



Brigid Hiomara Pachaco García

Estudiante de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomas,
Seccional Tunja
brigidpachecog@hotmail.com

fuente Fotografía: <http://hemisferiosuruguayana.blogspot.com/2010/03/embate-del-nino-sobre-el-sistema.html>

¿Es Duitama una Ciudad Seca?

RESUMEN

Ante la crisis de agotamiento del recurso hídrico por efecto del cambio climático y los efectos sociales consecuentes por el desabastecimiento de los sistemas urbanos, es necesario establecer procedimientos claros para la interpretación de procesos hidrológicos, con el propósito final de establecer los mecanismos para el manejo sostenible de los recursos hídricos. En esta investigación se describen los resultados del análisis de un modelo de cuenca no lineal, que permite ver, para el caso de estudio, un panorama diferente en términos del uso de las fuentes de aprovechamiento. En este sentido, se destaca que las fuentes de agua subterránea son la única respuesta para atender la demanda de agua de los ciudadanos Duitamenses, sin embargo, persisten varios interrogantes muy importantes: ¿Por cuánto tiempo las fuentes de agua subterránea abastecerán la ciudad de Duitama?, ¿es la calidad del agua subterránea adecuada para el consumo humano? ¿Los costos de operación de pozos de agua subterránea podrán ser manejados efectivamente por la economía local?

ABSTRACT

The crisis of water resource depletion, the effect of climate change and consequent social effects of the shortage of urban systems, it is necessary to establish clear procedures for the interpretation of hydrological processes, with the ultimate aim of establishing mechanisms for sustainable management water resources. In this research, described the results of the analysis of a nonlinear model basin, which lets you view, for the case study, a different picture in terms of the use of sources and uses. In this sense, it underlines that the sources of ground water is the only answer to meet the water demand of citizens Duitamenses, however, there remains several important questions: How long will groundwater sources will supply the city of Duitama?, is the quality of ground water fit for human consumption? Are the costs of operation of groundwater wells can be effectively managed by the local economy?.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el recurso hídrico se ha visto seriamente afectado por la influencia de la mano del hombre en el ecosistema, esto es evidente a simple vista con la innegable variación climática que sufre la tierra, además de la llegada de diferentes fenómenos tipo ENSO, los cuales son capaces de deteriorar el medio ambiente y generar prolongados periodos de escasez de agua, que en un futuro pueden llegar a agotar el recurso hídrico. Por ésta razón, el hombre se ve en la obligación de emplear métodos que obedezcan a las características físicas de la naturaleza, y den solución así al problema de desabastecimiento de agua. Si bien es claro que la acción del hombre en el mundo es la culpable del cambio que sufre la tierra, se debe resaltar la preocupación que éste ha adquirido con el tiempo, por implementar planes de acción que contribuyan al mejoramiento del ecosistema, a través de organizaciones destinadas al estudio del medio ambiente.

Según la OMM “Organización Meteorológica Mundial”, el problema de cambio climático por el cual atraviesa el mundo trae como consecuencias tormentas frecuentes e intensas, inundaciones y sequías de larga duración, y presencia de erosión en la tierra; además de los daños que se ocasionan al ecosistema, se puede ver muy afectada la salud pública, por la vulnerabilidad de las comunidades a los desastres naturales de todo tipo. Teniendo conocimiento de las secuelas que puede dejar el cambio climático en el mundo, se han venido convocando una serie de eventos cuyo propósito es tomar medidas preventivas y en última instancia dar solución al problema que aqueja a la humanidad. Entre tanto, el IDEAM “Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales”, presenta algunos impactos proyectados del cambio climático como: un aumento en el calentamiento global de cerca de 0,2°C, y un aumento en el promedio de la temperatura superficial global en un rango entre 2°C y 4,5 °C, se afirma que el hombre será el único responsable de tales efectos. A nivel local se encuentra una entidad pública nacional llamada CORPOBOYACÁ cuyo fin es administrar los recursos naturales y proteger el ambiente mediante procesos de planificación; ésta entidad realizó un estudio en compañía de un grupo de ingenieros de la Universidad Santo Tomás, seccional Tunja, que afirma que actualmente existe una gran cantidad de agua subterránea en el municipio de Duitama, estudio que fue publicado por el periódico BOYACA 7 DÍAS (2010) pag.18, en su publicación del 25 de Junio de 2010.

Gracias a las investigaciones realizadas por éstas y otras organizaciones, es posible ejecutar estudios, que implementan modelos matemáticos cuyo fin es acercarse lo más posible a la realidad, generando

planes de acción para conservar el agua en las cuencas Colombianas.

Éste estudio busca mostrar, de manera empírica, la estructura de un modelo empleado para la calibración de una cuenca aledaña al municipio de Duitama, llamada Cuenca del Río Surba; teniendo en cuenta que este enfoque no es tan extenso, simplemente se da a conocer la complejidad para la calibración del mismo. Aquí es clara la sensibilidad de los caudales en la medida de los cambios climáticos. El objetivo final es poder comprender los procesos físicos que dominan la sensibilidad de los caudales con el clima; se pretende dar respuesta a ciertos interrogantes que cuestionan la importancia del agua subterránea en el caso de estudio (Duitama – Boyacá).

