

Rev. FCA UNCuyo. Tomo XXXIX. N° 1. Año 2007. 21-28.



Relación precipitación - escorrentía y número de curva bajo diferentes condiciones de uso del suelo. Cuenca modal del sistema serrano de La Ventana, Argentina ¹

Rainfall - runoff and curve number relationship under different conditions of soil's. Ventania system modal basin, Argentina

Fernanda J. Gaspari ²
Gabriela E. Senisterra ^{2,3}
Raúl M. Marlats ³

Originales
Recepción: 19/09/2006
Aceptación: 21/12/2006

RESUMEN

La metodología del número de la curva (NC) es la más empleada para transformar la precipitación total en precipitación efectiva. De esta manera se constituye en una herramienta de gran valor para realizar estudios hidrológicos en cuencas hidrográficas, fundamentalmente cuando hay una deficiencia de registros extensos y confiables. Esta metodología requiere del conocimiento del tipo y uso de suelo de la cuenca en estudio y registros pluviográficos. En el presente trabajo se aplicó el procesamiento de imágenes LANDSAT para la zonificación de la vegetación y uso del suelo en la cuenca del Arroyo Pillahuinco Grande (38° LS y 61° 15' LW), ubicada sobre el sistema serrano de La Ventana, en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. El análisis de su interrelación generó los valores de NC y coeficiente de escorrentía (CE). El procesamiento digital de la base de datos raster georreferenciada se realizó con aplicación de herramientas de sistema de información geográfica (Idrisi Kilimanjaro). El análisis de regresión múltiple efectuado a las variables generó un R² que explica el 89,77 % de la variabilidad de CE ($\alpha \leq 0,01$). Los resultados se exponen a nivel diagnóstico y zonificación del NC, donde la mayor influencia de la escorrentía se relaciona con las variables cobertura vegetal y uso del suelo.

SUMMARY

The most used methodology to transformer the storm rainfall in effective rain is the curve number (CN). So, it's un useful tool to hydrologic studies in hydrographic basin when there aren't enough available registers. This methodology requires the knowledge of type and use of soil and pluviographic registers. We processed LANDSAT images to zonification the soil use and vegetation of Pillahuinco Grande basin (38° SL and 61° 15' WL). This basin is sited at Sierra de La Ventana, South West of Buenos Aires Province, Argentina. The analysis of this rainfall-runoff relationship under different conditions of soil's use generated values of CN and runoff coefficient (EC). The digital data processing raster was done using tool of System Information Geographic (Idrisi Kilimanjaro). The multiple regression analysis showed a R² that explain the 89.77 % of EC variability ($\alpha \leq 0.01$). The results are showed at diagnostic level and CN zonation where the most runoff influence is related with both variables vegetal cover and use of soil.

Keywords

curve number • System Information Geographic • soil use

Palabras clave

número de curva • Sistema de Información Geográfica • uso del suelo

- 1 El presente trabajo se realizó con el financiamiento del PICTO 2003 N° 07-13.741 SECyT.
- 2 Manejo de Cuencas Hidrográficas.
- 3 Silvicultura y Mejoramiento Genético Forestal.
Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata. Diagonal 113 N° 469. (1900) La Plata. Buenos Aires. corrector@agro.unlp.edu.ar

INTRODUCCIÓN

La escorrentía se puede definir como la cantidad de agua de una tormenta que drena o escurre sobre la superficie del suelo. Cuando se produce, fluye a los cauces incrementando su volumen; a medida que llega agua de las partes más lejanas comienza suavemente a decrecer el caudal al poco tiempo de terminada la lluvia.

La erosión hídrica del suelo es un proceso producido por la escorrentía que ocasiona el empobrecimiento de los mismos y grandes pérdidas económicas.

El agua de las lluvias que no alcanza a infiltrar en el suelo y escurre sobre la superficie de la tierra corre a velocidades diferentes ocasionando los mayores problemas en el manejo de cuencas. Es en esta parte del ciclo hidrológico en la cual se debe intervenir activamente para evitar que el agua ocasione graves daños; se pueden prescribir y aplicar diferentes prácticas de conservación de suelos que controlen el agua para evitar sus efectos negativos.

