rocas impermeables | 89 | ≥ 3 | 2 | 534 | 96 | 890 | 96 | 1246 | 96 | 1958 | 96 |
| Rocas impermeables | 89 | < 3 | 1 | 267 | 93 | 445 | 93 | 623 | 93 | 979 | 93 |