

Estimación de los Parámetros del Modelo de Infiltración del SCS para suelos de la Ciudad de Córdoba, Argentina

Juan F. WEBER, Enrique E. STUYCK, Juan M. URBANO

Laboratorio de Hidráulica, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional, Maestro M. López esq. Cruz Roja Argentina. Ciudad Universitaria - CP (X5016ZAA) - Córdoba - Argentina.
Correo electrónico: jweber@civil.frc.utn.edu.ar

Resumen - En este trabajo se presenta una estimación indirecta del parámetro CN del método de infiltración del SCS (Soil Conservation Service) para suelos de la ciudad de Córdoba. Dicha estimación se efectuó a partir de la calibración de los parámetros del modelo de infiltración de Horton ejecutada sobre datos obtenidos en campo con el método del Infiltrómetro de Doble Anillo. Dado que el método experimental citado es de carácter puntual, se debieron definir una serie de cuencas hipotéticas para la aplicación de ambos métodos de pérdidas en conjunto con un método de transformación lluvia-caudal. La función objetivo a minimizar fue la suma de las desviaciones cuadráticas entre los caudales predichos por Horton y por el SCS. Gran parte de los valores de CN así calibrados cayeron dentro del rango usual para este parámetro y se consideran de utilidad para el desarrollo de proyectos hídricos en la ciudad de Córdoba.

Palabras clave: Hidrología Urbana, Infiltración, Método CN-SCS.

Parameter Estimation of SCS Abstraction Model for soils in Córdoba City, Argentina.

Abstract - This work presents an indirect estimation of CN parameter for the SCS (Soil Conservation Service) abstraction method, for soils in Córdoba city. This estimation was carried out using the previously-calibrated parameters for Horton model, based on field data from Double-Ring Infiltrometer Test. Since this experimental method has a localized behavior, it must to define a set of hypothetical basins for the application of both astraction methods, altogether with a rainfall-runoff method. The objective function to be minimized was the sum of quadratic deviations between the Horton and SCS predicted runoff. A great part of CN values obtained falls inside the usual range for this parameter and they are considered useful for development of hydric projects in Córdoba city.

Keywords: Urban Hydrology, Infiltration, CN-SCS Method.

Introducción

En trabajos ingenieriles vinculados al diseño y cálculo de obras de desagüe pluvial urbano, el proyectista se ve en la obligación, a la hora de cuantificar los caudales de aporte, a considerar dos tipos de superficies en las cuencas: las impermeables y las permeables. Las primeras, sin duda provocan un alto impacto en el volumen de crecidas y una disminución del tiempo de respuesta de la cuenca (Tucci, 2001). En cuanto a las segundas, se han impuesto en la práctica dos o tres modelos de uso generalizado a la hora de cuantificar la fracción de la precipitación de escurrimiento directo, y por tanto, la fracción infiltrada: el denominado Método Racional (Chow et al., 1994), el conocido método del CN-SCS (SCS, 1972) muy difundido en su aplicación a través de los populares programas de computadora HEC-1 (USACE, 1981) y más modernamente HEC-HMS (USACE, 2001),

y finalmente el Método de Horton (1939), difundido en el ámbito de la hidrología computacional a través de (entre otros) el conocido modelo SWMM (USEPA, 1977).

Una de las principales dificultades que encuentra el modelador a la hora de aplicar estos modelos de infiltración es la de estimar los parámetros de los mismos, tratando de lograr una adecuada representación de la realidad. Lamentablemente, existen grandes dificultades a la hora de disponer de datos medidos de infiltración en áreas permeables urbanas en la República Argentina. En la ciudad de Córdoba, por ejemplo, no se conoce una tarea sistemática de producción de información experimental al respecto. Atendiendo a este vacío de información, se presentan a continuación los resultados del ajuste del modelo de infiltración de CN-SCS para la ciudad de Córdoba.

Desarrollo

Se presentan a continuación una breve descripción del proceso de infiltración, los modelos de infiltración de Horton y del CN-SCS, los datos experimentales disponibles, el procedimiento de ajuste de los parámetros del modelo de Horton y del CN-SCS.