II. MODELO DE CUENCA DE THOMAS

El modelo de cuenca de Thomas [2] yace como una necesidad para modelar cuencas donde no hay información disponible de caudales, razón por la cual, no se podrían calibrar y analizar eventos hidrológicos en estas locaciones. A través del presente estudio se caracterizará una cuenca piloto con información climatológica disponible, que permita la estimación de los parámetros del modelo y las características hidrogeológicas de la región de estudio. El modelo “abcd” es un modelo de cuenca no lineal, el cual acepta la precipitación y la evapotranspiración potencial como entradas de modelo, produciendo la magnitud del flujo en la corriente hídrica de estudio. Internamente el modelo también representa la humedad almacenada en el suelo, el almacenamiento subterráneo, la escorrentía superficial, las descargas de flujo procedente de acuíferos a las corrientes y la evapotranspiración actual. Este modelo originalmente introducido por Thomas (1981) y Thomas et al. (1983), es una adecuada estructura matemática que permite evaluar el rendimiento regional del recurso hídrico empleando una escala temporal anual. Este modelo ha sido sometido a diversas comparaciones con modelo mensuales de balance hídrico, llevando los resultados a distinguirse por su estructura no lineal de respuesta hidrológica. El modelo “abcd” define dos variables de estado: W_t , denominado “Agua Disponible” y Y_t , denominado “Oportunidad de Evapotranspiración”. El agua disponible se define como: t

$$W_t = P_t + S_{t-1} \quad (1)$$

Donde P_t es la precipitación durante el periodo t y S_{t-1} es la humedad almacenada del suelo al principio del periodo t . La oportunidad de evapo-

transpiración es el agua que eventualmente abandona la cuenca en forma de evapotranspiración y es definida como:

$$Y_t = E_t + S_t \quad (2)$$

Donde E_t representa la evapotranspiración actual durante el periodo t y S_t representa la humedad almacenada del suelo al final del periodo t . La oportunidad de evapotranspiración, Y_t , es postulada como una función no lineal del agua disponible W_t , utilizando la siguiente ecuación:

$$Y_t = \frac{W_t + b}{2a} - \sqrt{\left(\frac{W_t + b}{2a}\right)^2 - \frac{W_t \cdot b}{a}} \quad (3)$$

Esta función simplemente asegura que:

$$Y_t \leq W_t, \quad \frac{dW_t}{dY_t} = 1, \quad \frac{dW_t}{dY_t} = 1 \quad (4)$$

De hecho, el límite superior de W_t es el parámetro b . Thomas et al. (1983) hace notar que a pesar de estas propiedades, la función $Y(W)$ no tiene particular significancia. La distribución del agua disponible, Y_t , entre E_t y S_t se obtiene asumiendo que la tasa de pérdida de humedad del suelo por evapotranspiración (PE) es proporcional a la humedad almacenada del suelo, tal que:

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{PE \cdot S}{b} \quad (5)$$

Resolviendo la ecuación diferencial y asumiendo que $S_{t-1} = Y_t$ se obtiene que:

$$S_t = Y_t \cdot \exp\left(-\frac{PE_t}{b}\right) \quad (6)$$

La diferencia entre agua disponible y la oportunidad de evapotranspiración, $W_t - Y_t$, es la suma de la recarga de agua subterránea y la escorrentía directa. El parámetro c distribuye la cantidad $W_t - Y_t$ entre recarga de agua subterránea $c(W_t - Y_t)$ y la escorrentía superficial directa $(1 - c)(W_t - Y_t)$. Finalmente, la descarga de agua subterránea a la corriente principal de flujo es modelada como dG_t , donde d es el cuarto parámetro del modelo y G_t es el almacenamiento de agua subterránea al final del periodo t .

El agua subterránea almacenada es modelada empleando la ecuación de continuidad, de tal forma que el agua subterránea almacenada al final de periodo t es igual al almacenamiento previo, más la

recarga de agua subterránea, menos la descarga de agua subterránea, resultando:

$$G_t = G_{t-1} + c \cdot (W_t - Y_t) - dG_t \quad (7)$$

Finalmente, la escorrentía total Q_t es la suma de la escorrentía superficial directa y la descarga de agua subterránea hacia la corriente de flujo, de modo que:

$$Q_t = (1 - c) \cdot (W_t - Y_t) + dG_t + \varepsilon_t \quad (8)$$

Donde ε_t representa el error del modelo en el mes t .

III. CUENCA DEL RÍO SURBA

A. ASPECTOS FÍSICOS

El caso de estudio "cuenca del río Surba" (ver Figura 1) se encuentra situada en la provincia de Tundama al noroeste del municipio de Duitama, con un área superficial de 41,01 km²; se encuentra sobre un terreno montañoso, donde sus pendientes oscilan entre el 20% y el 50%. En el nacimiento de la cuenca la altitud es de 3.800 m.s.n.m y en el sitio de interés (donde se localiza la estación hidrométrica) la altitud es de 2.700 m.s.n.m. La cuenca del río Surba presenta 2 microclimas, la primera se localiza por encima de los 3.200 m.s.n.m donde la temperatura promedio es de 6°C, y la segunda, en dos sectores localizados a 2.600 m.s.n.m y 3. 200m.s.n.m, los cuales presentan una temperatura promedio de



14°C. Es de gran importancia destacar que el río Surba es uno de los principales afluentes del municipio de Duitama.

