

¿POR QUÉ, EN UN BALANCE HÍDRICO, RESULTA MÁS ADECUADO UN ENFOQUE CIBERNÉTICO QUE UN ENFOQUE CONVENCIONAL?

Víctor M. Ponce¹, Janaína A. Silva¹ y Jorge Prieto Villarroya²

¹San Diego State University, Estados Unidos de America.

²Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina.

E-mail: poncevm@gmail.com; janainaehd@gmail.com; jorgeprietovillarroya@yahoo.com.ar

Introducción

Una comparación entre el enfoque convencional del balance hídrico y el de humedecimiento de la cuenca de L'vovich, denominado aquí enfoque cibernético, revela diferencias conceptuales fundamentales. El enfoque convencional es más adecuado para la hidrología de eventos, particularmente para aplicaciones relativas a la hidrología de inundaciones e hidrología urbana. Por otro lado, el enfoque cibernético resulta más adecuado para la hidrología de rendimiento, es decir, para determinar la disponibilidad de recursos hídricos sobre una base temporal anual. La metodología presentada se aplica a datos de la cuenca del río Sarada, aguas arriba de Ankapalli, Andhra Pradesh, India. Los datos son analizados utilizando una calculadora en línea.

El balance hídrico cibernético

Sobre una base anual global, toda la precipitación, ya sea (1) regresa a la atmósfera como vaporización V (a través de la evaporación y evapotranspiración), o (2) se escapa de la Tierra como escorrentía R (es decir, flujo de la corriente). El balance de agua convencional separa la precipitación en: (1) pérdidas y (2) escorrentía. Las pérdidas son evaporación, evapotranspiración e infiltración. Sin embargo, la porción de infiltración de las pérdidas puede eventualmente reaparecer como evaporación, evapotranspiración o incluso el componente de flujo de base de la escorrentía; contabilizándose por lo tanto, dos veces en el balance.

L'vovich (1979) resolvió este problema introduciendo el concepto de humedecimiento de cuenca. Separó la precipitación anual en dos componentes (Fig. 1) :

$$P = S + W \quad [1]$$

en el que S = escurrimiento superficial, es decir, la fracción de escurrimiento que se origina en la superficie terrestre, y W = humedecimiento de la cuenca, o simplemente, humedecimiento, la fracción de precipitación que no contribuye a la escorrentía superficial.

A su vez, el humedecimiento se divide en dos componentes:

$$W = U + V \quad [2]$$

en donde U = caudal base, es decir, la fracción de humedecimiento que exfiltra como el flujo de corrientes y ríos en ausencia de lluvia, y V = vaporización, es decir, la fracción de humedecimiento que regresa a la atmósfera como vapor de agua. Obsérvese que el balance hidrológico de L'vovich no toma en cuenta la infiltración profunda, es decir, la porción de humedecimiento que no aparece en las aguas superficiales, estimada, a nivel mundial, en menos del 2% de la precipitación (World Water Balance , 1978).

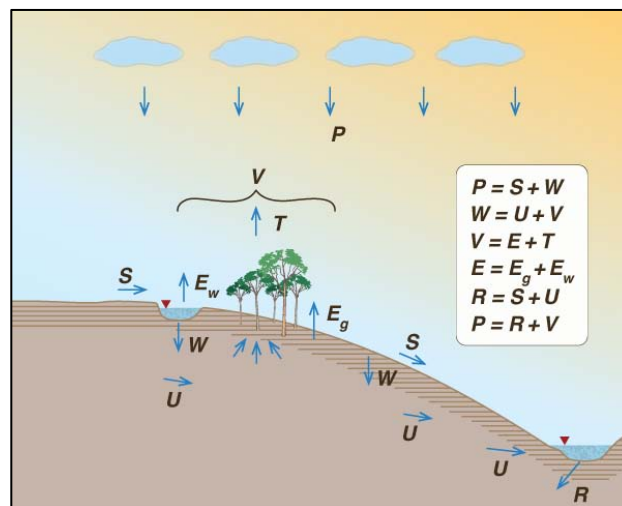


Figura 1.- El balance hídrico de L'vovich.

La vaporización, que comprende toda la humedad devuelta a la atmósfera, tiene dos componentes:

$$V = E + T \quad [3]$$

en la que E = evaporación no productiva, en lo sucesivo denominada "evaporación", y T = evaporación productiva, es decir, la que resulta de la transpiración de la planta, denominada en lo sucesivo "evapotranspiración".

La evapotranspiración T es la evaporación de las superficies con vegetación, como las hojas y otras partes de las plantas, en función de la necesidad fisiológica de las plantas de bombear la humedad del suelo para mantener la turgencia y aprovechar los nutrientes.

La escorrentía (es decir, la escorrentía total) es la suma de la escorrentía superficial y el caudal (o flujo de) base:

$$R = S + U \quad [4]$$

Combinando las Ecs. 1, 2 y 4:

$$P = R + V \quad [5]$$

Las Ecuaciones 1 a 5 constituyen un conjunto de ecuaciones de balance hídrico. Combinando las Ecs. 4 y 5 se obtiene:

$$P = S + U + V \quad [6]$$

La Ecuación 6 separa la precipitación anual en sus tres componentes principales: (1) escorrentía superficial, (2) flujo base y (3) vaporización. La Ecuación 6 supone que el cambio en el almacenamiento de humedad del suelo de un año a otro es insignificante, una suposición que es útil como primera aproximación.

