



Asociación de Universidades
GRUPO MONTEVIDEO



Avances en la estimación de caudales extremos a partir de modelación hidrológica de paso diario.

Santiago Narbondo ^a, Christian Chreties ^a, Magdalena Crisci ^a

^a *Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay.*
snarbondo@fing.edu.uy; chreties@fing.edu.uy; mcrisci@fing.edu.uy.

RESUMEN: La modelación hidrológica es una herramienta fundamental para la gestión sustentable de los recursos hídricos ya que permite analizar la disponibilidad del recurso en cuencas no aforadas y bajo diferentes escenarios potenciales, si bien Uruguay tiene el privilegio de contar con una abundante oferta hídrica, la creciente intensificación del uso del agua por un lado y el aumento de la demanda atmosférica y de la variabilidad climática por otro, evidencian la necesidad de estimar los valores extremos del recurso.

El presente trabajo busca evaluar la performance para eventos extremos del modelo hidrológico GRJ4 (Génie Rural à 4 paramètres Journalier, Perrin, et al., 2003) en diferentes cuencas representativas del Uruguay.

Los resultados obtenidos en cuanto a la evaluación del modelo para el escenario mencionado han sido satisfactorios. Esto deja un auspicioso futuro en cuanto a la utilización del modelo para este tipo de estimaciones, lo cual, conjuntamente con la regionalización de los parámetros, sería fundamental para aplicarlo en cuencas no aforadas con resultados fiables.

PALABRAS CLAVE: Hidrología Superficial; Gestión de Recursos Hídricos; Modelación Hidrológica Diaria; Eventos Extremos

1 INTRODUCCIÓN

Uruguay tiene el privilegio de contar con una abundante oferta hídrica, pero, la creciente intensificación del uso del agua por un lado y la variabilidad climática (asociados al cambio climático) por otro, evidencian en momentos puntuales la escasez o exceso del recurso. A su vez la acción antrópica sobre los recursos naturales vinculados a los cursos de agua se ha desarrollado prácticamente sin planificación previa, generando como consecuencia diferentes conflictos y problemáticas específicas. Esto pone de manifiesto la necesidad de generar herramientas para la gestión de los recursos hídricos en el país.

Es fundamental entonces el desarrollo de herramientas de modelación hidrológica, a partir de las cuales sea posible producir información cercana a la realidad en cuencas no aforadas y analizar la disponibilidad del recurso hídrico bajo diferentes escenarios potenciales.

En lo que respecta a modelos hidrológicos de simulación continua, dentro de la experiencia reciente, se destaca la aplicación satisfactoria del modelo hidrológico a paso diario GR4J (Perrin et al, 2003) en cuencas de Uruguay (Chreties, C et al 2017), (Narbondo, S et al, 2018). Estos trabajos han obtenido paquetes de parámetros óptimos para minimizar las diferencias entre caudal observado y simulado; además han logrado relacionar los parámetros del modelo con características físicas e hidrológicas para las cuencas de Uruguay, lo que permitiría su aplicación en cuencas no aforadas.

En el presente trabajo se evalúa la performance del modelo hidrológico a paso diario GR4J (Perrin et al, 2003), para eventos extremos, comparando la serie de máximos medida con la serie

sintética generada a partir de la modelación. Para la comparación se utiliza el ajuste de cada serie de máximos a la función GEV (Generalized Extreme Value) de tres parámetros, ampliamente utilizada en hidrología.

2 ÁREA DE ESTUDIO Y DATOS

Se seleccionaron 3 cuencas distribuidas en todo el país y con diferentes características (Figura 1 y Tabla 1), con el objetivo de obtener una buena representación del comportamiento de las cuencas de Uruguay. Dentro la selección se eligió aquellas que contaran al menos con una estación hidrométrica en la progresiva del cauce principal y que tuvieran una cantidad admisible de pluviómetros funcionando en un periodo común.

Se incluyeron para la implementación del modelo cuencas desde 300 km² a 4700 km², como puede verse en la Tabla 1, con el fin de comprobar su performance en todos los rangos de caudal. En la Tabla 1 se presenta además el área y pendiente media de la cuenca, los valores medios , agua disponible (AD), así como la pendiente, largo del cauce principal y el tiempo de concentración (Tc) de la cuenca.