El proceso de infiltración

La infiltración es el proceso mediante el cual el agua superficial ingresa al suelo. Esta definición clásica queda sujeta a numerosas variables, tales como tipo y uso del suelo, cobertura vegetal, condiciones de humedad del suelo, etc. La resolución rigurosa del proceso de infiltración hace referencia al problema del flujo en medios porosos no saturados, cuya ecuación fundamental es la denominada ecuación de Richards (Tucci, 1993):

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial y}{\partial z} \right) + \frac{\partial K}{\partial z} \quad (1)$$

En esta ecuación, θ es el contenido de humedad volumétrico en el suelo, z es la coordenada vertical medida normalmente desde la superficie hacia abajo, K es la conductividad hidráulica que es una función de θ , y ψ es el potencial mátrico o de succión. Esta ecuación se puede escribir también como

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + \frac{\partial K}{\partial z} \quad (2)$$

donde D es la difusividad hidráulica, definida como

$$D = K \frac{\partial y}{\partial \theta} \quad (3)$$

La ecuación (1) o (2) son ecuaciones diferenciales en derivadas parciales, cuya incógnita $\theta(z,t)$ no tiene expresión analítica conocida sino para casos extremadamente simples. Eso hace que su solución deba ser encarada a través de técnicas numéricas de solución de ecuaciones diferenciales (como diferencias finitas o elementos finitos) lo cual la hace impráctica a la hora de contar con una herramienta simple de diseño hidrológico.

El modelo de Horton

A partir de numerosos experimentos de campo, Horton (1939) advirtió que la capacidad de infiltración de un suelo, definido a través de la tasa de infiltración $f(t)$, es una función decreciente en el tiempo, tal como se indica en la figura 1.

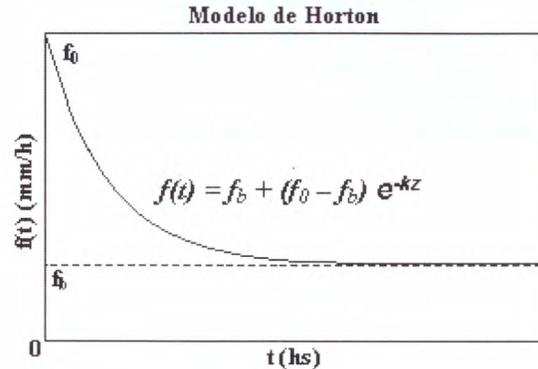


Fig. 1: Tasa de infiltración versus tiempo

Observaciones más finas permitieron a Horton identificar que este decaimiento se correspondía con una función exponencial negativa de la forma:

$$f(t) = f_b + (f_0 - f_b) e^{-kt} \quad (4)$$

En esta ecuación, f_b es la denominada tasa de infiltración base, f_0 la tasa de infiltración inicial, y k es un parámetro de forma de la curva. Tanto $f(t)$, f_b y f_0 suelen expresarse en mm/h, mientras que k debe expresarse en h^{-1} . Claramente es posible observar a partir de la ecuación (4), que f_0 es el valor que toma $f(t)$ para $t = 0$ (infiltración inicial), f_b es el valor que toma $f(t)$ para $t \rightarrow \infty$, y que se corresponde con el mínimo valor posible de $f(t)$. Matemáticamente, f_b representa la asíntota horizontal de la curva representada en la figura 1.

La tasa mínima de infiltración f_b en teoría debería coincidir con la conductividad hidráulica saturada vertical del suelo, K_s . Debido a la presencia de aire aprisionado en la masa de suelo, el valor de f_b suele ser levemente menor a K_s (Tucci, 1993).

Según Raudkivi (1979) es posible obtener la ecuación (4) integrando la ecuación de Richards

(ecuación 1) bajo las condiciones de que la difusividad hidráulica D y la conductividad hidráulica K se mantengan constantes.

La principal limitación del modelo de Horton se basa en que el mismo sólo se verifica mientras la capacidad de infiltración se ve satisfecha, es decir que la tasa potencial de infiltración sea igual a la tasa real, lo cual se verifica mientras la intensidad de lluvia i se mantenga mayor que $f(t)$, para todo instante t . Esta condición limita la aplicabilidad del modelo hortoniano, a menos que se realice una corrección que acople al proceso de infiltración el de percolación. El algoritmo correspondiente fue presentado por Tucci (1993) como algoritmo de Berthelot, y cae fuera del ámbito del presente trabajo.