Bajo el balance hídrico de L'vovich, se pueden definir dos coeficientes de balance de agua: (1) coeficiente de escorrentía y (2) coeficiente de flujo de base. El coeficiente de escorrentía es:

$$K_u = \frac{R}{P} = \frac{R}{R+V} \quad [7]$$

El coeficiente de flujo de base es:

$$K_f = \frac{U}{W} = \frac{U}{U+V} \quad [8]$$

Análisis

El balance hídrico convencional es **deductivo** y demostrablemente basado en una premisa de causa-efecto. El enfoque fundamental es substractivo, caracterizado por el enunciado "la escorrentía es igual a la precipitación menos las pérdidas". Este tipo de balance funciona razonablemente bien para aplicaciones en hidrología de eventos (como el método racional de hidrología urbana) pero, debido al doble conteo, su precisión disminuye para la hidrología de rendimiento a más largo plazo.

Por otro lado, el balance hídrico cibernético, Ecs. 1 a 6, es **inductivo**, pues no se basa en la relación causa-efecto sino en la totalidad del sistema. El enfoque fundamental es aditivo, caracterizado por la afirmación "la precipitación es igual a la escorrentía más la vaporización" (Ec. 5). Este enfoque es adecuado para aplicaciones en hidrología de rendimiento, es decir, para determinaciones de coeficientes anuales de flujo de base y escorrentía.

Aplicación del método

El balance hidrológico cibernético es aplicado a los datos de la cuenca del río Sarada, aguas arriba de Anapakalli, en Andhra Pradesh, India (Fig. 2). La cuenca está situada entre los Ghats orientales y la costa oriental de la India, y presenta un clima subhúmedo (Ponce et al., 2000), con un área de drenaje de 1.980 km².

Se analizan once (11) años de datos de precipitación-escorrentía. Los datos de precipitación consisten en hietogramas de lluvia diaria y los datos de escorrentía consisten en el hidrograma medido en la boca, o salida, de la cuenca. Los hietogramas anuales se usan para calcular la precipitación anual P (mm). Cada hidrograma anual se integra para obtener la escorrentía R (mm). La escorrentía superficial S (mm) se obtiene por separación del hidrograma utilizando principios establecidos (Ponce, 2014). La matriz de P-R-S se usa para calcular el balance hídrico, el cual se presenta en la Figura 3.

Resumen

Una comparación entre el enfoque convencional del balance hídrico y el de humedecimiento de la cuenca de L'vovich, denominado aquí enfoque cibernético, revela diferencias conceptuales fundamentales. Se presenta para ello, una aplicación en línea para el cálculo del balance hídrico cibernético (<https://ponce.sdsu.edu/onlinewaterbalance.php>).



Figura 2.- Ubicación geográfica de Anapakalli, en Andhra Pradesh, India.

Año	P	R	S	U	W	V	K _u	K _f
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	943	544.2	505.2	39	437.8	398.8	0.089	0.577
2	1060	456	413	43	647	604	0.066	0.43
3	1312	671.1	564.1	107	747.9	640.9	0.143	0.512
4	824	275.1	243.1	32	580.9	548.9	0.055	0.334
5	953	365.2	346.2	19	606.8	587.8	0.031	0.383
6	1347	510.8	443.8	67	903.2	836.2	0.074	0.379
7	1047	360.1	319.1	41	727.9	686.9	0.056	0.344
8	1379	586.1	530.1	56	848.9	792.9	0.066	0.425
9	856	349.6	324.6	25	531.4	506.4	0.047	0.408
10	1090	470.8	440.8	30	649.2	619.2	0.046	0.432
11	1521	249.2	111.2	138	1409.8	1271.8	0.098	0.164
Promedio	1121.091	439.836	385.564	54.273	735.527	681.255	0.07	0.399

* Nota: Todas las unidades son en mm, excepto las Columnas 8 y 9, que son adimensionales.

Figura 3.- Balance hidrológico cibernético para los datos de la cuenca del río Sarada.

Referencias

L'vovich, M. I. (1979). World water resources and their future. Translation from Russian by Raymond L. Nace, American Geophysical Union.

Ponce, V. M., y A. V. Shetty. (1995). A conceptual model of catchment balance: 2. Application to runoff and baseflow modeling. Journal of Hydrology, 173, 41-50.

Ponce, V. M., R. P. Pandey, y S. Ercan. (2000). Characterization of drought across climatic spectrum. Journal of Hydrologic Engineering, ASCE, Vol. 5, No. 2, April, 222-224.

Ponce, V. M. (2014). Engineering hydrology: Principles and practices. Texto en línea; segunda edición.

World water balance and water resources of the Earth. (1978). USSR Committee for the International Hydrologic Decade, UNESCO, Paris.