Para la implementación del modelo fueron utilizados además los datos de precipitación diaria registrada en las estaciones de INUMET y UTE y los datos de evapotranspiración potencial, calculada según el método de Penman-Monteith, obtenidos en las estaciones meteorológicas de INIA. Luego para la comparación se utilizaron los datos de caudal registrados por DINAGUA al cierre de cada cuenca.

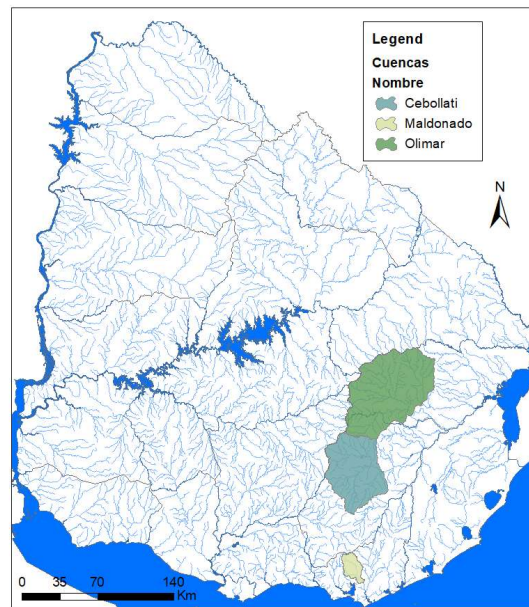


Figura 1. Cuencas de aplicación.

Tabla 1. Características de las cuencas y su cauce principal.

Cuenca	Área (km ²)	Pendiente (%)	AD (mm)	Largo del cauce (km)	Pendiente cauce (%)	Tc (hs)
Cebollati	2884	6.2	76	104	0.10	38
Maldonado	366	8.4	72	48	0.28	12
Olimar	4679	6.6	86	140	0.09	43



Asociación de Universidades
GRUPO MONTEVIDEO



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

3 MODELO HIDROLÓGICO

El modelo utilizado fue el GR4J (Génie Rural à 4 paramètres Journalier) propuesto y mejorado por Perrin et al. (2003), es un modelo de 4 parámetros, basado en la cuantificación de la humedad del suelo. El mismo toma como datos de entrada la precipitación y la evapotranspiración potencial para luego modelar el almacenamiento en el suelo teniendo en cuenta dos reservorios. El modelo transita una parte del escurrimiento a través de un hidrograma unitario simple, y otra parte, a través otro hidrograma unitario que se almacena en un reservorio no lineal, para luego formar con ambas la escorrentía total.

Siendo x_1 (mm) un parámetro del modelo que representa la capacidad máxima de almacenamiento del suelo (es decir, del reservorio de producción). El tiempo base de ambos hidrogramas unitarios se representa a través de un único parámetro x_4 (días) y la capacidad de almacenamiento del reservorio no lineal constituye otro parámetro, x_3 (mm). Además, el modelo representa el intercambio de agua subterránea o con otras cuencas, a través de una función dependiente de un cuarto parámetro x_2 (mm).

4 IMPLEMENTACIÓN Y CALIBRACIÓN

El modelo fue implementado en 3 cuencas de Uruguay. En primer lugar se realizó la implementación del modelo con los parámetros obtenidos en la calibración individual según lo propuesto en Narbondo, S. et. al, (2018). Dichos parámetros son aquellos que resultan del mejor ajuste de la serie modelada a la medida para cada una de las cuencas. Cabe destacar que la serie de calibración es de entre 2 y 5 años, dependiendo la cuenca. En este caso la implementación se realiza para toda la serie de datos disponible, entre 24 y 29 años.

Una vez implementado el modelo en las diferentes cuencas, se procedió a realizar el ajuste a extremos (máximos anuales) de la serie modelada y calibrada. La función escogida fue la GEV (Generalized Extreme Value) de tres parámetros, ampliamente utilizada en hidrología. Primero se obtienen los máximos anuales para cada serie y luego se busca el ajuste a los parámetros de la función. De esta manera para cada serie se obtiene una serie de máximos y un ajuste a la función de extremos.

