

DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA INFORMÁTICA PARA EL USO INTEGRADO Y SOSTENIBLE DEL ALMACENAMIENTO HÍDRICO

Ximena A. Lemaitre R.¹, Germán R. Santos G.², Gerald A. Corzo P.³ y Héctor A. Angarita C.⁴

^{1,2}Escuela Colombiana de Ingeniería - Colombia

³Institute for Water Education - Países Bajos.

⁴TNC – Colombia.

E-mail: ximena.lemaitre@escuelaing.edu.co, german.santos@escuelaing.edu.co,
gerald.corzo@gmail.com, hector.angarita@TNC.ORG

Introducción

En las últimas décadas se ha visto una gran preocupación en mejorar la gestión del agua y la creación de herramientas para la modelación de sistemas hidro-meteorológicos. El problema de gestión del agua involucra a diferentes sectores de una región. En general, un ejemplo puede ser la cantidad de agua disponible para regar los cultivos y suplir de agua potable a una ciudad cuando el río se encuentra en una etapa de sequía (Dominguez Calle, Gonzalo Rivera, Vanegas Sarmiento, & Moreno, 2008). La incertidumbre en la toma de decisiones requiere herramientas que simulen escenarios para mejorar la distribución de los recursos hídricos. La mayoría de los programas computacionales (*software*) de simulación de recursos hídricos comerciales se han desarrollado alrededor de representaciones bastante complejas (Johnson, Williams, & Kirshen, 1995). Esencialmente estos sistemas no permiten fácilmente la optimización basada en múltiples criterios ni la incorporación flexible de la intervención humana en el funcionamiento de los diversos sistemas hídricos. Este estudio presenta el desarrollo de una herramienta y los resultados de la prueba inicial en la cuenca del Río Coello en Colombia. Se analizaron las características actuales de varios programas disponibles en el mercado. Pensando en un aporte significativo en esta área, se desarrolló una nueva biblioteca de scripts en Python, con un desarrollo flexible de escenario. Este sistema se basa en la ecuación de continuidad aplicada al concepto cuenca y su interacción con usuarios del agua. HiWEB (Hydraulic, Water, evaluation and Balance) permitió la comparación de escenarios en los que se priorizaron variables como la cantidad de agua disponible y asignación de la misma a los diferentes usuarios.

Como resultado, esta investigación presenta un sistema en línea novedoso pero simple, que integra la información de las variables sociales e hidrológicas de la cuenca fluvial en un periodo para el apoyo a la toma de decisiones.

Caso de estudio

El río Coello está ubicado al suroeste de la ciudad de Bogotá, atraviesa el departamento de Tolima y desemboca en el río Magdalena. La cuenca de Coello se divide en subcuencas, que son Río Toche, Río Coello, Río Combeina, Ríos Barmelon, Río Cocora y Quebrada Gallego.

El agua en la cuenca de Coello se utiliza principalmente para la demanda de agua industrial, agrícola, ganadera y pública. Ibagué como capital del departamento de Tolima depende de su demanda de agua para uso doméstico e industrial en la cuenca de Coello (IDEAM, 2014).

Para el desarrollo del modelo se utilizaron dos archivos CVS proporcionados por el modelo WEAP de Meiline Sahaan (Sahaan, 2016). Uno de esos archivos CVS tenía series de tiempo diaria de flujo en metro cúbico por segundo y el segundo tenía un requerimiento mensual de agua para riego, ambos archivos pertenecen a la cuenca Coello en Colombia y se obtuvieron de las estaciones meteorológicas de IDEAM.



Figura 1. Ubicación geográfica de la cuenca del río Coello.
Fuente: (Sahaan, 2016).

Metodología

El enfoque que se desarrolló para simular la distribución de agua se basó en los siguientes pasos: 1) Recolección de la información; 2) Simulación de la demanda de agua para consumo; 3) Simulación de la demanda de irrigación; 4) Análisis de cantidad de agua disponible, y 5) Cálculo del balance de masas y la distribución de agua en la cuenca. El desarrollo de la modelación y su relación se muestran en la figura 2.