El modelo del CN-SCS

Este método ha sido desarrollado por el Servicio de Conservación del Suelo del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, (1972). Los conceptos generales utilizados en este método son los de considerar que la precipitación efectiva Pe , es siempre menor o a lo sumo igual que la precipitación total P ; que la retención acumulada Fa , es siempre menor o a lo sumo igual que la retención potencial máxima S ; y que la escorrentía potencial, es decir, el máximo volumen de agua que puede convertirse en escorrentía es $P - Ia$.

La hipótesis fundamental del método es la validez de la siguiente relación:

$$\frac{Fa}{S} = \frac{Pe}{P - Ia} \quad (5)$$

Estableciendo el balance entre infiltración, precipitación y escurrimiento superficial se llega a:

$$Pe = \frac{(P - Ia)^2}{P - Ia + S} \quad (6)$$

El parámetro CN del modelo se relaciona con la retención potencial máxima S según:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \text{ [mm]}.$$

Cabe destacar que este método, a diferencia del modelo de Horton, ha sido calibrado directamente sobre cuencas monitoreadas en los E.E.U.U.

El infiltrómetro de doble anillo

Uno de los equipos experimentales más simples para la medición de la capacidad de infiltración de suelos es el denominado infiltrómetro de doble anillo. Este procedimiento de ensayo, también conocido como método de Müntz (Custodio y Llamas, 1976) permite obtener mediciones directas de infiltración en áreas reducidas (puntuales). El equipo consiste en dos anillos concéntricos de chapa, de diámetros en relación de 2 (por ej. 50 cm y 25 cm, ó 40 cm y 20 cm) cuya altura ronda entre 40 y 50 cm, y que en su parte inferior se hallan biselados para permitir su hincia en el suelo (Figura 2). Este hincia debe estar comprendida entre los 10 y 15 cm aproximadamente.

La medición del volumen de agua incorporada se realiza a través de probetas graduadas (de 100 y 1000 ml) y el nivel constante se controla por medio de un clavo testigo. Cabe destacar que la norma ASTM - D3385 establece los lineamientos para el desarrollo de este ensayo, que fueron respetados en las tareas de campaña desarrolladas. El equipamiento se completa con maza para la hincia, perfil metálico para la distribución de los golpes de hincia, cronómetro, planilla para recolección de datos, depósito de agua., etc.

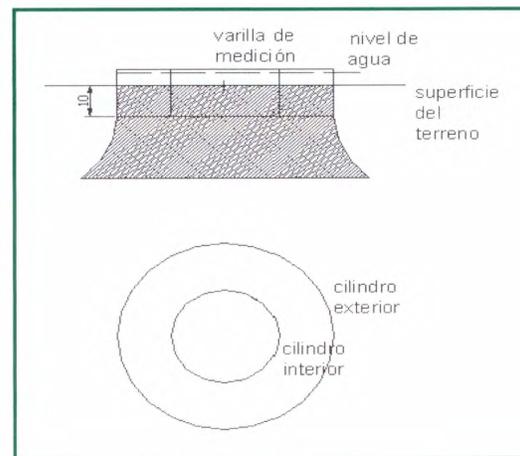


Fig. 2: Infiltrómetro de doble anillo.

Trabajos experimentales

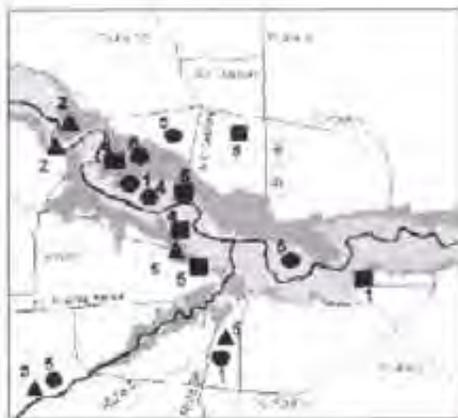
Para la definición de los sitios de ensayo se consideró que las dos variables a priori más influyentes sobre los resultados a obtener eran el tipo de suelo y el uso del suelo. Con respecto al tipo, más que a una clasificación geotécnica se asumió que una clasificación de características regionales resultaría con mayor representatividad hidrológica. Para ello, se fijó como criterio la clasificación de ambientes

geomorfológicos desarrollada por Quintana Salvat y Barbeito (1994). Este trabajo detectó básicamente dos ambientes diferenciados en el ejido de la ciudad de Córdoba: la planicie loessóide (correspondiente a un suelo del tipo lino arenoso, de gran cohesión en condiciones de baja humedad) y la terraza de inundación del antiguo cauce del río Suquia (Primer). la cual fue a su vez clasificada por los autores citados en tres subambientes: terraza baja, media y alta, según su cercanía al actual cauce del río que atraviesa la ciudad.