Luego de obtenidos ambos ajustes, se comparan los mismos, teniendo en cuenta los intervalos de confianza del ajuste de los datos medidos y se verifica si la serie de máximos simulada se comporta de manera similar a la observada. Si las diferencias son lo suficientemente importantes como para salirse de los intervalos de confianza se implementa el modelo con otro paquete de parámetros hasta obtener resultados satisfactorios.

Para cada caso también se realizan las curvas de permanencia de caudal observado y modelado superpuestas para verificar si un mejor ajuste para los valores máximos afecta el comportamiento general de la serie simulada. Es decir se verifica si un mejor ajuste de extremos implica un peor ajuste para el resto de los caudales.

5 RESULTADOS

5.1 *Curvas de permanencia*

Se presentan en Figura 2 a 4 las curvas de permanencia para cada una de las cuencas seleccionadas. No se observan grandes diferencias al comparar los caudales simulados y medidos para el caso de la re-calibración para extremos.

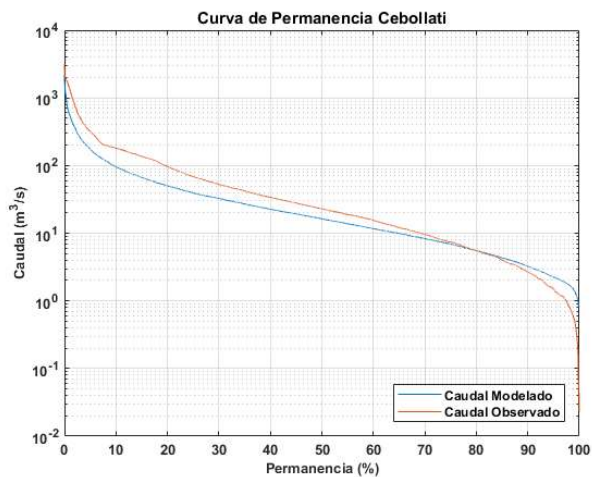
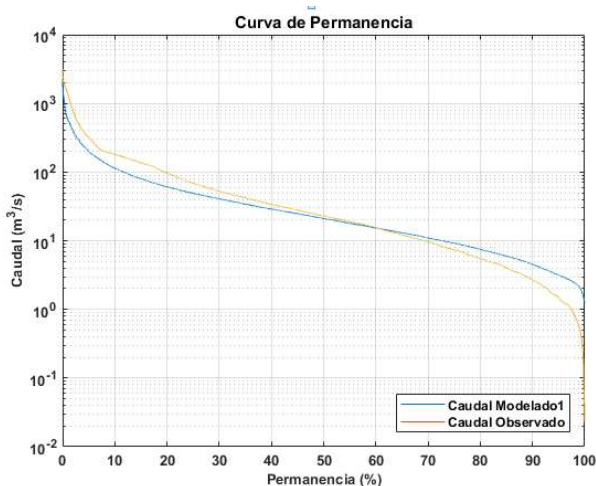


Figura 2. Curvas de permanencia para la cuenca del Cebollati. Izquierda serie simulada con parámetros originales, derecha parámetros re-calibrados

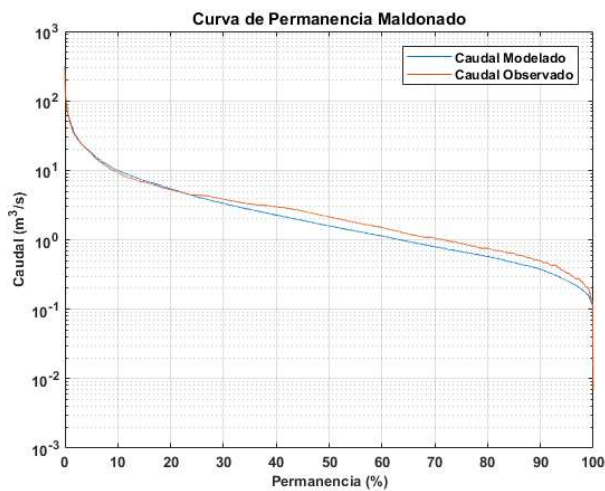
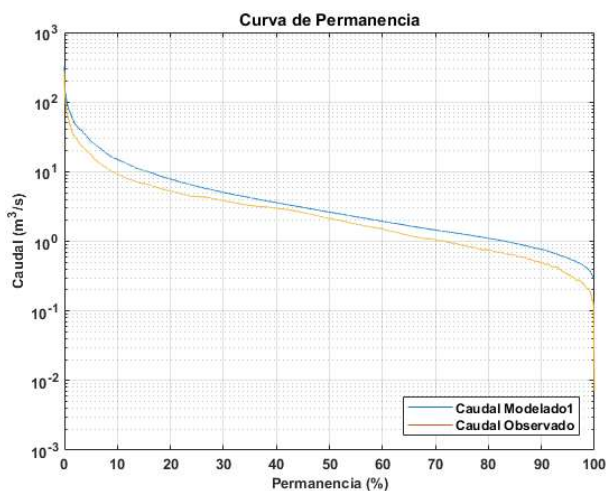


