

ALGUNAS METODOLOGÍAS PARA CUANTIFICAR LA EVAPOTRANSPIRACIÓN MEDIA MULTIANUAL EN COLOMBIA

Julián David Rojo Hernández. I.C. MSc. Recursos Hidráulicos.

La evapotranspiración es uno de los componentes más importantes del balance hídrico, se define como la suma de la evaporación desde la tierra (superficies de agua, suelo) y la transpiración de las plantas y los seres vivos. En otras palabras, la evapotranspiración representa la cantidad de agua saliente del volumen de control (la cuenca o parcela) hacia la atmósfera en forma de vapor de agua gracias a una combinación de la evaporación física y de la transpiración biológica.

La dinámica de la evapotranspiración está condicionada por tres factores fundamentales: disponibilidad de agua, disponibilidad de energía para el cambio de estado del agua y condiciones aerodinámicas propicias para asimilación y transporte de vapor de agua.

En el largo plazo la disponibilidad de agua en una zona es determinada por la precipitación dicha variable es responsable del suministro de agua a los acuíferos por infiltración manteniendo el flujo base de las corrientes, además el suministro de agua en la zona vadosa va directamente a las plantas, y junto con el agua interceptada por las mismas conforma el volumen disponible para la evapotranspiración.

La radiación neta estimada a partir del balance energético global se ve afectada por factores astronómicos y por condiciones físicas y climáticas. Factores como la nubosidad, la posición geográfica y el albedo de las superficies (asociadas a los usos del suelo) determinan la cantidad de radiación incidente sobre la superficie.

Las condiciones aerodinámicas propicias para la evaporación son influenciadas por la velocidad del viento, la cantidad de vapor de agua en el aire, la resistencia aerodinámica de la superficie y por el tipo y cantidad de vegetación presentes.

Para el cálculo de la Evapotranspiración media multianual existen varios métodos empíricos, la mayoría de ellos basados en fórmulas que han sido obtenidas en condiciones climáticas diferentes a las tropicales. A partir del estudio realizado por Barco y Cuartas (1998) se demostró que los métodos más confiables para estimar la evapotranspiración en Colombia se basan en las ecuaciones propuestas por Cenicafé y Turc. El presente documento tiene por objeto presentar de manera resumida las principales ecuaciones utilizadas para estimar la evapotranspiración de largo plazo en Colombia. Dichas metodologías representan un insumo de gran importancia para el cálculo de la oferta hídrica (caudales medios) en cuencas poco instrumentadas.

Temperatura media Multianual

En Colombia la temperatura superficial del aire está fuertemente condicionada por la altura sobre el nivel del mar. El método de regionalización propuesto por Cenicafé (Chávez y Jaramillo, 1998) es una buena manera de estimar la temperatura media multianual en cualquier lugar del país. Dicha regionalización fue elaborada para las diferentes regiones del país tomando como información básica los registros de temperatura media mensual del aire en superficie de 1002 estaciones. Los resultados obtenidos permitieron obtener las siguientes relaciones:

Región Andina:

$$T_{MEDIA} = 29.42 - 0.0061H$$

Región Atlántica:

$$T_{MEDIA} = 27.72 - 0.0055H$$

Región Oriental (Orinoquía y Amazonía):

$$T_{MEDIA} = 27.37 - 0.0057H$$

Región Pacífica

$$T_{MEDIA} = 27.05 - 0.0057H$$

Donde T_{MEDIA} corresponde a la temperatura media multianual (en °C) y H es la altura sobre el nivel del mar (m). Es de anotar que la dependencia lineal empírica expresada en las relaciones de Cenicafé concuerda con el decrecimiento de la temperatura con la altura sobre el nivel del mar en condiciones adiabáticas (Vélez et al. 2000).

Ecuaciones de evapotranspiración

Cenicafé

Esta metodología permite calcular la evapotranspiración potencial (ETP) de forma sencilla, pues en dicha ecuación la ETP solo depende de la elevación sobre el nivel del mar. La ecuación [1] fue producto de una regresión elaborada por Cenicafé entre los valores de evapotranspiración y la altura sobre el nivel del mar. Las estimaciones de ETP fueron obtenidas al aplicar el método de Penman a los datos de las estaciones climáticas de Colombia (Jaramillo, 1989):

$$ETP = 1017.17 \exp(-0.0002 h) \quad [1]$$

Donde, ETP es la evapotranspiración potencial (mm/año) y h es la elevación (m).

Ecuación de Budyko:

La evapotranspiración potencial se transforma a evapotranspiración real mediante la ecuación de Budyko (Budyko,1974):

$$ETR = \left\{ ETP \cdot P \cdot \tanh\left(\frac{P}{ETP}\right) \left[1 - \cosh\left(\frac{ETP}{P}\right) + \sinh\left(\frac{ETP}{P}\right) \right] \right\}^{1/2} \quad [2]$$

Donde, ETR es la evapotranspiración real [mm/año], ETP es la evapotranspiración potencial (mm/año) y P es la precipitación media en la cuenca (mm/año).