Los métodos para estimar la escorrentía a partir de la precipitación tratan de descontar de la lluvia caída sobre una cuenca todas aquellas pérdidas que se deben a factores tales como la infiltración, la evapotranspiración, la interceptación y el almacenamiento superficial. El procedimiento más generalizado y fácil de adaptar a cualquier región es el método del número de curva (NC) desarrollado por el Soil Conservation Service (SCS) de Estados Unidos (1972). Este método se basa en la estimación directa de la escorrentía superficial de una lluvia aislada a partir de características del suelo, uso del mismo y de su cubierta vegetal (5). A partir de la representación de la precipitación (P) y precipitación efectiva (Pe) se obtuvo una familia de curvas que fueron estandarizadas para definir un número adimensional de curvas NC, que varía de 1 a 100 según sea el grado de escurrimiento directo. El NC igual a 1 indica que toda la lluvia infiltra y un NC de 100 representa el escurrimiento total de la precipitación. Los números de curva se aplican para diferentes condiciones de humedad antecedente, siendo la condición II la que corresponde a humedad media del suelo. Si en el momento de producirse la precipitación el suelo se encuentra saturado de acuerdo con lluvias precedentes en el período de 5 días anteriores, se supone un aumento de la escorrentía (condición III); por el contrario, si el suelo está seco la infiltración será predominante (condición I).

Mintegui Aguirre et al. (7) utilizaron este método para determinar las escorrentías directas en el Arroyo del Partido (Parque Nacional de Doñana, España) a partir del estudio de las tormentas representativas del área y de la elaboración de mapas por medio de Sistema de Información Geográfico (SIG).

El estudio de la potencialidad erosiva adquiere especial importancia en la zona serrana de la provincia de Buenos Aires (3). Dada la representatividad modal regional del sitio experimental, la implementación de esta metodología en la cuenca del Arroyo Pillahuinco Grande, ubicada en el sistema serrano de La Ventana de la provincia de Buenos Aires (figura 1, pág. 23) será un aporte al estudio de la escorrentía en la zona.

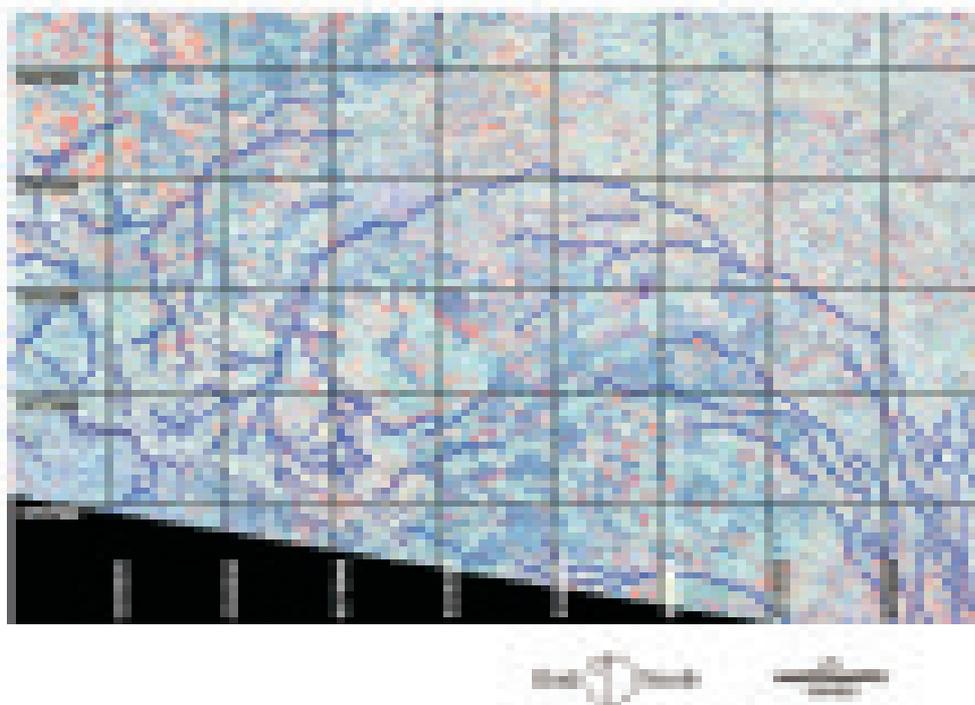


Figura 1. Imagen satelital de la cuenca del Arroyo Pillahuinco Grande y su sistema de drenaje.