B. ASPECTOS SOCIALES

La región donde se localiza la cuenca del río Surba es famosa por los huertos frutales de manzana, peras, duraznos, curubas, y ciruelas. En éstas tierras también se cosechan: papa, trigo, maíz, frijoles, cebada y hortalizas. La cabecera de la provincia del Tundama, Duitama, es reconocida por sus talleres artesanales que producen desde finas y elaboradas cestas, pasando por los pañolones de macramé, hasta mobiliario de estilo rústico colonial. El empuje de sus industrias ha hecho de esta ciudad una de las más importantes en la construcción y ensamble de carrocerías, siendo reconocidas y premiadas en el ámbito nacional e internacional por su excelente calidad. El sector comercial forma parte importante para el abastecimiento de la región, teniendo la más alta productividad por personas ocupadas. Las industrias dedicadas a la laminación reportan un índice significativo de lesiones por accidentes de trabajo; circunstancias que junto con la alta accidentalidad en las carreteras, incide notoriamente en los determinantes de salud. Un factor importante de la economía local es el transporte. El municipio de Duitama es punto convergente de las vías de comunicación con diferentes poblaciones del departamento y fuera de él; es centro y despegue de las diversas carreteras del oriente colombiano. El parque automotor que posee la ciudad se cataloga como el mejor del departamento y es uno de los primeros en el ámbito nacional.

C. INFORMACIÓN HIDROCLIMATOLÓGICA DISPONIBLE DE LA ZONA DE ESTUDIO

La cuenca de estudio cuenta con información pluviométrica de la estación climatológica ordinaria denominada Andalucía (2403535) y con información hidrométrica de la estación limnimétrica denominada Las Vegas (2403710). La información pluviométrica disponible se encuentra limitada, especialmente, por la discontinuidad en la operación de la estación, muestra vacíos entre días, meses o años a lo largo del periodo de operación. Para una mejor calidad en los reportes de modelación, que a continuación se presentarán, se adoptó un periodo de estudio de 9 años (1997 – 2005) dentro de la región temporal de operación de las estaciones.

D. DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

A partir de las series históricas de valores totales diarios de precipitación, correspondientes al perio-

do de estudio, se puede inferir, a partir de los datos, un régimen de lluvias que oscila en un rango medio mensual de 106 mm para los registros de la estación Andalucía (2403535). En las series de valores medios diarios de caudal (ver Figura 3 a Figura 10), en los cuales se distingue un régimen periódico característico de esta variable física. El caudal medio observado en la estación Las Vegas es de 0,60 m³/s. Dadas estas características estadísticas, la cuenca del río Surba preserva un rendimiento hídrico de 14,71 l/s-Km².

E. REGISTROS DE VARIACIÓN CLIMÁTICA



Figura 2. Fotografías parte alta de la Cuenca del río Surba a 3750 m.s.n.m.

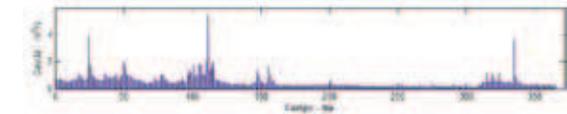


Figura 3. Valores medios diarios de caudal – Estación Las Vegas (2403710) – 1997

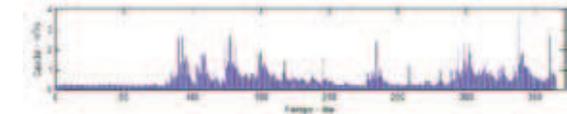


Figura 4. Valores medios diarios de caudal – Estación Las Vegas (2403710) – 1998

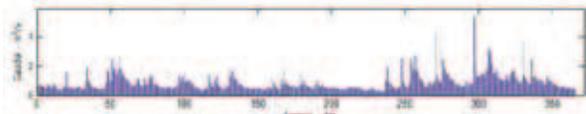


Figura 5. Valores medios diarios de caudal – Estación Las Vegas (2403710) – 1999

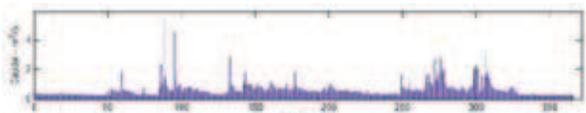


Figura 6. Valores medios diarios de caudal – Estación Las Vegas (2403710) – 2000

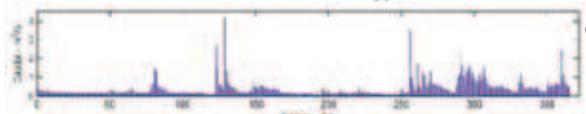


Figura 7. Valores medios diarios de caudal – Estación Las Vegas (2403710) – 2001

Los registros de precipitación preservan una frecuencia dominante de 0.005 día⁻¹, o bien, una periodicidad de 200 días, correspondiente al lapso promedio de tiempo entre los dos periodos húmedos (e.g. ver Figura 43). De igual forma, los registros medios diarios de caudal mantienen la misma periodicidad, sin embargo, en los espectros se detecta

