

# Balance Hídrico Superficial

**Profesor Efraín Domínguez**



Facultad de Estudios Ambientales y Rurales  
Departamento de Ecología y Territorio  
[e-mail:e.dominguez@javeriana.edu.co](mailto:e.dominguez@javeriana.edu.co)  
[www.mathmodelling.org](http://www.mathmodelling.org)

17 de noviembre de 2015



# Contenido

- 1 Oferta Hídrica superficial
- 2 Balance Hídrico Superficial
- 3 Consideraciones sobre la Evaporación

# Oferta Hídrica Superficial

La variable principal que caracteriza la oferta hídrica superficial es el caudal de agua que se registra en las corrientes que surcan determinado territorio. Estos caudales varían segundo a segundo y por ello para entender la oferta hídrica estos deben ser sometidos a un tratamiento estadístico. En primera instancia los registros de información diaria son ponderados anualmente de modo que en cada estación hidrológica se registra el caudal promedio para cada año transcurrido, este volumen de agua anual es el que define la oferta anual total de agua del territorio en estudio, son consideradas sus características estadísticas (valor modal, valor esperado, desviación estándar o su coeficiente de variación, asimetría). Por comodidad de cálculo, la oferta hídrica puede ser tratada en términos de caudales, volúmenes, rendimiento ó lámina de agua.

# Variables de la Oferta Hídrica Superficial I

- 1 **Caudal de Agua** -  $Q[m^3/s]$ : Representa el volumen de agua que escurre en una unidad de tiempo por la sección hidráulica de la estación hidrométrica en la que se miden niveles y caudales;
- 2 **Rendimiento Hídrico** -  $q[m^3/(s.km^2)]$ : Es la cantidad de agua que escurre en la unidad de tiempo por una unidad de área del territorio estudiado;
- 3 **Lámina de agua** -  $Y[mm]$ : Representa la cantidad de agua escurrida por la superficie de una cuenca durante un determinado periodo de tiempo;
- 4 **Volumen de agua**  $V - [km^3]$ : Es la cantidad de agua escurrida durante un periodo de tiempo por la sección hidráulica de la estación hidrométrica.

# Relación Entre Variables de la Oferta

Cuadro 1 : Ecuaciones para la oferta

Variable	$\bar{Q}, [\frac{m^3}{s}]$	$\bar{q}, [\frac{l}{s.km^2}]$	$\bar{Y}, [mm]$	$\bar{V}, [m^3]$
$\bar{Q}$	$\sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{n}$	$\frac{\bar{q}A}{10^3}$	$\frac{YA10^3}{t}$	$\frac{\bar{V}}{t}$
$\bar{q}$	$\frac{10^3 Q}{A}$	$\sum_{i=1}^n \frac{q_i}{n}$	$\frac{10^6 Y}{t}$	$\frac{10^3 \bar{V}}{At}$
$\bar{Y}$	$\frac{\bar{Q}t}{(10^3 A)}$	$\frac{\bar{q}t}{10^6}$	$\sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{n}$	$\frac{\bar{V}}{10^3 A}$
$\bar{V}$	$\bar{Q}t$	$\frac{\bar{q}At}{10^3}$	$10^3 YA$	$\sum_{i=1}^n \frac{V_i}{n}$

# Relación Entre Variables de la Oferta

## Atención

En la tabla anterior  $A$  es el área de la cuenca y debe ir expresada en kilómetros cuadrados,  $t$  es el intervalo de análisis y debe ir en segundos. Finalmente,  $n$  es el número de registros de la variable promediada durante el intervalo de años escogido.

# Modelo Conceptual del Balance Hídrico

El método del balance hídrico refleja la ley de conservación de masa y se basa en la evidente igualdad que existe entre las entradas y salidas de agua que hay en la cuenca hidrológica. De acuerdo con el principio de conservación de masa la suma de las entradas y salidas de agua en un determinado intervalo de tiempo  $\Delta t$  definen la variación en los almacenamientos de agua  $\Delta U$  existentes en la cuenca. De este modo, se puede escribir la siguiente expresión:

$$\sum_t^{t+\Delta t} Entradas - \sum_t^{t+\Delta t} Salidas = 0 \quad (1)$$

# Entradas y Salidas del Balance Hídrico

## Entradas:

- 1 Precipitaciones -  $X$ ;
- 2 Vapor de agua condensado -  $E_1$ ;
- 3 Escorrentía Superficial Entrante -  $Y_{1,sup}$ ;
- 4 Escorrentía Subterránea Entrante -  $Y_{1,sub}$ ;

## Salidas:

- 1 Evaporación desde la superficie de la cuenca -  $E_2$ ;
- 2 Escorrentía Superficial Saliente -  $Y_{2,sup}$ ;
- 3 Escorrentía Subterránea Saliente -  $Y_{2,sub}$ ;



## Ecuación del Balance Hídrico

$$X = (E_2 - E_1) + (Y_{2,sup} - Y_{1,sup}) + (Y_{2,sub} - Y_{1,sub}) + (U_2 - U_1) \quad (2)$$

Cuando se estudia el balance hídrico de la cuenca completa, esta tiene sólo un punto de salida de sus caudales y  $Y_{1,sup} = 0$ . En consecuencia:  $(Y_{2,sup} - Y_{1,sup}) = Y_{2,sup}$  entendiendo  $Y_{2,sup} = Y$  por la porción de escorrentía superficial que escurre hacia afuera de la cuenca por la estación hidrométrica de cierre.