Figura 3. Curvas de permanencia para la cuenca del Maldonado. Izquierda serie simulada con parámetros originales, derecha parámetros re-calibrados

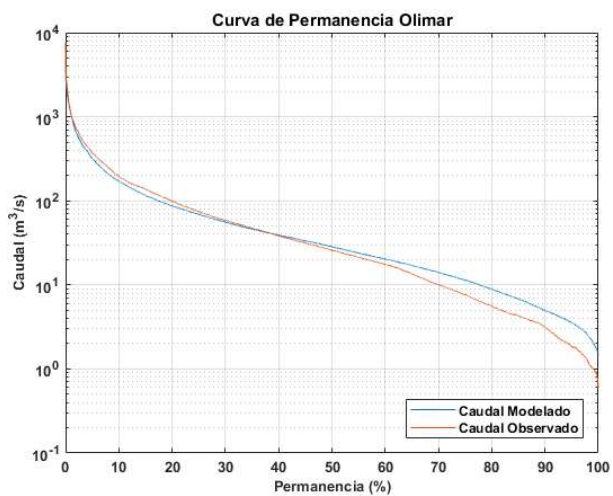
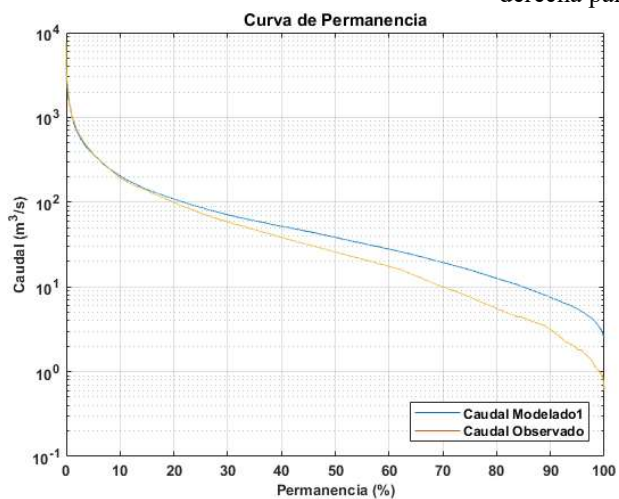


Figura 4. Curvas de permanencia para la cuenca del Olimar. Izquierda serie simulada con parámetros originales, derecha parámetros re-calibrados

5.2 Ajuste a extremos

Se realizó el ajuste a GEV a los máximos de la serie simulada y modelada y luego se varían los valores de los parámetros del modelo para verificar si se obtenían mejores resultados para los extremos.