En cuanto al uso del suelo, se distinguió básicamente en tres tipos fundamentales: los patios y jardines de viviendas residenciales, las plazas, parques y paseos públicos, y finalmente las calles no pavimentadas (calles de tierra). Además, se agregó como punto de interés especial el lecho de una laguna de detención en la zona norte de la ciudad.

En la Figura 3 se muestra el Plano Geomorfológico de la ciudad de Córdoba, con la indicación de los sitios seleccionados (clasificados según el uso de suelo) y del número de ensayos efectuados en cada uno de ellos. Puede observarse la amplitud geográfica de la región involucrada.

La Tabla 1 muestra los sitios de ensayo seleccionados clasificados según el uso del suelo y el ambiente geomorfológico.



Plano Geomorfológico	
Referencias de suelos	Referencias de Usos
<input type="checkbox"/> Planicie Loessóide	<input checked="" type="checkbox"/> Viviendas
<input type="checkbox"/> Terraza Baja	<input checked="" type="checkbox"/> Espacios verdes
<input type="checkbox"/> Terraza Media	<input checked="" type="checkbox"/> Calles no pavimentadas
<input type="checkbox"/> Terraza Alta	

Fig. 3. Ubicación de ensayos.

Uso del suelo	Ambiente geomorfológico			
	Planicie loessóide	Terraza alta	Terraza media	Terraza baja
Residencial	Residencia Remacha	Residencia Anelari Residencia Quintern	Residencia Pómpolo Maderas Nábuel	Residencia Calderón
Espacios verdes	Instituto Rinauti Laguna de retención UTN-FRC	Plaza Maestros de la Pintura	Parque Gral. Paz Parque de las Naciones	Parque de las Naciones
Calles no pavimentadas	Instituto Remacha UTN-FRC	Sitio de Mayo y Tejerina	Villa Belgrano	Villa Belgrano

Tabla 1. Sitios de ensayo.

En los sitios seleccionados en base a los criterios indicados anteriormente se efectuaron ensayos con infiltrómetros de doble anillo. En total, el Laboratorio de Hidráulica de la Fac. Reg. Córdoba de la U.T.N. dispone de 6 (seis) infiltrómetros, lo cual permitió que en cada visita a cada sitio de ensayo se efectuaran 2 (dos) y hasta 3 (tres) ensayos simultáneos con una finalidad inicial de comprobación.

Como resumen se puede indicar que se escogieron 5 sitios en viviendas residenciales, con un total de 19 ensayos, doble o triples; 6 sitios en espacios verdes, con un total de 25 ensayos dobles o triples; y 5 sitios en calles no pavimentadas, con un total de 19 ensayos dobles o triples.

La duración de los ensayos fue variable, entre un mínimo de 3,5 horas hasta un máximo de 7 horas, dependiendo del comportamiento observado in situ del proceso de infiltración, en cuanto a la velocidad con que se alcanzó la condición de régimen ($f = fh$).

El número y frecuencia de las observaciones también fue dependiente de las condiciones locales encontradas, observándose una mayor frecuencia de medición (y de recarga de los infiltrómetros) en los suelos de mayor capacidad de infiltración. Este número varió desde un mínimo de 8 puntos (con una frecuencia de 30 min) hasta un máximo de 50 puntos (con una frecuencia de 2 minutos).

La información recopilada en campaña fue procesada utilizando planilla de cálculo, transformando los volúmenes medidos en láminas y posteriormente en tasas de infiltración. Estos resultados fueron graficados en función del tiempo, permitiendo obtener gráficos como los de las figuras 4 a 7, en las cuales se observan (a título de ejemplo) los resultados experimentales de un ensayo (doble o triple) en una calle de tierra, un espacio verde, una vivienda residencial, y la laguna de retención. Pueden verse las grandes diferencias en: magnitud de la capacidad de infiltración, número de puntos medidos y frecuencia de las observaciones.