Se propone como hipótesis de trabajo que el método de NC permite, de forma sencilla, la caracterización hidrológica y ambiental de una cuenca, conformando la interpretación de fenómenos y su distribución espacial.

Objetivo

- Estimar la relación precipitación - escorrentía y calcular el NC para diferentes condiciones de uso del suelo en la cuenca del Arroyo Pillahuinco Grande, Coronel Pringles, Provincia de Buenos Aires, Argentina.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se inició con la caracterización ambiental de la cuenca del arroyo Pillahuinco Grande cuya superficie es de 109.349,95 has. Las coordenadas centroides de la cuenca son 38° LS y $61^{\circ} 15'$ LW. Se ubica sobre el sistema serrano de La Ventana, en el sudoeste de la Provincia de Buenos Aires. En la región se observan graves problemas ambientales debido a la degradación del suelo por su uso inadecuado, representando una pérdida potencial de productividad. Esta cuenca permite el análisis del sistema hidrológico superficial completo debido a la accesibilidad y

representatividad que tiene en la región. La erosión hídrica identificada en la cuenca tiene características modales debido al uso del suelo y a las particularidades geomorfológicas y topográficas.

El clima de la región es templado, sub-húmedo, con temperaturas moderadas y alta variabilidad (8). La región presenta índices de aridez elevados y prácticamente nulo exceso de agua, con deficiencia en la época estival, que cuando no coincide con los momentos de mayores requerimientos de los cultivos no pone en riesgo las cosechas. Fitogeográficamente se encuentra en la Región Neotropical, Dominio Chaqueño, Provincia Pampeana, Distrito Pampeano Austral. La fisonomía dominante en la región es el pastizal -cuyas comunidades están dominadas por arbustos, lo que estaría indicando un pastoreo excesivo- y otras áreas con suelos erosionados, principalmente en forma natural (4).

Para potenciales estudios de aprovechamiento y protección del suelo, y debido a la escasa disponibilidad de registros de caudales líquidos con la suficiente extensión y densidad espacial en la cuenca, se debió recurrir a su generación en base a relaciones lluvia - escorrentía, para obtener la información hidrológica básica.

El análisis hidrológico de la cuenca se llevó a cabo por medio de la metodología implementada por el SCS (1). Dicho Servicio desarrolló un método empírico para el cálculo de la transformación de lluvia - escorrentía, que surgió de la observación del fenómeno hidrológico en distintos tipos de suelo en varios estados y para distintas condiciones de humedad antecedente; luego estableció una clasificación de los complejos hidrológicos a los que asignó una capacidad de infiltración (2, 5, 6). Esta metodología permitió establecer las pérdidas iniciales y los coeficientes de escorrentía para cada una de las tormentas.

En el caso del presente trabajo se realizó a partir del estudio de fajas pluviográficas diarias del Servicio Meteorológico Nacional, de la Estación Meteorológica ubicada en las cercanías de la ciudad de Coronel Pringles para el período 1956/2001; se analizaron las curvas de masa de lluvia de las tormentas de más de 13,5 mm en intervalos de 30 minutos.

Se consideró la condición II de humedad antecedente para la determinación de las pérdidas iniciales (I₀).

La determinación del NC se efectuó con el uso de SIG, obteniéndose la cartografía de los complejos suelo - vegetación que representan diferentes situaciones frente a la infiltración. Estos complejos derivaron de la tabulación cruzada en formato digital espacial obtenida por el procesamiento de los mapas de suelos y geomorfología, generando los grupos hidrológicos (GH). Para la definición de los GH de suelos se utilizaron las clases texturales (USDA) y el diagrama triangular con las curvas de conductividad hidráulica a saturación (USDA).

Para la confección del mapa de vegetación y uso del suelo se realizó un muestreo a campo con GPS; se identificaron cinco clases de cobertura que fueron corroboradas en imágenes satelitales LANDSAT 7 ETM, y posteriormente georreferenciadas y cartografiadas.