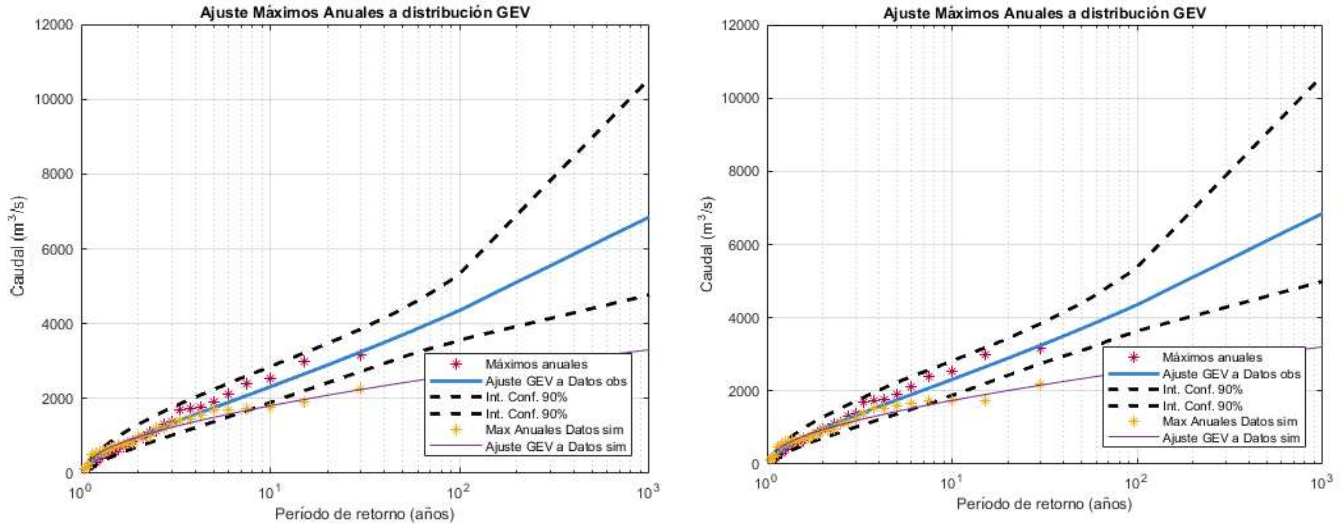


Figura 5. Ajuste de extremos a GEV para la cuenca del Cebollati. Izquierda serie simulada con parámetros originales, derecha parámetros re-calibrados.

Para el caso del Cebollati (Figura 5) prácticamente no se encuentran diferencias entre el ajuste de la serie modelada original con la re-calibrada

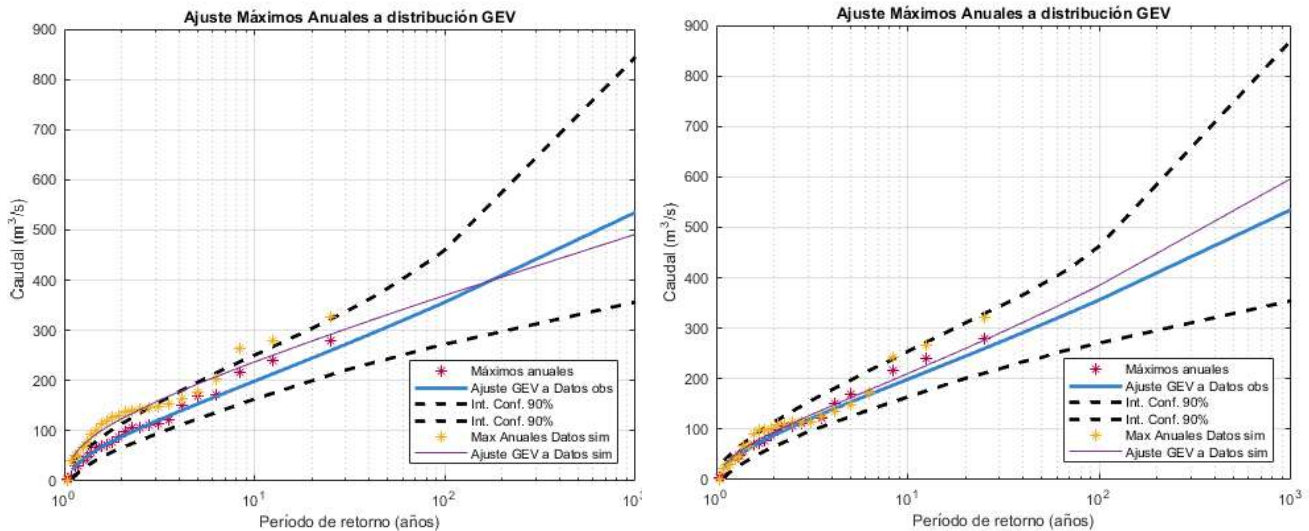


Figura 6. Ajuste de extremos a GEV para la cuenca del Maldonado. Izquierda serie simulada con parámetros originales, derecha parámetros re-calibrados.

En el caso de la cuenca del arroyo Maldonado (Figura 6) es clara la mejoría del ajuste una vez que se busca una nueva combinación de parámetros del modelo para caudales máximos anuales.