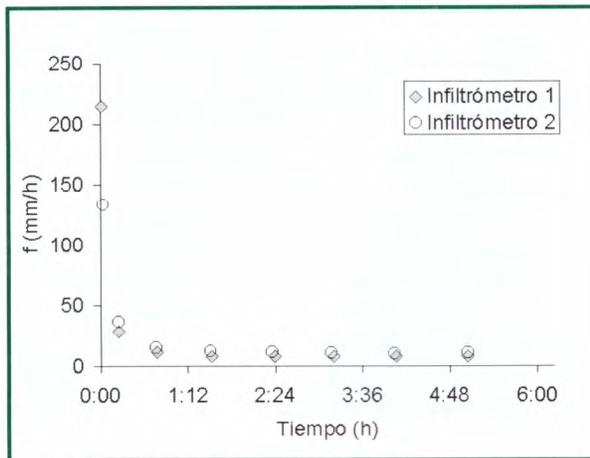


Fig. 4: Ensayo 1 – Instituto Renault (calle de tierra)

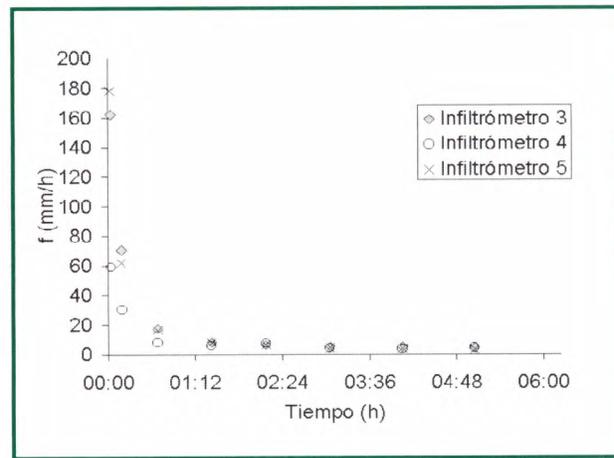


Fig. 7: Ensayo 4 – Laguna de Retención (espacio verde)

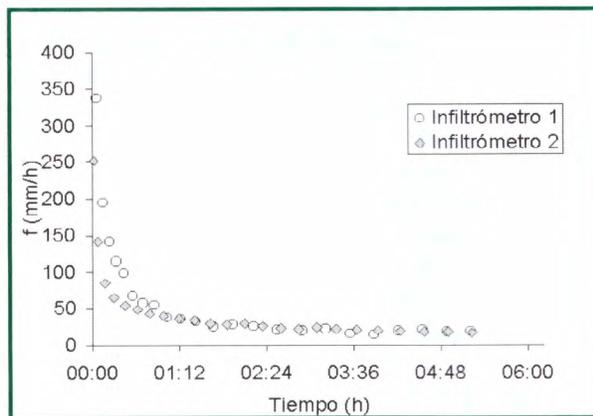


Fig. 5: Ensayo 1 – Plaza M. de la Pintura (espacio verde)

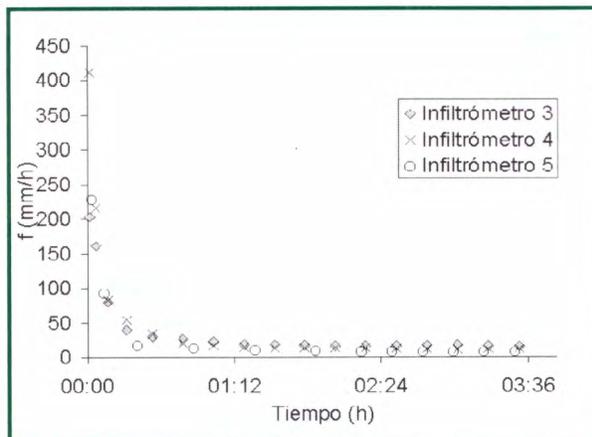


Fig. 6: Ensayo 4 – residencia Calderón (vivienda)