## Balance Hídrico de Largo Plazo

Reemplazando  $(E_2 - E_1) = E$ ,  $(U_2 - U_1) = \Delta U$ ,  $(Y_{2,sub} - Y_{1,sub}) = Y_{sub}$  y sin dejar de lado que cambios en almacenamientos  $\Delta U$  y la escorrentía subterránea  $Y_{sub}$  pueden ser tanto positivos como negativos, la Ecuación (3) se transforma en:

$$X = Y + E \pm \Delta U \pm Y_{sub} \quad (3)$$

La magnitud  $Y_{sub}$ , que refleja el intercambio de agua subterráneo a través de la cuenca subterránea, disminuye al aumentar el tamaño de la cuenca, y en el límite tiende a cero. Por lo anterior, para cuencas grandes se puede despreciar este término de modo que se obtiene:

$$X = Y + E \pm \Delta U \quad (4)$$

## Balance Hídrico de Largo Plazo

La ecuación anterior es la que debe ser aplicada para balances anuales. En el balance hídrico para periodos de tiempo largos y lo suficientemente representativos esta los cambios de almacenamiento  $\Delta U$  dependen de los niveles de humedad de cada año, en los años secos, se gastan las reservas de los almacenamientos de modo que el signo de es negativo, mientras que en los años húmedos estas reservas aumentan y es positivo. Para una serie de varios años, lo suficientemente larga para que incluya rachas pares de años de alta y baja humedad, equilibran los cambios en los almacenamientos de modo que y por lo tanto:

$$\bar{X} = \bar{Y} + \bar{E} \quad (5)$$

## Desde donde evapora

Al definir la evaporación desde la superficie de la cuenca se debe tener en cuenta que el proceso de transición de fase del agua de estado líquido a gaseoso sucede de forma diferente según la superficie desde la que se evapora el agua. Este proceso se puede dar desde suelo desnudo, suelo con vegetación, desde espejos de agua, etc. Cuando existe cobertura vegetal significativa, al proceso de evaporación del agua desde el suelo se le suma la transpiración realizada por la vegetación. En este sentido resulta útil el concepto de evapotranspiración ( $E_T$ ) que combina a los dos procesos mencionados.

# Evaporación Potencial y Real

Otro concepto importante, introducido a la hidrología hace más de 70 años, es el de evaporación potencial y evapotranspiración potencial (*ETP*). Este término representa la evaporación máxima posible desde una superficie, suponiendo que existe una fuente inagotable de agua en ella. A su vez la evapotranspiración real *ETR* es la cantidad de agua que es evaporada en condiciones reales, lo que quiere decir que si el suelo se quedó sin agua para evaporar la evaporación real será igual a la cantidad de agua que ya se evaporó y no a la cantidad de agua que podría ser evaporada si el suelo tuviese un suministro permanente de humedad.

$$ETR \leq ETP \quad (6)$$

# ¿Cómo se establece la Evaporación?

- 1 Evaporación de Tanque;
- 2 Penman;
- 3 Penman - Monteith;
- 4 Thornthwaite;
- 5 Blaney-Criddle;
- 6 Jensen;
- 7 Hargreaves;

## ¿De que depende?

Depende del poder Evaporante de la atmósfera, la cual a su vez depende de:

- Radiación solar;
- Temperatura;
- Humedad, menos humedad, mayor evaporación;
- Presión Atmosférica, a menor presión, mayor evaporación;
- Viento, mas viento, mayor evaporación;
- Humedad del suelo;
- Cobertura vegetal.

# Datos requeridos

Cuadro 2 : Información requerida para *ETP*

Método	Datos Directos	Otros Datos
Thornthwaite	Temperatura	Latitud del lugar para derivar número teórico de horas de sol
Blanney-Criddle	Temperatura	Latitud del lugar para derivar número teórico de horas de sol Coeficiente de Cultivo
Turc	Temperatura Horas Reales de Sol	Radiación Global Incidente por formula (para cálculo mensual)
Penman	Temperatura Horas reales de rol Velocidad del viento Humedad relativa	Otros parámetros por tablas



## ETR Anual por Turc

La evaporación real anual se puede calcular con la fórmula de Turc en función de la precipitación  $X$  y la capacidad evaporativa  $L$ :

$$ETR = \frac{X}{\sqrt{0,9 + \frac{X^2}{L^2}}} \quad (7)$$

Para todo ( $X/L > 0,316$ ) y  $ETR = X$  para todo ( $X/L < 0,316$ )

La capacidad evaporativa  $L$  se define como función de la temperatura  $t$ :

$$L = ETP = 300 + 25t + 0,05t^2 \quad (8)$$

## Oferta Hídrica Superficial

Tomando en cuenta las ecuaciones 5, 7 y 8 se puede aproximar la oferta hídrica superficial como:

$$\bar{Y} = \bar{X} - E\bar{T}R \quad (9)$$

Esta oferta queda definida en mm por año y para convertirla en caudales aplican las ecuaciones del Cuadro 1. Esta ecuación de balance hídrico sólo es válida para largos periodos de tiempo cuyas series de tiempo incluyan un número par de rachas de alta y baja humedad (ver tema: Ciclos Seculares).

# Comparación de métodos de ETR

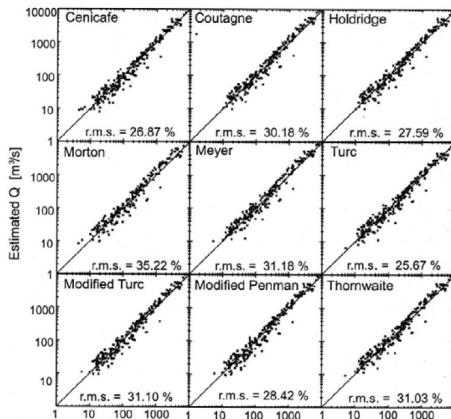


Figura 1 : Comparación de métodos de ETR (Póveda et al, 2007)