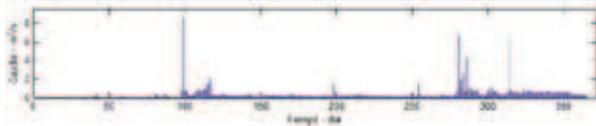


Figura 8. Valores medios diarios de caudal – Estación Las Vegas (2403710) – 2003

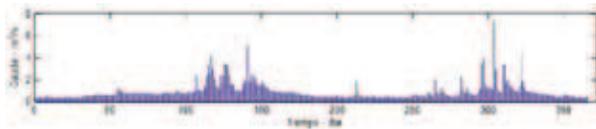


Figura 9. Valores medios diarios de caudal – Estación Las Vegas (2403710) – 2004

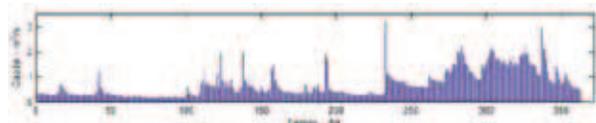


Figura 10. Valores medios diarios de caudal – Estación Las Vegas (2403710) – 2005

la periodicidad anual del proceso físico y una periodicidad de 0.00055 día⁻¹, lo que corresponde a una periodicidad de 5 años. Este último valor identifica, posiblemente, la periodicidad de un evento climático tipo ENSO.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la calibración dependen totalmente de la forma en que sea aplicado el modelo seleccionado; en este caso para el empleo del modelo de Thomas, fue de gran importancia hacer un reconocimiento del área de estudio, de tal forma que se conocieran las características físicas de la cuenca y se facilitara la estimación de los parámetros fundamentales del modelo. Según las visitas realizadas a la zona de estudio, se logró tener una clara idea de las características físicas de la cuenca, las cuales permitieron estimar con mayor facilidad cada uno de los parámetros.

De acuerdo con lo indicado, el modelo de Thomas tiene cuatro parámetros intrínsecos que componen la estructura del modelo y que a su vez se relacionan con una interpretación física de la cuenca. El parámetro “a”, el cual varía entre 0 y 1, se define como la tendencia de la cuenca a generar flujo por escorrentía, dada la estructura aluvial que conforma la cuenca y la predominancia de suelos arcillosos, se adopta un rango de búsqueda para este parámetro entre 0.9 y 1.0

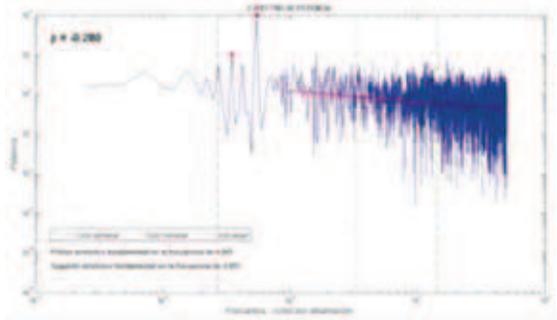


Figura 11. Espectro de frecuencia de los valores totales diarios de precipitación de la estación (CO) Andalucía.

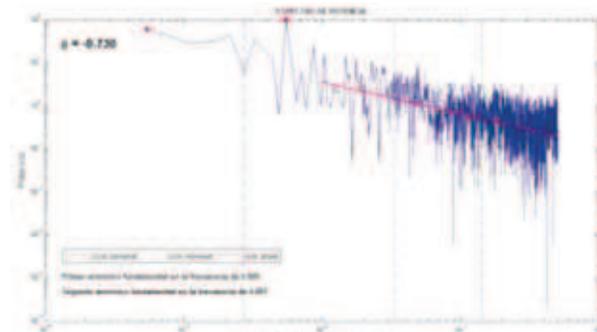
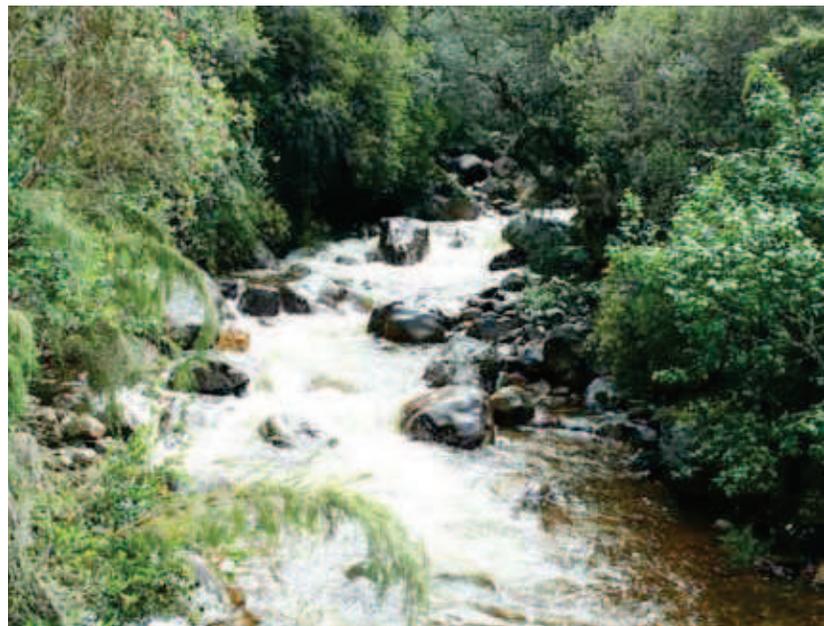


