

EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE CÁLCULO DE TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN Y FLUJO PICO EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS: CASO RÍO PACORA

José R. Fábrega D.

Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas, Universidad Tecnológica de Panamá de los autores, Panamá.
E-mail: jose.fabrega@utp.ac.pa

Introducción

Panamá es un país con extensos recursos hídricos que determinan en gran medida sus actividades económicas. (Espinosa et al., 1997). El clima de Panamá esta dictado por su posición, orientación, estrechez, la influencia de la zona de convergencia intertropical y las interacciones del océano con la atmósfera (ETESA, 2007). Para el período comprendido entre 1971 a 2002, Panamá tuvo una precipitación anual promedio de 2924 mm (220.8 Km³) y una escorrentía promedio de 1764 mm (4222 m³/133.2 Km³), lo cual se traslada en un coeficiente de escorrentía de 60.3 % (PHI, 2008). Panamá está dividido en tres regiones pluviométricas: Pacífico, Atlántico y Central. Esta precipitación alimenta 500 ríos y 52 cuencas (ANAM, 2011), que están clasificadas en vertientes del Pacífico y Atlántico. Las cuencas del Pacífico representan mayores recursos hídricos y cauces principales más largos que aquellos de las cuencas del Atlántico. (ANAM, 2011)

Cuando la precipitación total es mayor que la capacidad de infiltración del suelo, se dice que ocurre precipitación en exceso, la cual condiciona la existencia de tiempos de concentración y pico (t_p y t_c). El cálculo de estos tiempos es de suma importancia para la determinación de los efectos que eventos de lluvia puedan tener sobre las poblaciones y actividades realizadas dentro de una cuenca hidrográfica. Sin embargo, las ecuaciones ampliamente usadas para el cálculo de estos parámetros se obtuvieron para áreas con características diferentes a las existentes en los trópicos. Este trabajo busca ser un primer paso para establecer la variabilidad de resultados de estas ecuaciones, para ayudar a establecer posibles escenarios de monitoreo y respuesta ante eventos de lluvia extremos. Como caso estudio, nos concentramos en la Cuenca del río Pacora, de la vertiente Pacífico del país. Se calcularon tiempos de concentración y pico por tres métodos comúnmente usados (Kirpich, 1940), método del "Curve Number" (Soil Conservation Service, 1964, 1972) y el método de "Johnston and Cross" (1949). A continuación presentamos las principales componentes y antecedentes de los tres métodos empleados para calcular los t_p y t_c en la cuenca del río Pacora. El t_p se define como el tiempo en que se obtiene una respuesta máxima de escorrentía o caudal en el río, mientras que t_c es el tiempo que toma la gota desde el punto más alejado de la cuenca para llegar a la salida de esta.

Fórmula de Kirpich. (1940) Desarrollada inicialmente, para seis cuencas de drenaje de terrenos agrícolas de hasta 80Ha (0.08 Km²). (Ramser, 1927), se emplea comúnmente para cuencas de hasta 26 Km², por lo que debemos tener en cuenta esta limitación en el alcance de los resultados. Este método expresa t_p y t_c como:

$$t_c = 0.00033L^{0.77}S^{-0.385} \quad [1]$$

$$t_p = 0.7t_c \quad [2]$$

Donde t_c y t_p son los tiempos de concentración y pico respectivamente, ambos en minutos (min). L es la longitud máxima del cauce en m (del punto más alejado). y S es la pendiente H/L donde H es la diferencia de elevación entre el punto más remoto de la cuenca y la salida.

Método del SCS. Ecuación del Soil Conservancy Service (SCS) de los Estados Unidos y que es empleada como parte del método CN (Ven Te Chow, 1994), define t_c como:

$$t_c = \frac{100L^{0.80}[(1000/CN)-9]}{1900S^{0.50}} \quad [3]$$

Donde L y S son definidos en la ecuación 1, sólo que L está dado en pies y no en metros. CN es el "Número de curva" y el mismo es función de la retención potencial máxima del suelo, t_c está dado en minutos. En el cálculo de CN se consideran:

A. Grupo hidrológico de suelo (GHS). Indica el potencial de escorrentía de un suelo. Se divide en cuatro grupos identificados con las letras A a D (SCS, 1972), que van desde altas velocidades de infiltración y transmisión de agua (Grupo A), hasta muy bajas velocidades de infiltración y transmisión (Grupo D)

B. Condición de humedad antecedente (CHA). Por lo general se emplea la condición AMCII que corresponde a una condición promedio. Otras condiciones de humedad, se correlacionan a los valores de AMCII de acuerdo a conversiones establecidas. (Ver Drainage Principles and Applications, 1994)

C. Condición hidrológica. Se define como buena o mala de acuerdo al uso de la misma en términos de rotación de cultivos, pastoreo, y arado.