Relación precipitación - escorrentía y número de curva

Los GH se procesaron conjuntamente con el mapa de vegetación y uso actual del suelo, y se determinó el NC. Este modelo cartográfico fue elaborado con el Sistema de Información Geográfica IDRISI 32.

A partir de la zonificación del NC se definieron los diferentes coeficientes de escorrentía para cada sitio, considerando 16 tormentas como representativas de las lluvias de Coronel Pringles.

La escorrentía directa se calculó a partir de la siguiente ecuación:

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

donde:

Q = escorrentía directa (mm)

P = lluvia total acumulada (mm)

S = 254 (100/NC - 1) (mm)

La precipitación efectiva (Pe) se realizó a partir de la sustracción de las pérdidas iniciales (I_o) a la precipitación (P). El I_o está representado por 0,2S. El coeficiente escorrentía (CE) se calculó a partir del cociente entre Pe y P. Se realizó un análisis de regresión múltiple considerando como variables independientes la precipitación y el NC y variable dependiente el coeficiente de escorrentía.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La metodología cartográfica permitió zonificar, en la cuenca del arroyo Pillahuinco Grande, las diferentes condiciones de infiltración - escorrentía representadas por los mapas de GH, vegetación y usos del suelo y su procesamiento permitió la obtención del NC (figura 2).

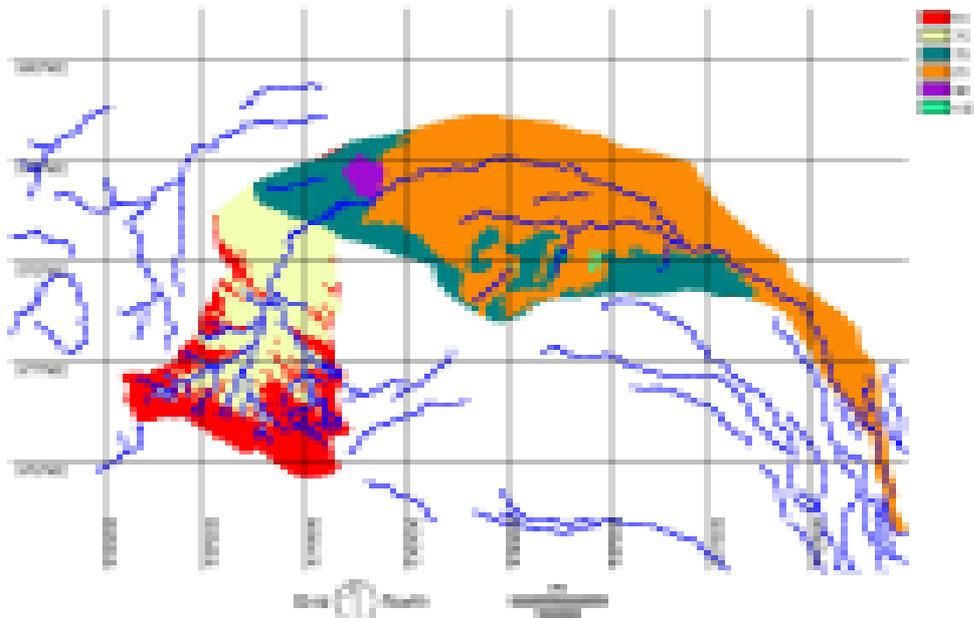


Figura 2. Mapa de distribución del número de curva (SCS).

En la caracterización de la cuenca se identificaron los diferentes tipos de cobertura vegetal, cuantificados en la tabla 1.

Tabla 1. Cobertura vegetal y uso del suelo, superficie ocupada y NC.