Figura 12. Espectro de frecuencia de los valores totales diarios de caudal de la estación (LM) Las Vegas.

considerando que la cuenca es susceptible a la escorrentía superficial directa. El parámetro “b” es el límite superior en la suma de la evapotranspiración real, de la cantidad de agua evaporada, más aquella que reside en el suelo, y en consideración a que los valores de evaporación registrados en la estación CO Andalucía, son semejantes en magnitud a los valores totales mensuales de precipitación, se asume que el agua precipitable de la cuenca del río Surba es la resultante del vapor de agua producto de la evaporación, la cual se convierte en precipitación mediante un proceso orográfico local. Por esto, se adopta un rango de búsqueda del parámetro “b” entre los 90 mm y 200 mm, valor semejante al rango de observación de la precipitación.



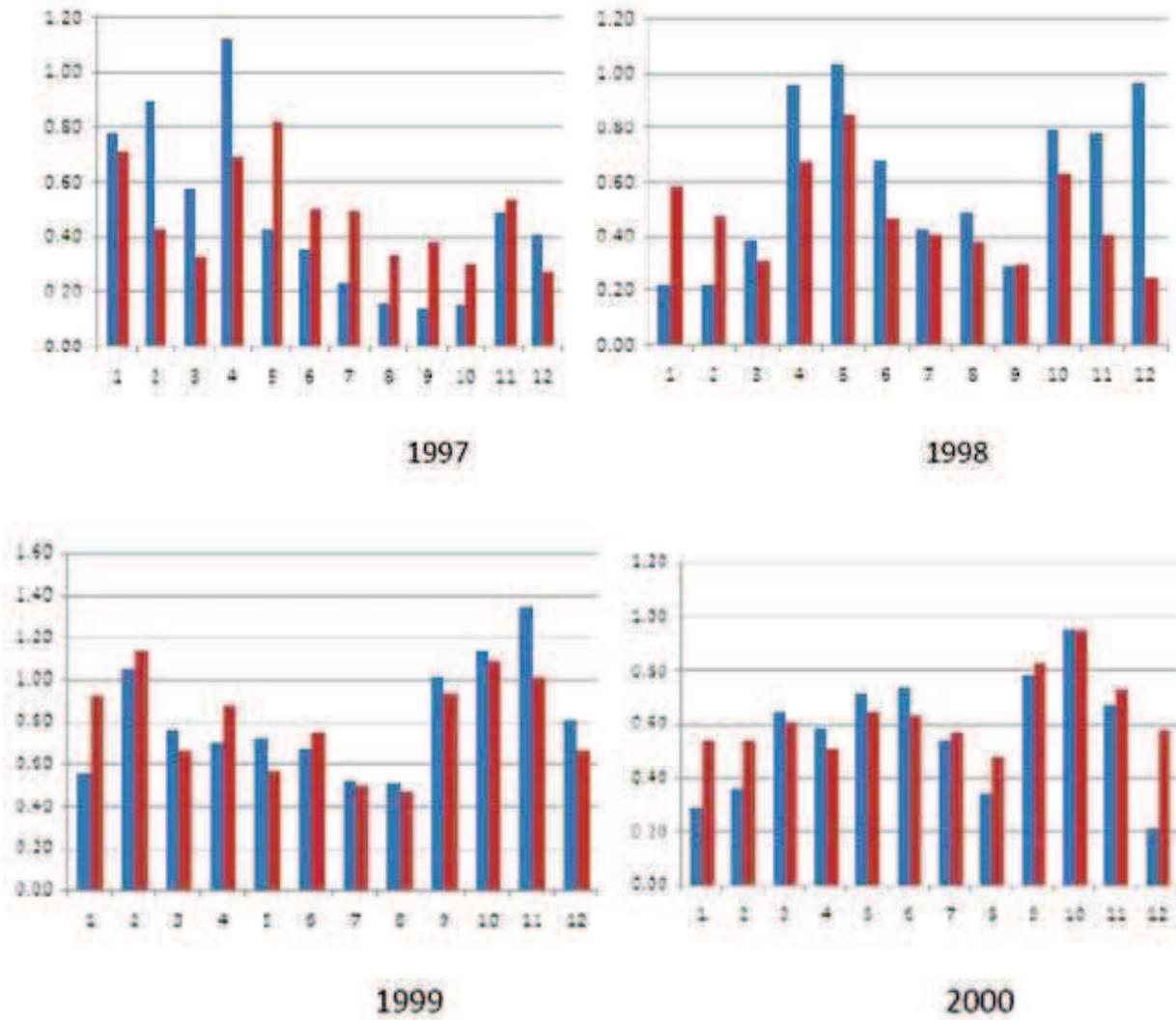
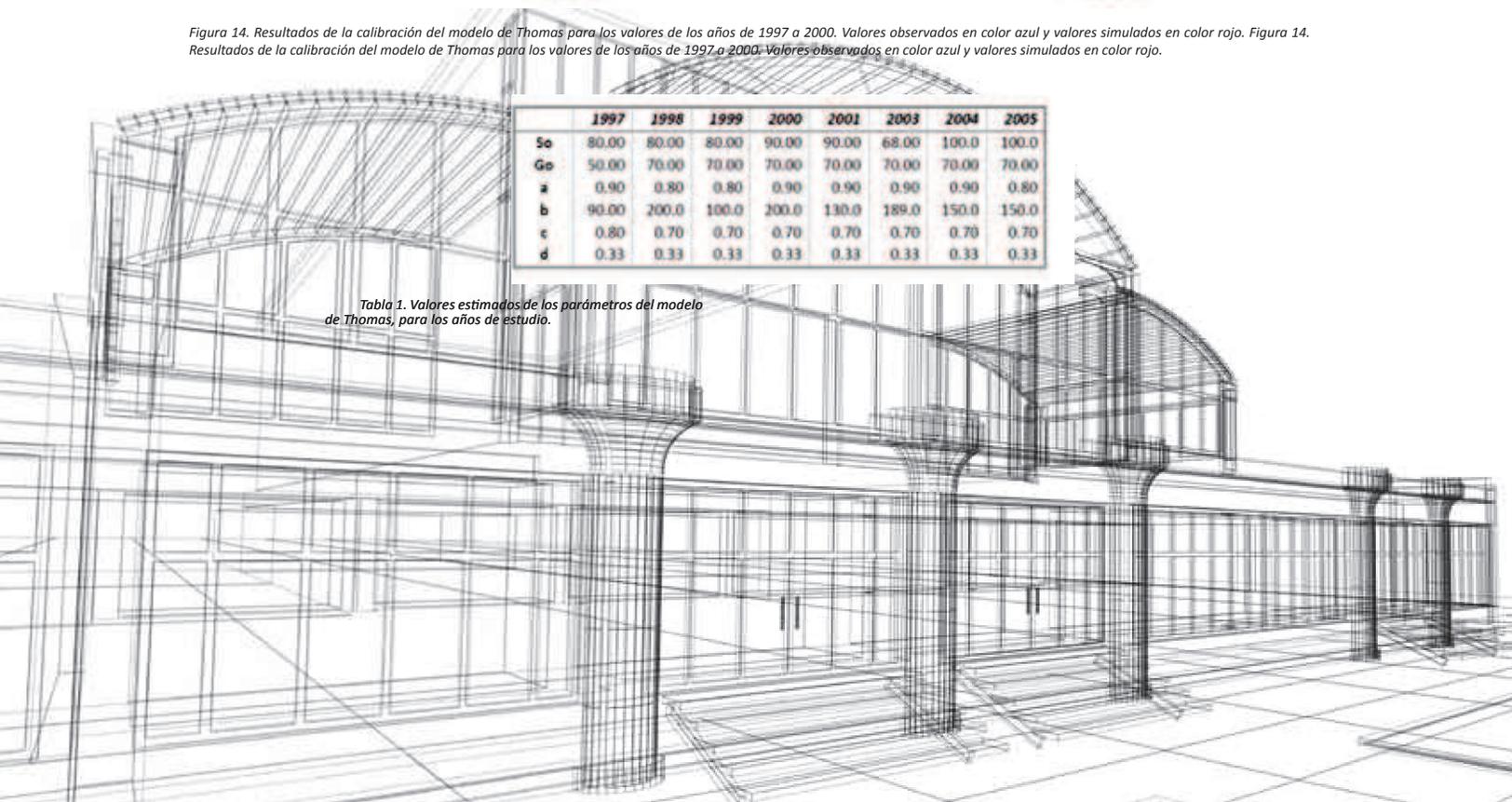