Ajuste del modelo de Horton

A partir de la información digitalizada según se describió en el párrafo anterior, se procedió a ajustar los parámetros del modelo de Horton (f_0 , f_b y k) para cada uno de los ensayos efectuados. El ajuste se basó en un procedimiento de optimización, que buscó minimizar la función objetivo dada por la expresión

$$F.O. = \sum_{i=1}^n (f_i - f_i^*)^2. \quad (8)$$

En la expresión anterior, n es el número de observaciones efectuadas (en cada infiltrómetro de cada ensayo), f_i es la tasa de infiltración medida en una observación i cualquiera, y f_i^* es la tasa de infiltración predicha por la expresión (4), con unos valores f_0 , f_b y k variables hasta lograr la minimización de la expresión (8). La optimización se efectuó a través de un procedimiento numérico no lineal (Newton-Raphson) disponible en la planilla de cálculo utilizada. Las restricciones impuestas a la optimización fueron: $f_0 > f_b$, $f_b > 0$, $k > 0$. Cabe destacar que el proceso no se efectuó completamente en forma automática, sino que fue necesario “ayudar” al optimizador a salir de “mínimos locales”, observando el comportamiento gráfico de la curva ajustada contra los puntos medidos.

En la tabla 2 se muestran, en resumen, los valores promedio de los parámetros de Horton calibrados en cada uno de los sitios de ensayo, junto con algunas propiedades físicas de los suelos ensayados.

SITIO	f_a (mm/h)	f_b (mm/h)	K (l/h)
Res. Calderón	394,45	52,86	9,03
Parque General Paz	282,69	22,82	6,05
Res. Azelart	390,56	63,93	8,08
Plaza Maestros de lapintura	306,51	47,88	6,21
Sol de Mayo y Tejerina	42,03	5,00	2,76
Res. Benaglia	427,05	123,64	9,23
Renault Argentina-Parque	191,15	37,56	4,89
Laguna de retención	115,98	6,10	5,82
Renault Argentina-Calle	203,79	11,59	6,69
Villa Belgrano - Baja	38,97	3,81	4,41
Maderas Nahuel	252,43	98,79	7,24
Res. Quintero	402,34	92,39	8,87
U.T.N.-F.R.C.	158,01	44,94	7,29

Tabla 2. Resultados de la calibración.

Ajuste de los parámetros del modelo CN-SCS

Es imposible negar la influencia que tiene el método de pérdidas del Soil Conservation Service - CN-SCS - (SCS, 1972) en la ingeniería local. Debido a ello se propuso como objetivo de este trabajo obtener una estimación del parámetro CN de este modelo que pueda ser de utilidad a los proyectistas y diseñadores hidrológicos en la ciudad de Córdoba, a partir de los parámetros del modelo de Horton calibrados sobre los datos de campaña descriptos.

Una restricción importante en el problema es el hecho de que el modelo del CN-SCS ha sido pensado a nivel de cuenca, por lo cual no es posible realizar una transferencia directa desde el modelo de Horton al CN-SCS, sino a través de una respuesta de la cuenca, como ser el hidrograma de crecida.

Dado que no se cuenta a la fecha con un estudio minucioso acerca de las características morfológicas de todas las cuencas urbanas de la ciudad de Córdoba, fue necesario establecer una serie de hipótesis con la finalidad de acotar intervalos de búsqueda para los parámetros más representativos de las cuencas, entre ellos el área, la pendiente media, porcentajes de áreas impermeables.

Se asumieron valores de áreas de 2, 4, 6, 8 y 10 km². La pendiente media considerada varió entre 0,25, 0,50, 0,75 y 1,00 %. Mientras el porcentaje de área impermeable tomó valores de 0, 20, 40, 60 y 80 %. De este modo se trabajó con un total de 100 cuencas hipotéticas.

La precipitación considerada surgió de la curva idT de la ciudad de Córdoba

$$i = \frac{1608,756.T^{0,198}}{(d+15)^{0,0891}} \quad (9)$$

donde i es la intensidad de la lluvia (mm/h), T es el periodo de retorno (en años) y d es la duración de la lluvia (en minutos). La duración de la tormenta se igualó (como es práctica usual en diseño hidrológico) al tiempo de concentración de la cuenca, que se estimó a partir de la expresión empírica de Kirpich

$$t_c = 0,000325 \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}} \quad (10)$$

en la cual L es la longitud del cauce principal de la cuenca (que se estimó como el diámetro del círculo equivalente) y S es la pendiente media de la cuenca.

