

Modelo abcd – Simulación de caudales mensuales

Juan Cabrera, Civ. Eng.
Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Civil

1. Introducción

Como mencionamos anteriormente, el modelo anual “abcd” utiliza cinco procesos principales que determinan el caudal de un río, y además considera un almacenamiento subterráneo inicial para el período en evaluación. Los abastecimientos subterráneos muestran variaciones importantes en períodos relativamente largos; esto significa que, si se desea hacer uso de este modelo para una escala mensual o estacional debe utilizarse otro proceso mucho más importante para esta escala: la humedad de suelo. De esta manera, el modelo estacional “abcd” considera esta humedad de suelo inicial.

2. Simulación de caudales mensuales

El modelo estacional “abcd” mantiene muchas de las características del modelo anual, como el número de parámetros y los procesos principales que aportan a la formación de caudales; sin embargo, estos parámetros son “estacionales”, es decir, se pueden tener juegos de parámetros para temporadas seca y húmeda, por estaciones, por meses, etc., dependiendo del criterio del modelador.

Al considerar variaciones estacionales, es necesario introducir un nuevo elemento: la humedad de suelo, la cual interviene directamente en los valores de evapotranspiración. Debido a que la humedad de suelo depende de la capacidad de campo del suelo, se tienen dos nuevos parámetros que agregar al modelo: una humedad de suelo inicial y la capacidad de campo (Burlando, 2011).

Respecto a los datos ingreso, el modelo requiere precipitaciones totales mensuales, evaporación total mensual (tanque evaporímetro usualmente) y caudales medios mensuales.

De esta manera, las ecuaciones que resumen este modelo son:

$$\text{Escorrentía superficial} : SR_t = aP_t \quad (1)$$

$$\text{Infiltración} : I_t = (1 - a)P_t \quad (2)$$

Esta infiltración va a incrementar la humedad del suelo, de tal manera que:

$$\text{Humedad de Suelo} : SM_t = SM_{t-1} + I_t \quad (3)$$

Una parte de esta humedad de suelo será evapotranspirada y otra parte será percolada, como veremos más adelante.

La evapotranspiración potencial (PET) se encuentra como un porcentaje de la evaporación potencial (PEV), que es un dato de ingreso:

$$\text{Evapotranspiración Potencial} : PET_t = bPEV_t \quad (4)$$

Para estimar la evapotranspiración actual (AET) se debe tener en cuenta su relación con respecto a la humedad de suelo (ver Figura 1). Esta relación AET vs. SM es directamente proporcional hasta el punto de saturación (SM_{sat}), a partir del cual la evapotranspiración será igual a la PET; asimismo, si la humedad de suelo (SM) es menor que el “punto de marchitez” (WP), la AET se hace constante e igual a 0. Como es poco natural tener una AET=0, para este último caso se asumirá que la AET=SM. De esta manera, la evapotranspiración actual será:

$$\text{Evapotranspiración actual: } \begin{cases} AET_t = PET_t; & \text{si } SM_t \geq SM_{sat} \\ AET_t = \frac{PET_t}{(SM_{sat} - WP)} SM_t; & \text{si } WP < SM_t < SM_{sat} \\ AET_t = SM_t; & \text{si } SM_t \leq WP \end{cases} \quad (5)$$

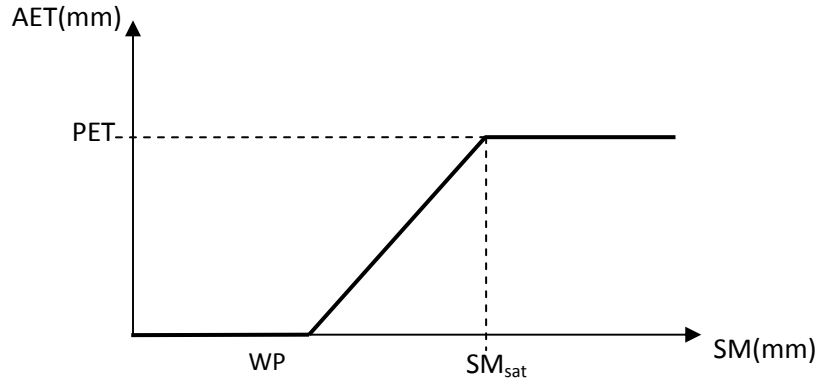


Figura 1 : Relación entre la evapotranspiración actual y la humedad de suelo.
Fuente: Seneviratne, 2011.