Figura 14. Resultados de la calibración del modelo de Thomas para los valores de los años de 1997 a 2000. Valores observados en color azul y valores simulados en color rojo. Figura 14. Resultados de la calibración del modelo de Thomas para los valores de los años de 1997 a 2000. Valores observados en color azul y valores simulados en color rojo.

	1997	1998	1999	2000	2001	2003	2004	2005
So	80.00	80.00	80.00	90.00	90.00	68.00	100.0	100.0
Ge	50.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00
a	0.90	0.80	0.80	0.90	0.90	0.90	0.90	0.80
b	90.00	200.0	100.0	200.0	130.0	189.0	150.0	150.0
c	0.80	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
d	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33

Tabla 1. Valores estimados de los parámetros del modelo de Thomas, para los años de estudio.



	2001		2003		2004		2005	
	Sim.	Obs.	Sim.	Obs.	Sim.	Obs.	Sim.	Obs.
Enero	0.39	0.20	0.34	0.04	0.67	0.29	0.46	0.32
Febrero	0.25	0.16	0.44	0.07	0.45	0.58	0.28	0.33
Marzo	0.34	0.35	0.28	0.11	0.42	0.63	0.21	0.18
Abril	0.19	0.13	0.35	0.86	1.01	1.22	0.60	0.42
Mayo	0.41	0.63	0.25	0.24	1.82	1.90	0.56	0.73
Junio	0.20	0.25	0.25	0.21	0.98	0.73	0.33	0.51
Julio	0.18	0.12	0.20	0.21	0.88	0.43	0.27	0.51
Agosto	0.13	0.13	0.16	0.19	0.72	0.35	0.26	0.54
Septiembre	0.51	0.59	0.20	0.21	0.89	0.55	0.19	0.73
Octubre	0.52	0.79	0.95	1.02	1.14	1.30	0.66	1.42
Noviembre	0.27	0.53	0.40	0.82	1.13	1.25	0.38	1.71
Diciembre	0.35	0.55	0.31	0.54	0.80	0.42	0.30	1.04
Coef. Correlación	0.81		0.65		0.84		0.31	

Tabla 2. Comparación de valores observados y simulados para los valores de los años de 1997 a 2000.

