

Estimación de las pérdidas de la precipitación en una cuenca hidrográfica urbana de la Ciudad de Cuenca

Rubio, Ricardo* 1 ; Mora, Diego 2 ; Jerves, Ruben 3 ; Arias-Hidalgo, Mijail 4

1 Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca, Benigno Malo 7-78 y Mariscal Sucre, Cuenca, Ecuador, rrubio81@gmail.com

2 Universidad de Cuenca Docente Facultad de Ingeniería, Investigador Principal del Programa para el Manejo del Agua y del Suelo PROMAS - Universidad de Cuenca, Av. 12 de Abril y Av. Loja, Cuenca, Ecuador

3 Universidad de Cuenca, Investigador del Programa para el Manejo del Agua y del Suelo PROMAS - Universidad de Cuenca, Av. 12 de Abril y Av. Loja, Cuenca, Ecuador

4 Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Campus Gustavo Galindo Km. 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01- 5863, Guayaquil, Ecuador

Palabras Claves: Pérdidas, respuesta hidrológica, cuenca urbana, Coeficiente de escorrentía volumétrico

Resumen

La ciudad de Cuenca en Ecuador, enfrenta un permanente proceso de urbanización de su territorio, provocando considerable alteración en la respuesta hidrológica de la cuenca hidrográfica ante las lluvias. Entre las alteraciones que sufre una cuenca urbanizada se tiene la variación de la pérdida de lluvia en la cuenca (abstracciones), existiendo diversas metodologías para su estimación. Entre ellas se cuenta con el método de Coeficiente de escorrentía volumétrico Cv. Con el presente trabajo, a través de la metodología señalada se plantea estimar las pérdidas o abstracciones que experimenta una cuenca urbana en la ciudad de Cuenca mediante el análisis de información recopilada entre Marzo y Mayo del 2017. Los resultados que se obtuvieron indican que para precipitaciones con intensidades que varían entre 2.4 y 38.4 mm/h las pérdidas en la cuenca se encuentran entre el 6% y 60%.

Introducción

La ciudad de Cuenca en Ecuador, presenta un permanente proceso de urbanización de su territorio, en pos de satisfacer las necesidades básicas de su creciente población. De esta manera se ha provocado una considerable alteración en la respuesta hidrológica de la cuenca hidrográfica ante un evento de precipitación [1].

Esta urbanización comprende entre otras la impermeabilización de la cuenca, construcción de sistemas de evacuación de aguas lluvias. Tales medidas contribuyen considerablemente a la transformación de gran parte de precipitación en escorrentía por la disminución de las pérdidas, como la infiltración, intercepción o almacenamiento superficial.

Este exceso de escorrentía provocado, puede generar inundaciones urbanas que conlleven pérdidas económicas, contaminación y problemas de salud [2].

Por otro lado, se debe señalar que en cuencas urbanizadas con sistema de saneamiento combinado, como el construido en la ciudad de Cuenca, con el objeto de que el agua residual vaya al tratamiento y el caudal de escorrentía se evacúe hacia los cuerpos de agua, los caudales se separan

por medio de una estructura hidráulica. Siendo así, en las cuencas hidrográficas urbanas dentro de las pérdidas se debe incluir las provocadas por el sistema de derivación de caudales de la red de saneamiento.

Para identificar la pérdida de precipitación se han planteado diversas metodologías, entre ellas está el método del coeficiente de escorrentía [3] o Coeficiente de escorrentía volumétrico C_v , según Dhakal et al. [4]. Asimismo, con este procedimiento se obtiene el porcentaje de la cantidad de lluvia que aparece como escorrentía, durante o después de un evento de precipitación [5].

Por lo expuesto, y considerando además que el cambio climático ha provocado el aumento de eventos extremos en la zona de estudio [6], el manejo del drenaje urbano presenta nuevos desafíos [7], por lo que es necesario estimar el valor de C_v , para valorar las pérdidas de precipitación y así conocer la respuesta de la cuenca urbana a los eventos lluvia-escorrentía [5].