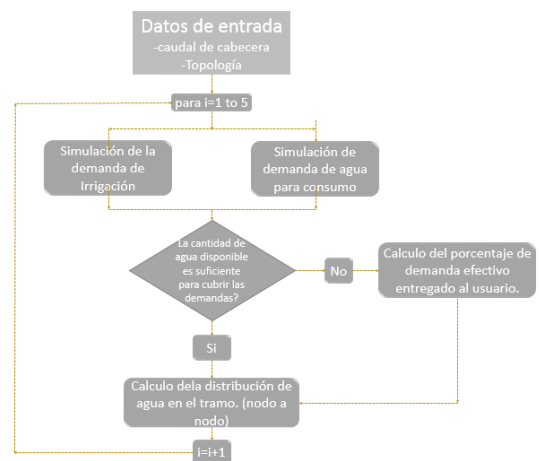


Figura 2. Pasos para el cálculo y desarrollo de la modelación.

Para saber la cantidad de agua que realmente se entregó en cada tramo y antes de calcular la ecuación del balance de masa en el mismo, el programa calcula la demanda, proporcional al volumen disponible de agua efectivamente entregada a cada usuario, este proceso se describirá a continuación:

Paso 1: Verificar si el volumen disponible de agua es suficiente para suplir la demanda en el tramo.

$$\text{if } V_{in}[i] < ReQ[i] \rightarrow UD[i] = ReQ[i] - V_{in}[i] \text{ else } UD[i] = 0 \quad [1]$$

Paso 2: Cálculo de la demanda no entregada para los respectivos nodos.

$$UD_{Irr}[i] = \frac{D_{Irr}[i]}{ReQ[i]} * UD[i] \quad [2]$$

$$UDD[i] = \frac{ReD[i]}{ReQ[i]} * UD[i] \quad [3]$$

Paso 4: Cálculo de la demanda suplida en cada nodo.

$$\begin{aligned} \text{SupplyReQD} &= \text{ReD} - \text{UD} & [4] \\ \text{SupplyReQIrr} &= \text{DIrr} - \text{UDIrr} & [5] \end{aligned}$$

Donde:

V_{in} = Caudal de cabecera (volumen)

$$\text{ReQ} = \sum D_D + D_{Irr}$$

UD = Demanda no suplida

SupplyReQ = Demanda suplida

Irr: Irrigacion

D: Domestico

Una vez que el modelo sabe cuánta agua realmente puede suministrar, se realiza el balance de masas con el cual, se calcula el agua disponible en cada nodo de la siguiente manera:

$$V_{i+1} = V_i - \text{Dirr} - \text{Dp} + \text{FrIrr} + \text{FrP} \quad [6]$$

Cálculo de la demanda doméstica y de riego

$$D_{unid} = Ru * Unidad \quad [1]$$

Donde:

D_{unid} : Irrigation demand or domestic demand [m^3]

Ru : Rate of water use [$\frac{m^3}{Ha}$]

Unidad: Habitantes o Area de irrigacion

Resultados

El modelo de Python se comparó con el modelo WEAP en términos de volumen de agua disponible por debajo del punto de demanda final. De manera similar, se compararon las demandas de oferta y demandas no satisfechas para todos los tramos.

Como se muestra en la figura 3, el comportamiento de los hidrogramas de salida, en el Escenario de Referencia, es similar, ambos tienen el pico en la misma época del año con un error del 0.3% en la cantidad de agua disponible. De manera similar, ambos hidrogramas presentan un comportamiento bimodal durante el año.

Al mismo tiempo, como se puede ver en la figura 4, en el escenario de cambio climático, el comportamiento de los hidrogramas también es similar, pero en este caso, presentan solo un pico durante el año con un error de 0.4% en la cantidad de agua.