	1997		1998		1999		2000	
	Sim.	Obs.	Sim.	Obs.	Sim.	Obs.	Sim.	Obs.
Enero	0.71	0.78	0.59	0.22	0.92	0.55	0.54	0.28
Febrero	0.43	0.89	0.48	0.22	1.14	1.06	0.54	0.36
Marzo	0.33	0.58	0.31	0.39	0.66	0.76	0.60	0.65
Abril	0.69	1.13	0.68	0.96	0.87	0.70	0.51	0.58
Mayo	0.82	0.43	0.85	1.04	0.56	0.72	0.65	0.72
Junio	0.50	0.35	0.47	0.68	0.75	0.67	0.63	0.74
Julio	0.50	0.23	0.41	0.43	0.50	0.52	0.57	0.54
Agosto	0.33	0.15	0.38	0.49	0.47	0.51	0.48	0.34
Septiembre	0.39	0.13	0.30	0.29	0.93	1.01	0.83	0.79
Octubre	0.30	0.15	0.64	0.80	1.08	1.14	0.95	0.96
Noviembre	0.54	0.49	0.41	0.79	1.01	1.35	0.73	0.67
Diciembre	0.28	0.41	0.26	0.97	0.66	0.81	0.58	0.21
Coef. Correlación	0.48		0.41		0.75		0.80	

Tabla 3. Comparación de valores observados y simulados para los valores de los años de 2001 a 2004.



Fuente: Fotográfica: <http://www.yanagorsur.com/index.php?m=let&qt=1&item=115>

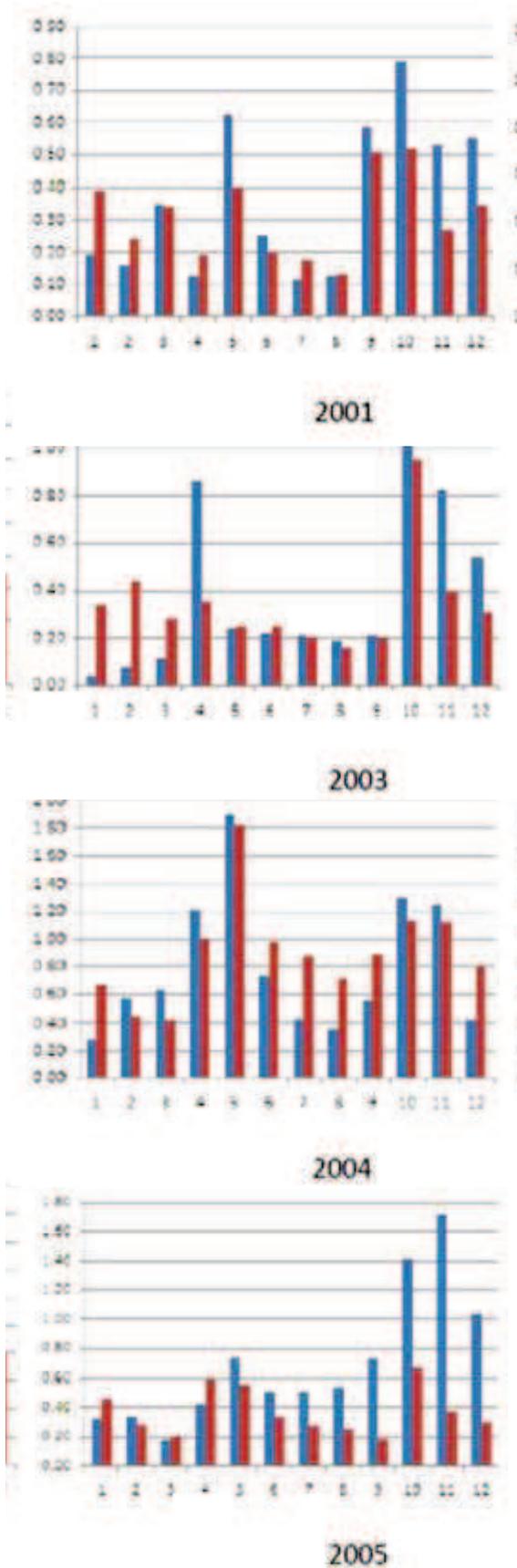


Figura 15. Resultados de la calibración del modelo de Thomas para los valores de los años de 2001 a 2005. Valores observados en color azul y valores simulados en color rojo.

En el modelo se observa también un parámetro “c”, el cual varía entre 0 y 1, es igual a la fracción de caudal que se deriva por aportes de agua subterránea. Cuando se realizó la visita de campo, la cuenca atravesaba un marcado periodo de sequía, sin embargo, se observa una moderada cantidad de flujo por escorrentía; de esto se puede deducir que la mayor parte del flujo procede de la descarga del acuífero hacia la corriente principal; según ésta apreciación se infiere un valor del parámetro “c” en el rango entre 0.7 y 0.8.