Área de estudio y datos

En la presente investigación se analizó una área ubicada en la zona urbana de la ciudad de Cuenca, que tiene un superficie de 56.81 Ha de la cual el 84.3% son zonas impermeables y el 15.7% zonas permeables, valores determinados, analizado el catastro del sistema de saneamiento y la imagen satelital de la zona. (Gráfico 1).

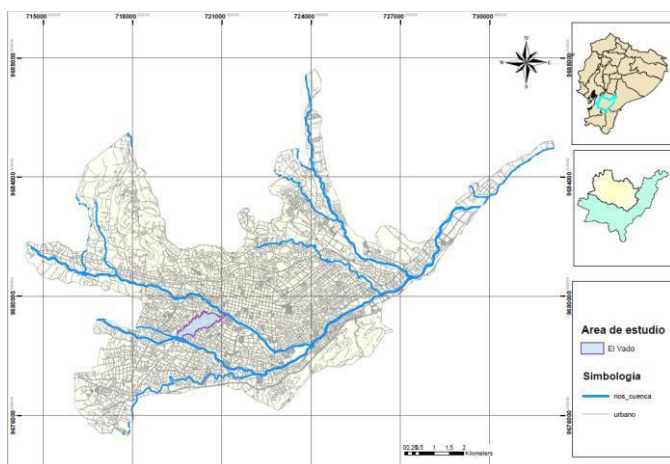


Gráfico 1: Área de estudio.

La información que se utilizó son datos de precipitación (estación pluviométrica muy cercana a la cuenca analizada) y calados de flujo medidos en cada evento de rebose (monitoreo entre Marzo-Mayo 2017). Esta información fue procesada con una resolución de 5 minutos, Gráfico 2.

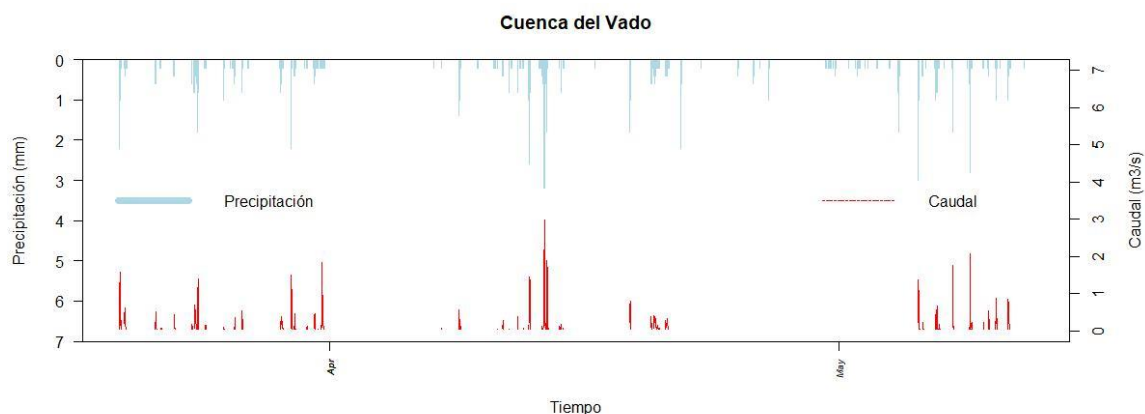


Gráfico 2: Hidrograma y hietograma escala: 5 minutos.

Metodología

El Coeficiente de escorrentía Volumétrico “C_v” se basa en la respuesta integral de la cuenca siendo en esencia la transformación del volumen de lluvia a volumen de escorrentía [8], entonces este se calcula mediante:

$C_v = \frac{R_k}{P_k}$

Donde:

R_k: escorrentía total de cada evento (mm),

P_k: precipitación total de cada evento (mm).

Los valores de R_k se estimaron dividiendo el volumen generado por la escorrentía de lluvia (Q_{RAIN}) para el área de la cuenca.

Los valores de Q_{RAIN} se calculan planteando una ecuación de balance del sistema estudiado:

$$= + - (2)$$

Donde

Q_{INTER}: caudal que va a tratamiento,

Q_{OVER}: caudal que se evacúa al río por la descarga del sistema de saneamiento de la cuenca,

Q_{SAN}: caudal sanitario.

