

APLICACIÓN DEL MODELO HBV/IHMS EN LA DETERMINACIÓN DEL APORTE DE LA ZONA NO SATURADA AL CAUDAL DE UNA CUENCA FORESTAL

Rodríguez-Suarez^{1*}, J.A.; Soto², B. y Díaz-Fierros³, F.

1: Departamento de Ciencias da Navegación e da Terra.
Facultade de Ciencias
Universidade da A Coruña
Campus A Zapateira. 15071 A Coruña
e-mail: jarsuarez@uvigo.es

2: Departamento de Bioloxía Vexetal e Ciencias do Solo
Facultade de Ciencias de Ourense
Universidade de Vigo
Campus Universitario, As Lagoas s/n 36310-Ourense
e-mail: edbene@uvigo.es

3: Departamento de Edafoloxía e Química Agrícola.
Facultade de Farmacia
Universidade de Santiago de Compostela
15706 Santiago de Compostela.

Palabras clave: Instrucciones, Zona no Saturada, Jornadas, Barcelona, UPC, CIMNE

ABSTRACT. *In a 10.7 ha watershed with 89% of the area replanted with Eucalyptus globulus, HBV/IHMS model was applied to estimate the flow from the vadose zone. Model was calibrated using meteorological and discharge data registered in the watershed over the last ten years. Results showed that groundwater contribution was 69.4 % and flow from the vadose zone was about 30 % of total discharge.*

RESUMEN. *En una cuenca forestal, con un 89% de su superficie ocupado por una plantación de Eucalyptus globulus, se ha aplicado el modelo HBV/IHMS para estimar el aporte de la zona no saturada al total del caudal saliente. El modelo fue calibrado empleando datos meteorológicos y de caudal registrados en la cuenca durante los últimos diez años. Según las estimaciones del modelo el flujo basal representa el 69.4 % del caudal y el aporte desde la zona no saturada se encuentra en torno al 30 %.*

1. INTRODUCCIÓN

La separación del hidrograma en sus diferentes componentes es una herramienta comúnmente empleada y de especial importancia en los estudios hidrológicos ya que afecta directamente a dos de los cuatro componentes básicos del balance hídrico: escorrentía y almacenamiento de agua, siendo los otros dos precipitación y evapotranspiración (Kling y Nachtnebel, 2008).

Los procedimientos de separación del hidrograma consideran tres componentes: flujo basal o flujo aportado por el acuífero, flujo subsuperficial o flujo procedente de la zona no saturada y escorrentía superficial (Peters y Van Lanen, 2005), agrupándose en la mayoría de los casos el flujo subsuperficial y la escorrentía superficial en un solo flujo denominado flujo rápido.

Los métodos de separación gráfica son los más empleados, normalmente para el análisis y predicción de avenidas. Estos métodos emplean algoritmos matemáticos que imitan las técnicas tradicionales de separación gráfica y no los procesos físicos que rigen el proceso (Sloto y Crouse, 1991). En los resultados obtenidos con ellos la descarga desde el acuífero en general es considerablemente mayor que el flujo rápido siendo el flujo basal el predominante incluso en los eventos tormentosos (Herrmann, 1997)

Este trabajo plantea como alternativa a estos métodos separar el caudal en sus diferentes componentes por medio de un modelo hidrológico en una pequeña cuenca forestal. Concretamente se empleará el modelo semidistribuido HMV, el cual se basa en una representación esquemática del ciclo hidrológico en compartimentos en el que cada uno de los lugares de distribución de agua se considera como un reservorio que va perdiendo agua para otro reservorio o bien hacia fuera del sistema. El aporte de agua desde el reservorio inferior del modelo se considerará como el aporte desde el acuífero. Tras calibrar el modelo, se cuantificará por medio de sus diferentes salidas el flujo basal, y a partir de este se estimará el aporte desde la zona no saturada.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Cuenca de estudio

Este estudio se ha realizado en una pequeña cuenca hidrológica de 10.7 ha y pendiente media del 11 % situada en Abegondo (A Coruña) cuyas coordenadas del punto de cierre son 8° 21' 15" N 43° 9' 10" W, Figura 1. El material geológico de partida son esquistos (Serie Órdenes) sobre los que se han desarrollado suelos de textura franca con una profundidad entre 60-100 cm. El clima en esta región se define como oceánico húmedo, con una precipitación media anual de 1488 mm y una temperatura media anual de 12.3 °C.