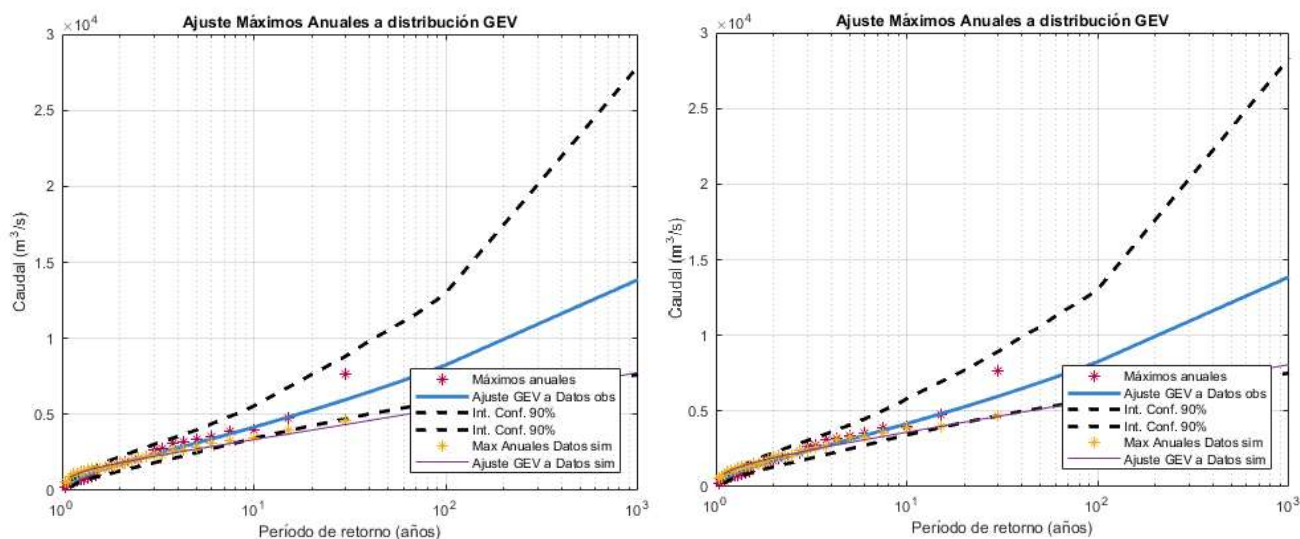


Figura 7. Ajuste de extremos a GEV para la cuenca del Olimar. Izquierda serie simulada con parámetros originales, derecha parámetros re-calibrados.

Se aprecia en Figura 7 un leve mejor ajuste para el caso de los parámetros re-calibrados para la cuenca del Olimar.

6 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se obtuvieron resultados promisorios en cuanto a la utilización de series sintéticas de caudal generadas con el modelo GR4J para valores extremos de caudal en tres cuencas de Uruguay. Dichos resultados no son contundentes y se notan ciertas diferencias con los ajustes obtenidos a partir de series medidas y simuladas. Esto en parte podría ser explicado tanto por las limitantes propias del modelo para representar valores extremos como por el error que acarrea la forma de calcular los caudales a partir de niveles mediante la curva de aforo. En este sentido el trabajo de Genta, et al. (2001) indica que las curvas de aforo para la estimación del caudal en Uruguay tienen un error relativo promedio, si se considera la totalidad del rango, de 11% y un error máximo de 30%.

7 REFERENCIAS

Chreties, C; Crisci, M; Narbondo, S; Schenzer, D; Pienika, R. (2017): *Mejora en la estimación de caudales fluviales en Uruguay y su aplicación para evaluar el potencial de generación hidrocínético*. Informe final proyecto ANII-FSE_1_2014_1_102258, Uruguay.

Genta, J. L., Charbonnier, F., Failache, N. y Alonso, J., (2001): *Balances hídricos superficiales en cuencas del Uruguay*. CSIC-UdelaR, MTOP-DNH, UNESCO.

Narbondo, S; Crisci, M; Chreties, C. (2018): Modelación hidrológica diaria en cuencas con diferentes características de Uruguay. *XXVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, IAHR*, Buenos Aires, Argentina.

Perrin, C., Michel, C. y Vazken, A., (2003): Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. *Journal of Hydrology*, 279, pp. 275-289.