Tipo de cobertura vegetal y uso del suelo	Superficie ocupada (ha)	Ocupación en la cuenca (%)	NC
pastizal serrano	15262,5	13,95	61
agricultura extraserrana	20827,8	19,03	75
agricultura	18605,9	17,00	78
agrícola-ganadera en derrame	53299,5	48,70	81
urbanización	1249,8	1,14	98
lagunas	190,9	0,17	100

El 14 % de la superficie de la cuenca está cubierto por vegetación de pastos serranos, tanto naturales como cultivados; en las partes altas se encuentran pequeños bosquetes de vegetación arbustiva densa, con buenas condiciones de humedad. La invasión con arbustos es menor en suelos profundos no pedregosos. Las comunidades arbustivas son más frecuentes en las partes inferiores de los faldeos y en las divisorias de agua secundaria bajas. En esta zona se realizan actividades agrícola-ganaderas denominadas en derrame. El sistema de producción actual es esencialmente mixto, con un 48 % de ocupación: está basado en una ganadería vacuna que se orienta desde la cría a invernada aprovechando la cobertura natural para su alimentación (8). Cabe mencionar que la ganadería decrece con la altitud.

La actividad agrícola sobre los faldeos de la sierra ocupa el 19 % de la superficie de la cuenca; estas áreas presentan un alto potencial de pérdidas de suelos.

Se identificaron también áreas con uso agrícola donde se practican técnicas convencionales y de siembra directa (17 %). La actividad forestal es complementaria a la actividad agropecuaria, en forma de cortinas rompevientos, montes de reparo y sombra.

Como áreas anexas se identificaron la ciudad de Coronel Pringles y lagunas con menos de un 2 % de ocupación.

Los tipos de suelo que se presentan en la cuenca en estudio varían de franco limosos de buena permeabilidad hasta suelos con alto contenido de arcilla, lo que se traduce en una alta impermeabilidad de los últimos. El estudio de los grupos hidrológicos reveló que la cuenca se corresponde con el grupo hidrológico B.

Los valores de NC variaron entre 61 y 98 observándose que la precipitación efectiva (Pe) fue menor en las partes altas de la cuenca, y los valores mayores de Pe se concentraron en las partes bajas de la cuenca, especialmente por la escasa permeabilidad de los suelos que ahí se presentan y sus características de la cobertura.

Las tormentas analizadas, el tiempo de duración y su intensidad máxima en 30 minutos se caracterizan en la tabla 2 (pág. 27).

Las tormentas presentadas en la tabla 2 fueron las representativas del período considerado. La mayor intensidad se dio en la tormenta de 27 mm cuya duración fue de 4 horas. Estos aguaceros son los que han servido de punto de partida para realizar el análisis del geo-dinamismo torrencial en la cuenca estudiada. Di Leo et al. (3), en Tandil, trabajando en ambientes análogos y utilizando series similares, encontraron suficiente representatividad y significancia asociadas a la evaluación de niveles de erosividad para la región serrana de la provincia de Buenos Aires.

Tabla 2. Caracterización de las tormentas seleccionadas.

P (mm)	Tiempo (hs)	I30 Máxima (mm)
14,5	2,0	11,0
20,0	4,3	7,2
23,4	3,0	9,2
25,1	13,0	6,1
27,0	4,0	23,5
27,0	4,0	14,5
29,0	2,3	15,0
32,2	15,0	5,7
33,8	7,3	8,8
37,0	6,3	11,7
37,1	4,0	11,5
41,0	15,3	8,6
46,5	11,0	7,1
49,0	7,3	19,5
72,0	6,0	12,5
89,0	15,3	10,2

Tabla 3. Pérdidas iniciales por infiltración para cada NC considerado.

NC	Io (mm)
61	32,48
75	16,93
78	14,33
81	11,92
98	1,04

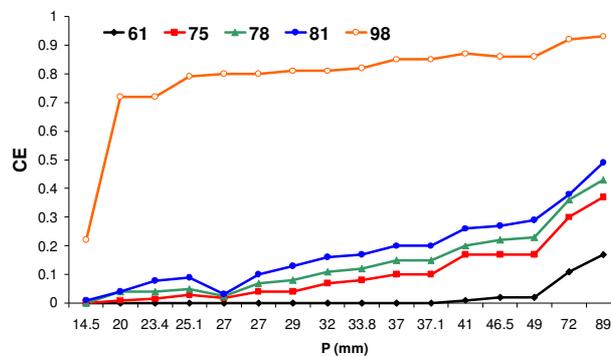
En la tabla 3 se puede observar que las mayores pérdidas iniciales (infiltración) se relacionan con los NC más bajos. Como ejemplo extremo en la ciudad (NC 98) se minimiza la infiltración generando el caudal máximo de escorrentía. A partir de cada zona de NC se estimó (Q) y (CE).