El periodo de retorno se fijó en 5, 10, 25, 50, y 100 años, acorde a la magnitud de las obras que con frecuencia puedan realizarse en el ámbito del ejido municipal de la ciudad de Córdoba.

Para la distribución temporal de la precipitación, se utilizaron los hietogramas de diseño de Caamaño y Dasso (2003), que, para tormentas de duración menor a 1 hora (correspondientes a los tiempos de concentración de las cuencas hipotéticas consideradas) siguen el patrón indicado en la figura 8.

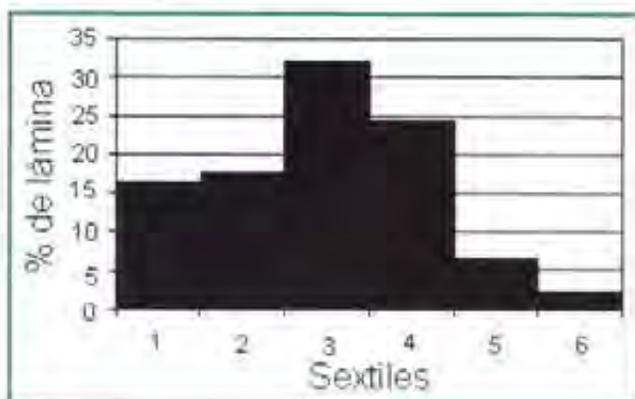


Fig. 8. Ensayo 4 - Laguna de Retención (espacio verde)

El proceso de transformación lluvia-escorrentía se modeló a través del método del Hidrograma Unitario Triangular del SCS, para las dos precipitaciones netas obtenidas al aplicar a la precipitación total el descuento de las pérdidas por los métodos de Horton y SCS. La función objetivo a minimizar fue la suma de los desvíos cuadráticos entre los caudales obtenidos con el método de pérdidas del SCS y los obtenidos con Horton, según la siguiente expresión:

$$F.O. = \sum_{i=1}^N (Q_{Horton}^i - Q_{SCS}^i)^2 \quad (11)$$

Se utilizaron las herramientas de optimización no lineal disponibles en la planilla de cálculo.

Resultados y discusión

De la combinación de las propiedades geomorfológicas indicadas, con las duraciones y períodos de retorno antes indicados, surgieron 5500 casos de optimización, cuyos resultados se muestran en la tabla 3.

SITIO	CN
Res. Calderón	52,1 (21,3 – 68,4)
Parque General Paz	66,2 (49,1 – 75,5)
Res. Azelart	* 42,8 (10,5 – 63,9)
Plaza Maestros de la Pintura	50,0 (20,3 – 68,5)
Sol de Mayo y Tejerina	92,8 (89,4 – 95,1)
Res. Benaglia	* 19,7 (10,2 – 50,2)
Renault Argentina – Parque	61,2 (21,4 – 78,4)
Laguna de retención	87,9 (83,7 – 91,4)
Renault Argentina – Calle	80,5 (72,8 – 85,6)
Maderas Nahuel	* 35,6 (10,4 – 65,1)
Res. Quintero	* 34,4 (10,3 – 58,6)

Tabla 3. Valores estimados de CN.

Los valores indicados con asterisco (*) en la tabla anterior, son considerados dudosos debido a las dificultades encontradas en la realización de los ensayos de campo, siendo los valores obtenidos atípicos para el parámetro CN. El resto

de las estimaciones se consideran adecuadas al tipo y uso de suelo asociado.

A su vez cabe destacar que, a pesar de ser el modelo del SCS un modelo de dos parámetros (CN e I_a), debido a que el modelo de Horton no contempla pérdidas iniciales como las consideradas por el parámetro I_a , sistemáticamente se obtuvieron valores de 0 para este parámetro en el proceso de optimización, de allí que no se incluya en la Tabla 3. Por otro lado esto permitió inferir la consistencia del procedimiento utilizado.

Asimismo corresponde indicar que en general el ajuste observado entre los hidrogramas obtenidos con los dos métodos de pérdidas ha sido muy bueno, tal como se muestra en un caso en particular en la figura 9. En la misma la línea continua representa el hidrograma de crecidas obtenido con el modelo de pérdidas de Horton, y la línea de trazos representa el hidrograma obtenido con el SCS.