D. Pendiente. Se emplea el criterio de Sprenger (1978) basado cinco categorías (I a V) que van desde superficies planas (S<1%) hasta extremadamente inclinadas (S>20%)

Johnston and Cross (1949). Desarrollada para áreas rurales entre los 65 y 4200 Km², establece valores de t_c dados por:

$$t_c = 300L^{0.5}S^{-0.5} \quad [4]$$

Donde L es el largo de la cuenca en millas, S es la pendiente de la cuenca en pies/millas y t_c está dado en minutos.

Metodología

La cuenca del río Pacora está localizada entre las coordenadas 8° 00' y 8° 20' de latitud norte y 79° 15' y 79° 30' de longitud oeste. Posee un área total de 369 km² (Ver Figura 1) y una longitud de cauce de principal de 47 km. (Ver Tabla 1) Consta con 6 subcuencas: río Indio, Sub cuenca alta, río Tataré, Sub-cuenca media, río Cabobré y Sub-cuenca baja. Las características de estas subcuencas y el uso de suelo de las mismas se presentan en las tablas 1 y 2. Su topografía es variada. En la parte baja existen pendientes suaves que no superan el 8%. En la parte alta, por el contrario, podemos encontrar pendientes de hasta 75%. En la parte media, las pendientes pueden llegar hasta 35% (García y Valdés, 2009)

Tabla 1.- Características de la Cuenca del río Pacora.

Subcuenca	Long. Cauce (Km)	Long Total (Km)	Largo (Km)	Area (Km ²)	Cota Sup (m)	Cota Inf. (m)
Alta	23.00	25.39	16.0	96.8	840	100
Río Indio	8.54	10.66	8.5	30.0	580	100
Media y Baja	21.30	24.90	22.6	102	520	0
Río Cabobre	17.40	19.51	16.8	94.8	860	20

Río Tatare	15.00	18.07	16.0	45.9	520	20
Total ^a	47.00		34	369		

^aLa longitud total se tomó desde el punto más alejado de la subcuenca al cauce principal.

Tabla 2.- Uso de suelo de la Cuenca del Río Pacora en % de área.

Sub cuencas	BI	BM	OU	Ra	Ag	AgSu	VI	Total
Río Indio	18.1	21.8	0.0	14.5	0.0	45.6	0.0	100
Alta	19.4	52.8	0.0	8.6	0.0	19.3	0.0	100
Media y baja ^b	12.8	2.8	0.3	16.8	43.7	22.9	0.7	100
Cabobre	16.1	26.5	0.0	13.2	5.7	38.4	0.0	100
Tatare	28.7	4.8	0.1	10.4	41.8	14.1	0.0	100

BI: Bosque Intervenido, BM: Boque maduro, OU: Otros usos, Ra: Rastrojos, Ag: Agropecuario, AgSu: Agropecuario de Subsistencia, VI: Vegetación Indundable.



Figura 1.- Cuenca del río Pacora. (Tomado del PNSH, 2015-2050).

Resultados

En la tabla 3, se presentan los resultados de t_c y t_p encontrados para las diversas subcuencas bajo estudio, empleando los tres métodos descritos anteriormente.

Tabla 3.- Valores de t_c y t_p utilizando diferentes métodos de cálculo.