Con la ecuación de Manning utilizando los calados de flujo medidos en la descarga, el coeficiente de rugosidad (consultado en la literatura), la pendiente y sección del conducto, se obtiene Q_{OVER}.

El Q_{INTER} se estimó en función de Q_{OVER} y el tipo de estructura derivadora de caudal de la cuenca, finalmente Q_{SAN} se estimó a partir de la dotación, coeficiente de retorno y población de la cuenca analizada.

Los valores de P_k, corresponden a la altura de lluvia acumulada de cada evento.

Resultados y discusión

Para el presente trabajo se han seleccionado los eventos con calados superiores a 15cm para el máximo Q_{OVER}, de manera que se disminuya el efecto del aporte de Q_{SAN}, atenuando cualquier distorsión en el resultado.

el periodo estudiado se analizaron 56 eventos lluvia-escorrentía, quedando para el análisis solo 28 eventos al aplicar el criterio establecido en el párrafo anterior. Los resultados se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: Calculo Coeficiente de escorrentía volumétrico

No.	Precipitación Duración	Escorrentía Duración	Qp m ³ /s	I_max mm/h	Escorrentía mm	Precipitación mm	Cv
1	2:00	2:10	1.59	26.4	5.21	9.00	0.58
2	0:45	1:00	0.52	7.2	1.58	3.20	0.49
3	1:20	1:25	0.44	4.8	1.68	3.00	0.56
4	4:45	4:25	0.72	9.6	6.82	12.80	0.53
5	0:30	1:20	1.42	21.6	3.84	4.80	0.8
6	2:00	2:20	0.38	7.2	2.08	4.60	0.45
7	1:50	1:55	0.56	9.6	2.61	5.20	0.5
8	4:35	4:00	0.38	9.6	4.83	12.00	0.4
9	0:50	1:10	1.51	26.4	3.38	4.80	0.7
10	1:15	1:35	0.46	4.8	2.10	2.80	0.75
11	1:15	1:25	0.48	7.2	2.36	4.80	0.49
12	0:15	0:45	0.57	16.8	1.16	2.60	0.44
13	0:20	0:45	0.31	12	0.85	1.80	0.47
14	1:15	1:15	0.27	4.8	1.34	2.60	0.52
15	1:25	2:15	1.48	31.2	9.72	11.80	0.82
16	3:00	3:40	3.01	38.4	14.24	19.40	0.73
17	1:15	1:40	0.39	7.2	1.83	3.80	0.48
18	6:40	6:55	0.43	7.2	8.87	15.00	0.59
19	3:35	3:55	0.35	4.8	4.57	7.40	0.62
20	1:15	2:55	1.40	36.00	6.66	9.40	0.71
21	0:10	1:20	0.24	4.80	0.75	0.80	0.94
22	1:50	2:50	0.68	12.00	3.39	4.40	0.77
23	0:40	1:40	1.79	21.60	5.67	7.40	0.77
24	0:40	1:35	2.11	33.60	4.53	5.80	0.78
25	0:35	1:00	0.22	2.40	0.93	1.00	0.93

26	0:45	1:05	0.25	2.40	1.06	1.40	0.76
27	2:55	3:00	0.91	12.00	6.10	7.80	0.78
28	2:40	3:10	0.87	12.00	7.93	9.80	0.81
MAXIMO	6:40	6:55	3.01	38.4	14.24	19.4	0.94
MINIMO	0:10	0:45	0.22	2.40	0.75	0.80	0.40
MEDIA	1:40	2:09	0.85	14.06	4.15	6.40	0.65
MEDIANA	1:20	1:40	0.54	9.60	3.38	4.80	0.66
DESV. ESTANDAR	1:26	1:26	0.69	10.87	3.24	4.59	0.16

que los Caudales pico Q_p varían entre 3 y $0.22\text{m}^3/\text{s}$, y las Intensidades de precipitación (i) varían entre 2.4 y $38.4\text{mm}/\text{h}$. En cuanto a C_v se ha encontrado valores que van desde 0.40 hasta 0.94 con una desviación estándar de 0.16.