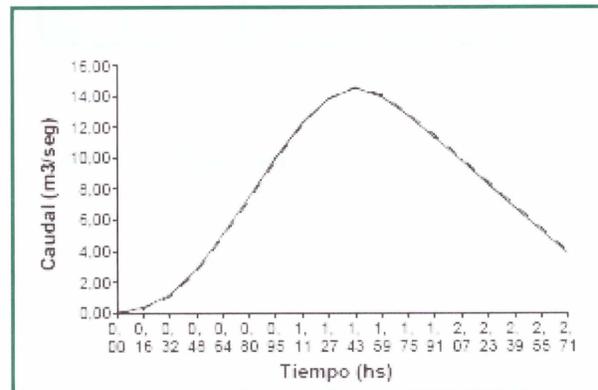


Fig. 9: Ejemplo de hidrogramas calculados con los dos métodos de pérdidas

Conclusiones

Ha sido posible establecer una metodología de ajuste entre los parámetros del modelo de Horton (de origen experimental) y el parámetro CN del modelo de pérdidas del SCS, a través de los hidrogramas de crecida de un gran conjunto de cuencas hipotéticas en la ciudad de Córdoba, Argentina. Los valores así obtenidos caen en general dentro del rango esperado para el parámetro, y constituyen el primer conjunto de valores de CN estimados a partir de datos experimentales en esta ciudad. Se espera que estos valores sean de utilidad para los planificadores urbanos en sus tareas de diseño hidrológico.

Agradecimientos

Los autores del presente trabajo quieren manifestar su agradecimiento a la Agencia Córdoba Ambiente, dependiente del Gobierno de la Provincia de Córdoba y a la Facultad Regional Córdoba de la Universidad Tecnológica Nacional.

REFERENCIAS

- Horton, R. E. "Analysis of runoff-plot experiments with varying infiltration capacity" Transactions American Geophysical Union, Washington, 693-711 (1939).
- Soil Conservation Service. "National Engineering Handbook, Section 4: Hydrology" U.S. Dept. of Agriculture, Washington (1972).
- Custodio, E., Llamas, M. R. (Eds.). "Hidrología Subterránea". Ediciones Omega (1976).
- U.S. Environmental Protection Agency. "SWMM: Stormwater Management Model". Washington, D.C. (1977).
- Raudkivi, A. J. "Hydrology". Oxford: Pergamon, 479 p. (1979).
- U.S. Army Corps of Engineers. "HEC-1 Flood Hydrograph Package User's Manual" Davis, CA (1981).
- Tucci, C. E. M. (Ed.). "Hidrologia: Ciência e Aplicação". Editora da Universidade, UFRGS, Porto Alegre (1993).
- Caamaño Nelli, G., Dasso, C. "Lluvias de Diseño", Editorial Científica Universitaria, Córdoba (2003).
- Chow, V. T., D. R. Maidment y L. W. Mays. "Hidrología Aplicada" McGraw-Hill Interamericana S.A. Santafé de Bogotá, Colombia (1994).
- Quintana Salvat, F. y Barbeito, O. "Base geológica - geomorfológica para la planificación territorial de la ciudad de Córdoba y su entorno - Ejido Municipal". Fotointerpretación N° 1, Vol. II, págs. 209-256. Córdoba, República Argentina (1994).
- Tucci, C. E. M. "Urban drainage in humid tropics, Volume I" in Maksimovic, C. 2001. "Urban drainage in specific climates". IHP-V - Technical Documents in Hydrology No. 40, Vol. I. UNESCO, Paris (2001).
- U.S. Army Corps of Engineers. "HEC-HMS Hydrologic Modeling System User's Manual". Davis, CA. (2001).
- Weber, J. F., Martínez, N., Stuyek, E., Urbano, J., Azelart, D. "Caracterización Experimental del Proceso de Infiltración en Suelos de la Ciudad de Córdoba", XX Congreso Nacional del Agua, CONAGUA2005, Mendoza (2005).
- Weber, J. F., Urbano, J. M., Stuyek, E. E., Azelart, D., Martínez, N. B. "Caracterización de los parámetros del modelo de Infiltración de Horton en suelos de la ciudad de Córdoba", Cuadernos del Curiam, ISSN 1514-2906. UNR Editora, Rosario, Vol. 11, No. 1, 29-38. (2005).