A lo largo del reconocimiento de la zona de estudio, se observaron ciertas zonas de descarga identificadas por la variación en la cantidad del flujo en ciertos puntos del río, aguas debajo de la cuenca. Para el estimado del parámetro “d”, se asume un tiempo de residencia del agua subterránea en la cuenca de 3 meses basados en la descripción morfométrica de la cuenca y la distribución de los datos; éste parámetro se estima en 0.33. Los parámetros en mención fueron estimados mediante un proceso de calibración manual, la cual requirió gran perspicacia en la estimación de los valores de cada uno de los parámetros, es presentada en la Tabla 1. Los resultados obtenidos de estos parámetros son presentados en la Tabla 2. y en la Tabla 3. Según los resultados se muestran dificultades para ajustar el mo-



Fuente Fotográfica: <http://whitto://spanish.alibaba.com/products/hot-rolled-steel-h-beam-240151169.html>

delo, sin embargo, se alcanzan los mejores estimativos para el año 2004; en este año se asumió que el almacenamiento del agua subterránea al inicio del año es de 100 mm, además el flujo de agua subterránea se estima en un 70% del valor que se logra almacenar en los acuíferos. La variación de los parámetros no es muy amplia, lo que podría señalar que los procesos hidrológicos que aquí se desarrollan son recurrentes.

CONCLUSIONES

Para la calibración de una cuenca con información escasa, se requiere de una gran interpretación de los parámetros del modelo basados en los procesos físicos que se llevan a cabo en la zona de estudio. El modelo empleado para esta calibración sólo nos da una pequeña visión del modo en que se calibra una cuenca hidrográfica, arrojando así, datos estimativos que se relacionan con la presencia de agua subterránea en la zona de estudio. De esta manera se obtuvo un promedio para los parámetros del modelo de: 0.86 para la tendencia de la cuenca a generar flujo por escorrentía, 151.12 mm para la cantidad de agua evaporada más aquella que reside en el suelo, 0.71 para la fracción de caudal que se deriva por aportes de agua subterránea, y finalmente, para el valor recíproco del tiempo de residencia del agua subterránea en la cuenca se estima un periodo de 3 meses; por otra parte, se calculó una humedad almacenada del suelo de 86 mm para el periodo de estudio de ocho años y un promedio de almacenamiento de agua subterránea de 67.5 mm.

Gracias a los resultados obtenidos mediante la calibración y comparándolos entre sí con cada periodo de estudio, es posible deducir que efectivamente hay presencia de agua subterránea en la cuenca, tal vez a futuro pueda ser utilizada para abastecer al municipio de Duitama, ¿Por cuánto tiempo? es incierto; pero si fuera necesario utilizar este recurso, sería conveniente realizar los estudios pertinentes para conocer las características del agua, y así determinar si es apta o no para el consumo humano

REFERENCIAS

1. A. Sankarasubramanian and Richard M. Vogel. Climate elasticity of streamflow in the United States. *Water Resources Research*, Vol. 37, No. 6, p. 1771 – 1781, Jun. 2001
2. H. A. Thomas. Improved Methods for National Water Assessment. Report, Contract WR 15249270, US Water Resources Council, Washington D.C. USA. 1981
3. H. A. Thomas, C. M. Marin, M.J. Brown and M. B. Fiering. Methodology for Water Resources Assessment. Report NTIS 84-124163, US Geological Survey, National. Springfield, Virginia, USA. 1983
4. W. Fernandez, R. M. Vogel, and A. Sankarasubramanian. Regional Calibration of a Watershed Model. *Hydrological Sciences – Journal des Sciences Hydrologiques*, 45(5) p. 689 – 707. Oct. 2000.
5. L. L. Nash,, and P. H. Gleick, Sensitivity of streamflow in the Colorado basin to climatic changes, *J. Hydrology*, 125, p. 221 – 241, 1991.
6. J. C. Schaake, From climate to flow, in *Climate Change and U.S. Water Resources*, edited by P. E. Waggoner, chap. 8, p. 177 – 206, John Wiley, New York, 1990.
7. R. M. Vogel, I. Wilson, and C. Daly, Regional regression models of annual streamflow for the United States, *J. Irrigation and. Drainage Engineering*, 125(3), p.148 – 157, 1999.
8. J. S. Risbey, and D. Entekhabi, Observed Sacramento basin streamflow response to precipitation and temperature changes and its relevance to climate impact studies, *J. Hydrology*, 184, p. 209 – 223, 1996.
9. G. H. Leavesley, Modeling the effects of climate change on water resources, *Climatic Change*, 28(1/2), p. 159 – 177, 1994.
10. Pacheco B. y Peñaranda V. (2010). Análisis de la dinámica multiparamétrica del modelo de Thomas, caso de estudio: cuenca del río Surba. Segundo congreso internacional de ingeniería civil. Universidad Santo Tomás, seccional Tunja (Boyacá).
11. BOYACÁ 7 DIAS (2010). Con agua subterránea. Sección Regiones. Publicación del día 25 de junio de 2010. Tunja, Boyacá. p. 18