Subcuenca	Kirprich		SCS		Johnston/Cross	
	t_c (hr)	t_p (hr)	t_c (hr)	t_p (hr)	t_c (hr)	t_p (hr)
Río Indio	1.3	0.9	5.8	3.5	0.67	0.47
Alta	3.1	2.2	23.9	14.3	1.00	0.70
Media y baja	3.4	2.4	24.2	14.5	1.71	1.20
Río Cabobre	2.1	1.5	12.8	7.7	1.00	0.70
Río Tatare	2.3	1.6	15.8	9.5	1.23	0.86
Pacora (Suma de subcuencas)	6.6	4.6	48.1	28.8	2.7	1.9
Pacora (Todo)	6.6	4.6	50.2	30.0	2.01	1.41

En la tabla 3, se observa que los tres métodos empleados arrojan resultados distintos. En este sentido, Kirprich y Johnstone & Cross, quizás sean los más apropiados para esta cuenca. Kirprich debido a que es comúnmente empleado para cuencas rurales de menor tamaño, y Johnstone & Cross porque es un modelo para cuencas con un rango de área dentro del cual se enmarca Pacora. Para el caso del método del SCS, el mismo es más aplicable para cuencas de hasta 800 Ha (Ven te Chow, 1994), aun cuando tiene la ventaja que en el cálculo del CN se evalúan aspectos generales de topografía, tipo y uso de suelo.

Igualmente, para cada método de cálculo, hay poca diferencia entre los tiempos de concentración y pico empleando la cuenca como un todo o sumando tiempos de la ruta crítica formada por subcuencas. La suma de tiempos en sub cuencas se realizó bajo la lógica de que tanto Kirprich y en mayor grado el método del SCS fueron desarrollados para cuencas pequeñas, de allí que al trabajar con sub-cuencas de podrían obtener resultados más confiables.

Conclusiones

Los modelos empíricos que existen para la estimación del tiempo de concentración y/o pico fueron desarrollados en base a información de cuencas específicas. Por ende, la utilización de un modelo en particular debe hacerse basados en la comparación de estas cuencas con aquellas que deseamos emplear. Se encontró poca diferencia entre tiempos de concentración, si tomamos la cuenca como un todo o como la suma de tiempos de las subcuencas dentro de una ruta crítica de flujo. Hace falta una mayor instrumentación, observación y el desarrollo de experimentos controlados en cuencas de diferente escala, y características para establecer o validar modelos y fórmulas ya existentes. Esto es aún más urgente en Cuencas Tropicales, dado que históricamente éstas han sido menos estudiadas e instrumentadas que aquellas en zonas templadas.

Agradecimientos

A la Secretaria Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación de Panamá (SENACYT) en el marco del proyecto COL07-036 y por el apoyo brindado al autor a través del Sistema Nacional de Investigación (SNI).

Referencias bibliográficas

- ANAM (Autoridad Nacional del Ambiente). 2011. Segunda comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones UdiSecond National Communication before the United Nation Climate Change Framework Convention (UNCCFC), 170 pp. (In Spanish)
- Comité de Alto Nivel de Seguridad Hídrica (2016). Plan Nacional de Seguridad Hídrica (PNSH 2015-2050): Agua para Todos. Panamá, República de Panamá. Noviembre 2016.
- Drainage Principles and Applications (1994). ILRI Publications 16, International Institute for Land Reclamation and Improvement, The Netherlands. P.O. Box 45, 6700 AA Wageningen (<http://www2.alterra.wur.nl/Internet/webdocs/ilri-publicaties/publicaties/Pub162/pub162-h1.0.pdf>)
- Espinosa D, Méndez A, Madrid I, Rivera R. (1997). Assessment of climate change impacts on the water resources of Panama: the case of the La Villa, Chiriquí and Chagres river basins. *Climate Research*. 9: 131-137
- ETESA (Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A.) (2007). "General Climate Description of Panamá". Panamá. http://www.hidromet.com.pa/clima_panamá.php.
- García, Gloria, Valdés, Johana. (2009). Tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica de Panamá, pp. 130.
- Johnstone, D. and W.P. Cross. (1949) Elements of Applied Hydrology, Ronald Press, New York.
- Kirprich, Z.P. (1940) Time of concentration of small agricultural watersheds. *Civil Engineering*, 10, 6, pp. 362.
- Programa Hidrológico Internacional. (2008). Balance Hídrico Superficial de Panamá: Período 1971-2002. PHI-VII/Documento Técnico No. 9. 133.
- Ramser, C.E. (1927) "Run-off from Small Agricultural Areas", *J. Agric. Res.*, vol. 34, pp. 797-823.
- Soil Conservation Service. (1964) National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology. Department of Agriculture, Washington, pp. 450.
- Soil Conservation Service. (1972) National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology. Department of Agriculture, Washington, pp. 762.
- Ven Te Chow, (1994). Hidrología para Ingenieros, McGraw Hill, Inc.