Debido a que la AET no puede ser mayor que la PET, y teniendo en cuenta que tampoco puede ser mayor que la SM, podemos establecer que la AET será el mínimo de los tres valores mostrados; es decir:

$$\text{Evapotranspiración actual: } AET_t = \text{minimo}(PET_t; \frac{PET_t}{(SM_{sat} - WP)} SM_t; SM_t) \quad (6)$$

Con el fin de reducir el número de variables, la expresión $(SM_{sat} - WP)$ puede ser escrita como un porcentaje de la capacidad de campo (FC). El parámetro correspondiente al porcentaje de FC es absorbido por el parámetro “b” de la PET y la evapotranspiración actual será:

$$\text{Evapotranspiración actual: } AET_t = \text{minimo}(PET_t; \frac{PET_t}{FC} SM_t; SM_t) \quad (7)$$

Un porcentaje de la humedad de suelo no evapotranspirada $(SM_t - AET_t)$ será percolada. Para que exista percolación profunda, la humedad de suelo remanente debe ser mayor que la capacidad de campo, de lo contrario la percolación será igual a “cero”; de esta manera:

$$\text{Percolación profunda : } DP_t = \text{maximo}(SM_t - AET_t - FC; 0) \quad (8)$$

La humedad de suelo restante $(SM_t - AET_t - DP_t)$ es la humedad inicial del siguiente mes del período en evaluación.

El almacenamiento subterráneo, el flujo subterráneo y el flujo base se calculan de similar forma al modelo anual:

$$\text{Flujo base : } BF_t = cGS_{t-1} \quad (9)$$

$$\text{Flujo subterráneo : } GF_t = dGS_{t-1} \quad (10)$$

$$\text{Almacenamiento subterráneo : } GS_t = (GS_{t-1} - BF_t - GF_t) + DP_t \quad (11)$$

Finalmente, el caudal es estimado como la suma de la escorrentía superficial y el flujo base:

$$Q_t = SR_t + BF_t \quad (12)$$

De esta manera, el modelo cuenta con 4 parámetros estacionales (a, b, c y d) y tres condiciones iniciales: el almacenamiento subterráneo inicial ($GS_{inicial}$), la humedad de suelo inicial ($SM_{inicial}$) y la capacidad de campo (FC).

La Figura 2 resume la estructura y el proceso de cálculo de caudales para este modelo.

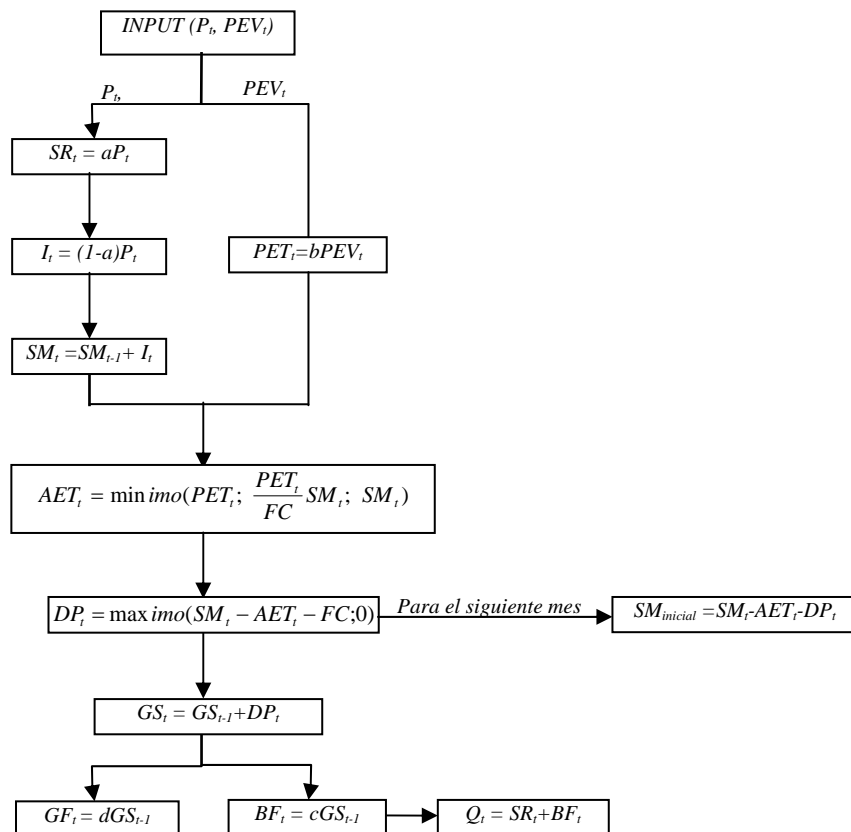


Figura 2 : Estructura del modelo estacional abcd.

Fuente: Autor.

El cálculo de la evapotranspiración actual puede ser también realizado utilizando diferentes ecuaciones e incluyendo (si fuese necesario) un factor de corrección. En este caso, la evaporación potencial no será necesaria como dato de ingreso pero sí la temperatura (dependiendo de la ecuación utilizada), como muestra Cabrera (2011).

3. Ejemplo de aplicación

El modelo fue aplicado a la misma cuenca utilizada en el ejemplo de l modelo anual y para el período 1956-2006. Se usaron series de precipitación total mensual de la cuenca y caudales medios mensuales. Para este ejemplo se utilizaron un parámetro “a” para la temporada húmeda (a_w) y otro para la temporada seca (a_d); los demás parámetros se asumieron constantes para todo el año.