Turc

Su formulación (ecuación [3]) está basada en un balance de masas, en función de elementos meteorológicos simples como la temperatura y la precipitación de la cuenca:

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad [3]$$

Donde, ETR es la evapotranspiración real (mm/año), P es la precipitación media en la cuenca (mm/año) y T la temperatura promedio anual en °C.

Para $P/L > 0,316$, donde L (L es una función que depende de la temperatura) se expresa como:

$$L = 300 + 25T + 0,05T^3 \quad [4]$$

Si $P/L < 0,316$:

$$ETR = P \quad [5]$$

Factor regional

Estima la evapotranspiración real mediante la siguiente ecuación empírica:

$$ETR = \frac{P}{\left(1 + \left(\frac{P}{Rn} \right)^\alpha \right)^{1/\alpha}} \quad [6]$$

Donde, ETR es la evapotranspiración real (mm/año), P es la precipitación media en la cuenca (mm/año), Rn es el equivalente de agua de la radiación neta con $Rn = 1172,69$ en

(mm/año) y α es un parámetro que depende de la escala temporal de estimación de la variable.

El método asume que la evaporación anual no excede los valores correspondientes a P ó R_n y dispone de la relación $\mu = P/R_n$ en el intervalo $0,23 < \mu < 1,97$. Esta metodología propone para cálculo del factor α en la región de trabajo, el valor que minimiza el error medio entre las evaporaciones estimadas y las obtenidas al realizar el balance de largo plazo. En 52 cuencas con áreas entre 25 y 5300 km² con condiciones climáticas diferentes, se encontró un valor de $\alpha = 1,91$ con muy buenos resultados, pero aplicable para zonas con $0,85 < \mu < 6,37$.

Ecuación de Countagne:

Esta ecuación se basa en las condiciones meteorológicas de la cuenca. De una estimación de la evapotranspiración real en función de la precipitación y la temperatura de la forma:

$$ETR = P - \lambda P^2 \quad [7]$$

Donde ETR es la evapotranspiración real en m/año y P es la precipitación en m y

$$\lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14T} \quad [8]$$

Donde T es la temperatura media anual en °C. La ecuación [8] solo es aplicables para valores de P comprendidos entre $(8\lambda)^{-1}$ y $(2\lambda)^{-1}$. Si las precipitaciones son inferiores a $(8\lambda)^{-1}$ entonces: $ETR = P$ ([5]). si $P > (2\lambda)^{-1}$ entonces:

$$ETP = (4\lambda)^{-1} = 0.2 + 0.035T \quad [9] \quad (\text{Remenieras, 1974}).$$

Ecuación de Thornthwaite

La ecuación de Thornthwaite, bastante antigua, se basa en los numerosos experimentos efectuados con los lisímetros y da una estimación de la evapotranspiración potencial en función de la temperatura media mensual de la siguiente manera:

$$ETP = 1.6 \left(10 \frac{T}{I} \right)^a \quad [10]$$

ETP es la evapotranspiración potencial en cm/mes, T es la temperatura media mensual en °C, I es el índice calórico anual dado por:

$$I = 12 \left[\left(\frac{T_{\text{anual}}}{5} \right)^{1.514} \right] \quad [12]$$

a es un exponente dado en función de I cómo se muestra a continuación:

$$a = (675 \times 10^{-9})I^3 - (771 \times 10^{-7})I^2 + (179 \times 10^{-4})I + 0.492 \quad [13]$$

Ecuación de García y López:

Por medio de esta ecuación se calcula la evapotranspiración potencial. Utiliza las correlaciones hechas en seis estaciones netamente tropicales dentro del rango latitudinal 15°N y 15°S y la temperatura y la humedad relativa, obteniendo la ecuación:

$$ETP = 1.21 \times 10^n (1 - H_R) + 0.21T - 2.3 \quad [13]$$

Válido solo para temperaturas mayores o iguales a 10°C. ETP en mm/día y:

$$n = \frac{7.45T}{234.7 + T} \quad [14]$$

Siendo T es la temperatura media del aire en °C, y H_R es la humedad relativa media diaria dada por:

$$H_R = \frac{H_{R8Horas} + H_{R14Horas}}{2} \quad [15]$$

Referencias:

Barco, O.J. y Cuartas, L.A. , (1998). *Estimación de la Evaporación en Colombia*. Trabajo dirigido de grado. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

Budyco, M. J. (1974). *Climate and life*. Academic Press. N.Y., 508 pp.

Chaves, B & Jaramillo, A. (1998). *Regionalización de la temperatura del aire en Colombia*. Cenicafé.

Jaramillo, A. (1989). *Relación entre la evapotranspiración y los elementos climáticos*. (Nota técnica). Cenicafé, Vol. 40, N3.

Remenieras, G. (1974). *Tratado de hidrología aplicada*. Técnicos Asociados S.A. Segunda edición. Barcelona.

Vélez, J. I., G. Poveda, y O. J. Mesa (2000). *Balances Hidrológicos de Colombia*. Serie del Posgrado en Recursos Hidráulicos, No. 16, 150 p.