De manera similar, cuando se hizo la comparación dentro de uno de los tramos de la cuenca Coello, se obtuvo, para el Escenario de referencia y el Escenario de cambio, un error de 0.17% y 0,6% para el suministro entregado y demanda no satisfecha de empleados domésticos demandas respectivamente y un error de 0,2% y 0.5% para el suministro entregado y demanda no satisfecha para demandas de riego respectivamente.

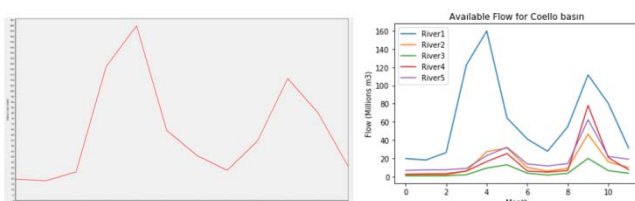


Figura 3. Hidrogramas de salida de la cuenca del río Coello, escenario de referencia. a) Modelo WEAP. b) HiWEB.

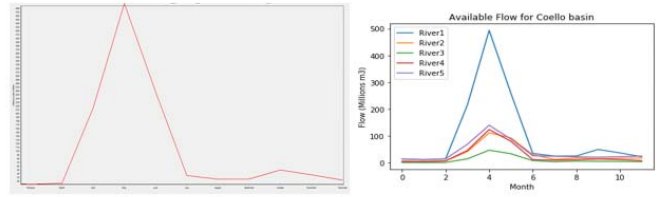


Figura 4. Hidrogramas de salida de la cuenca del río Coello, escenario cambio climático. a) Modelo WEAP. b) HiWEB.

Month	HeadFlowR2	Domestic Demand	Irrigation Demand
0	Jan	12.588	4.717
1	Feb	9.677	4.261
2	Mar	12.053	4.717
3	Apr	44.064	4.565
4	May	114.100	4.717
5	Jun	96.941	4.565
6	Jul	36.158	4.717
7	Ago	19.820	4.717
8	Sep	22.291	4.565
9	Oct	18.481	4.717
10	Nov	20.995	4.565
11	Dic	24.373	4.717

Month	Supply delivered Domestic	Supply delivered Irrigation
0	4.268	8.320
1	3.968	5.709
2	4.717	2.682
3	4.565	0.000
4	4.717	0.000
5	4.565	1.916
6	4.717	3.449
7	4.717	5.365
8	4.565	1.916
9	4.717	1.150
10	4.565	1.916
11	4.717	4.981

Figura 5. Demanda de agua suplida y no suplida en un tramo de la cuenca de prueba del río Coello.

Conclusiones

El software HiWEB actualmente permite calcular hidrogramas de salida en la cuenca estudiada, así como la demanda de aguas suplidas y no suplidas en cada tramo o en la cuenca completa. También es posible determinar los meses críticos de demanda y el comportamiento del flujo a través de la red. Adicionalmente, en su estado actual, el ingreso de los datos de entrada al HiWEB se realiza leyendo datos hidrológicos procesados en archivos CVS; no obstante, se está trabajando en la lectura automática de las variables hidrológicas, así como en la conexión con una base de datos SQL.

Referencias

- Dominguez Calle, E., Gonzalo Rivera, H., Vanegas Sarmiento, R., & Moreno, P. (2008). Relaciones Demanda-Oferta de Agua y el Índice de Escasez de Agua Como Herramienta de Evaluación del Recurso Hídrico Colombiano. *Revista Academica Cientifica Colombiana*, XXXII(June 2008), 19.
- IDEAM. (2014). *Estudio Nacional del Agua. Estudio Nacional del Agua 2014*.
- Johnson, W., Williams, Q., & Kirshen, P. (1995). WEAP: A Comprehensive and Integrated Model of Supply and Demand. *Georgia Water Resources Conference*, 291–293. Retrieved from <http://smartech.gatech.edu/handle/1853/44000>
- Siahaan, M. H. (2016). Development of a Web-based Water Allocation Model: Case Study of Coello Basin, Colombia, (April).