El análisis de regresión múltiple entre NC, P y CE generó la siguiente ecuación:

$$CE = -2,08696 + 0,0258605 \times NC + 0,00635095 \times P$$

El análisis de la varianza arrojó diferencias estadísticamente significativas entre las variables con un nivel de confianza del 99 % ($\alpha \leq 0,01$). El R² obtenido indicó que el modelo explica el 89,77 % de la variabilidad de CE, debida a NC y P.

El siguiente gráfico ilustra acerca de la relación entre CE, NC y P de un evento determinado.



La infiltración y la disponibilidad de agua en el suelo estuvieron asociadas a situaciones particulares y cobertura del mismo. Al disminuir el NC habría un potencial aumento de la productividad del suelo tendiente al desarrollo de una actividad sustentable.

Mintegui Aguirre et al. (7) elaboraron mapas fito-litológicos mediante la intersección de mapas de cubiertas vegetales previa confección de mapas de grupos hidrológicos de suelos según USDA. A estos mapas les agregaron los números de curva correspondientes a cada una de las clases establecidas para, de este modo, facilitar el cálculo de las escorrentías directas o precipitaciones netas en la cuenca para las precipitaciones seleccionadas de los años objeto de estudio. Esto les permitió realizar el estudio hidrológico de la cuenca en forma sencilla y precisa. Esta referencia ratifica la utilidad del método del NC como metodología práctica para abordar estudios de mayor complejidad que permitan el ordenamiento de la cuenca.

CONCLUSIÓN

El procesamiento de imágenes con uso del Sistema de Información Geográfico (SIG) permitió determinar valores de NC de forma eficiente y a costos relativamente bajos. La obtención del mapa de zonificación del número de curva generaría la caracterización hidrológica y ambiental de la cuenca, conformando la interpretación de fenómenos y su distribución espacial. A su vez, si se pretendiese el ordenamiento sustentable de la cuenca, permitiría rápidamente actualizar sus valores según los cambios de usos de suelos que se produzcan en procura de ese objetivo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bustamante, E. 1984. Hidráulica de Superficie. Ed. CIHRSA. Bogotá. 247 p.
2. Chow, Ven Te.; Maidment, David; Mays, Larry. 1994. Hidrología Aplicada. Santa Fe de Bogotá, Colombia. Ed. Mc GrawHill. 584 p.
3. Di Leo, C.; Aragón, A.; Marlats, R.; Bruno, J. E. 1999. Erosividad de las precipitaciones en Tandil, provincia de Buenos Aires. Revista Ciencia del Suelo. 17(2): 59-64.
4. Frangi, J.; Bottino, O. 1994. Comunidades de Sierra de La Ventana, Buenos Aires, Argentina. Revista de la Facultad de Agronomía de La Plata. 71(1): 93-133.
5. López Cadenas de Llano, F. 1998. Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión. Ed. Tragsa. Madrid. 945 p.
6. Mintegui Aguirre, J. A.; López Unzu, F. 1990. La ordenación agrohidrológica en la planificación. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. Madrid. 308 p.
7. Mintegui Aguirre, J. A.; Roberedo Sánchez, J. C.; Sendra Arce, P. J. 2003. Avenidas torrenciales en el arroyo del Partido y su incidencia en la Marisma del Parque Nacional de Doñana. Naturaleza y Parques Nacionales. Serie Técnica. Editorial Organismo Autónomo Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid. 297 p.
8. Spinelli Zinni, F. 1970. Estudio de situación del Partido de Coronel Pringles. Tomo III. 92 p.

Agradecimientos

Al Centro de Información Meteorológica del Servicio Meteorológico Nacional, Comando Regiones Aéreas de la Fuerza Aérea Argentina, especialmente a la SUP. II A. T. Gómez, por el acceso a la información pluviográfica de la Estación Meteorológica en Coronel Pringles, Prov. de Bs. As., Exp. N° 99.833.