El proceso de calibración se realizó utilizando la herramienta SOLVER de EXCEL. Los parámetros obtenidos son: $a_w = 0.078$; $a_d = 0.077$; $b = 0.173$; $c = 0.027$; $d = 0.044$; $GS_{inicial} = 450$; $SM_{inicial} = 31$; y $FC = 10$. Para evaluar la eficiencia de modelo se evaluaron la suma de errores cuadráticos medios (SUM) y se hizo un balance de masas (MB). El balance de masas mostró un -0.42% de diferencia entre los caudales reales y los modelados. La Figura 2 muestra el gráfico comparativo entre ambas series.

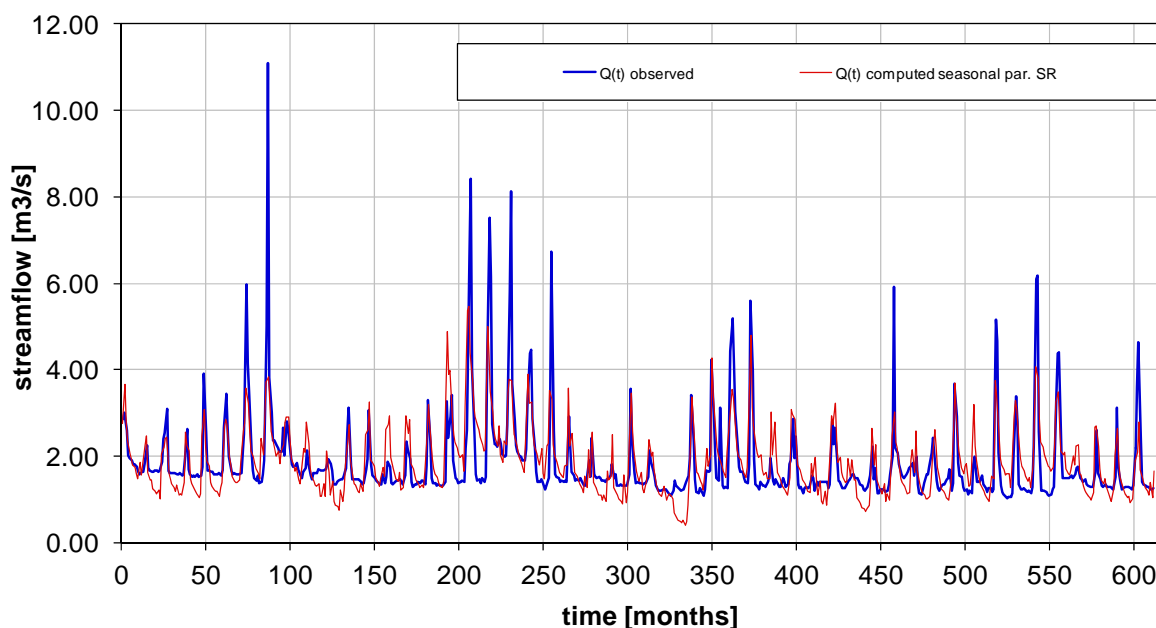


Figura 3 : Comparación entre caudales históricos (QH) y caudales estimados (Q) para la cuenca experimental. Período 1956 – 2006.

Fuente: Autor.

Como puede observarse, el modelo muestra un importante ajuste al flujo base pero una importante deficiencia en la representación de flujos pico. Dependiendo del uso que se le dará al modelo, los parámetros de condiciones iniciales pueden ser ajustados de manera tal que se pueda obtener un mejor ajuste del flujo base (a desmedro de los caudales pico) o de los caudales pico (con mal ajuste del flujo base).

La simplicidad de este modelo permite que sea modificado y adecuado a necesidades de datos de ingreso, de manera tal que puede capturar efectos de otros fenómenos intervinientes como son los efectos del cambio climático (Cabrera, 2011).

4. Referencias

Burlando, P. (2011). "Abc model". Wasserhaushalt, SS 2011. Institute of Environmental Engineering, Chair of Hydrology and Water Resources Management, ETH Zürich. Switzerland.

Cabrera, J. (2011). "Statistical Analysis of Climate Change Effects on Agricultural Drought occurrence: The Case of Candarave Village, Tacna - Peru". Thesis submitted for the degree of Master on Advances Studies in Sustainable Water Resources. ETH Zürich. Switzerland.

Salas, J. D. (2003). "Conceptual Model of a Watershed at Seasonal Time Scales (SEAMOD-03)". Hydrology and Water Resources Program, Dep. of Civil Engineering, Colorado State University. USA.

Seneviratne, S. (2011). "Evapotranspiration". Land – Climate Interaction, SS 2011. Institute for Atmospheric and Climate Science. ETH Zürich. Switzerland.