En la Tabla 1 se puede observar que alrededor del 71% de los eventos analizados tienen $i \leq 16.8\text{mm}/\text{h}$ presentando un valor promedio de $C_v = 0.61$, mientras el restante 29% de eventos tienen un $C_v = 0.74$. Se identifican valores extremos de C_v para $i \leq 16.8\text{mm}/\text{h}$ (evento 10, 21, 25), lo cual se puede explicar debido a que horas antes se produjeron precipitaciones intensidades máximas elevadas.

Conclusiones

La presente investigación se ha visto limitada por no contar con datos de campo de Q_{SAN} para poder representar de mejor manera el comportamiento del área de estudio, sin embargo, se considera que con las pautas establecidas, los resultados pueden ser considerados confiables.

Observando los resultados se puede decir que la intensidad de la precipitación es inversamente proporcional a la pérdida de precipitación en la cuenca urbana analizada, es decir a mayor intensidad menores pérdidas y viceversa. Esta relación puede alterarse por la ocurrencia previa de lluvias con altas intensidades muy cercanas a eventos con intensidades bajas; en este contexto el valor de las pérdidas disminuye sustancialmente a pesar de la baja intensidad del evento.

El rango de valores de C_v va de 0.4 a 0.94 para el periodo analizado, por tanto las pérdidas en la cuenca urbana analizada están entre el 6 y 60%.

Es importante indicar que este trabajo es una primera aproximación, debiendo los resultados obtenidos contrastarse con resultados de otras cuencas y para un mayor periodo de tiempo.

Agradecimientos

Al personal de la Empresa ETAPA EP: Ing. Iván Palacios, Ing. Xavier Fernández de Córdova, Ing. Nancy Abril, Ing. Lenin Álvarez, Ing. Raúl Avilés, Top. Jorge Toledo, personal de cuadrilla; personal del PROMAS de la Universidad de Cuenca: Ing. Felipe Cisneros, Ing. Juan Cisneros, Ing. Paúl Arízaga, Ing. Vicente Iñiguez y personal administrativo que gentilmente facilitaron la logística, información y equipos para llevar a cabo el presente trabajo. Asimismo agradecer a los estudiantes Linde De Schriever, Carlos Deluquez y Alejandro Bowen por el apoyo brindado en el trabajo de campo.

Referencias

- [23] J. D. Miller, H. Kim, T. R. Kjeldsen, J. Packman, S. Grebby, y R. Dearden, “Assessing the impact of urbanization on storm runoff in a peri-urban catchment using historical change in impervious cover”, *J. Hydrol.*, vol. 515, pp. 59–70, 2014.
- [24] L. Yao, W. Wei, y L. Chen, “How does imperviousness impact the urban rainfall-runoff process under various storm cases?”, *Ecol. Indic.*, vol. 60, pp. 893–905, 2016.
- [25] V. T. Chow, D. R. Maidment, y L. W. Mays, *Hidrología aplicada*, Primera edición. McGraw-Hill, 1994.
- [26] N. Dhakal, X. Fang, W. H. Asquith, T. G. Cleveland, y D. B. Thompson, “Rate-based estimation of the runoff coefficients for selected watersheds in Texas”, *J. Hydrol. Eng.*, vol. 18, núm. 12, pp. 1571–1580, 2012.
- [27] T. Blume, E. Zehe, y A. Bronstert, “Rainfall—runoff response, event-based runoff coefficients and hydrograph separation”, *Hydrol. Sci. J.*, vol. 52, núm. 5, pp. 843–862, 2007.

- [28] D. Mora, L. Campozano, F. Cisneros, G. Wyseure, y P. Willems, “Climate changes of hydrometeorological and hydrological extremes in the Paute basin, Ecuadorean Andes”, 2014.
- [29] H. Ávila, “Perspectiva del manejo del drenaje pluvial frente al cambio climático-caso de estudio: Ciudad de Barranquilla, Colombia”, *Rev. Ing.*, núm. 36, pp. 54–59, 2012.
- [30] N. Dhakal, X. Fang, T. G. Cleveland, D. B. Thompson, W. H. Asquith, y L. J. Marzen, “Estimation of volumetric runoff coefficients for Texas watersheds using land-use and rainfall-runoff data”, *J. Irrig. Drain. Eng.*, vol. 138, núm. 1, pp. 43–54, 2011.