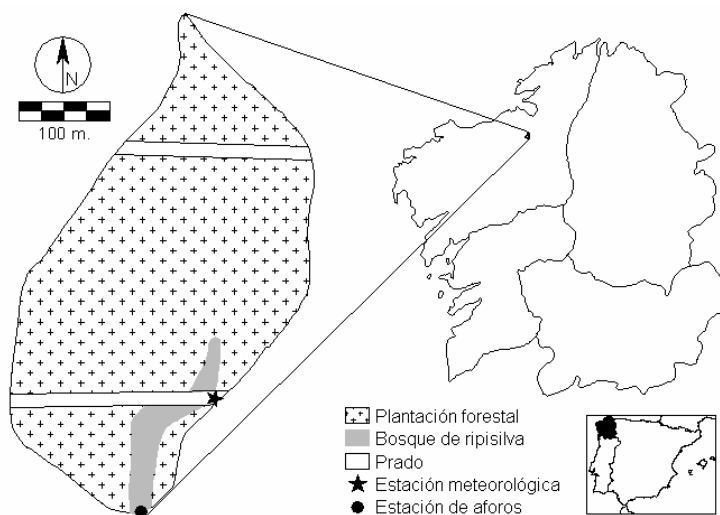


Figura 1. Localización y distribución del uso del suelo en la cuenca de estudio

El uso de suelo está dedicado casi en su totalidad a una repoblación de *Eucalyptus globulus* con una densidad de plantación media de 1670 árboles por hectárea (89 % de la cuenca), a excepción de dos franjas que cruzan la cuenca para el paso de líneas de alta tensión ocupadas por pasto y una zona de ripisilva que rodea el curso del río.

Para el seguimiento del comportamiento hidrológico de la cuenca se instalaron, entre otros, los siguientes equipos: estación meteorológica completa automática, aforador con vertedero en "V" de 60° y sonda capacitiva (Unidata). Estos sensores fueron instalados en el año 1997 y están conectados a colectores de datos (Starlogger, Unidata) para el registro y almacenamiento de los datos a intervalos de 5 minutos.

2.2. Modelo HBV

El modelo hidrológico HBV fue desarrollado por el Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI) en Norrköping, Suecia en los años 70 para la gestión de centrales hidroeléctricas (Bergström and Forsman, 1973, Bergström, 1976). Desde entonces su campo de aplicaciones ha aumentado paulatinamente

hasta abarcar en la actualidad, entre otros, la predicción en tiempo real de la escorrentía, control de calidad de datos, relleno de lagunas de datos en los registros, estudios de balance hídrico, o simulación de los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos.

El modelo HBV puede describirse como un modelo semidistribuido que se compone de varias rutinas hidrológicas fundamentales. Estas rutinas simulan la acumulación y deshielo de nieve, el comportamiento y almacenamiento del agua en el suelo, y por último un procedimiento de cálculo de generación y propagación de la onda de avenida.

Los datos de entrada empleados en este estudio han sido los registros diarios de precipitación, temperatura media y descarga del río recogidos en la cuenca entre los años 1999 y 2008. El HBV ofrece multitud de variables de salida empleándose en este estudio “*scout*”, que es el caudal estimado, y “*outlz*” definido como “salida de flujo desde el reservorio de respuesta inferior” que podemos considerarlo como el aporte del flujo basal o aporte desde el acuífero al caudal del río.

3. RESULTADOS

En la Figura 2 se muestra el caudal medio diario y la precipitación diaria registrados en la cuenca entre los años 1999 y 2008, recogiéndose en la Tabla 1 el caudal medio y la precipitación total en cada año.

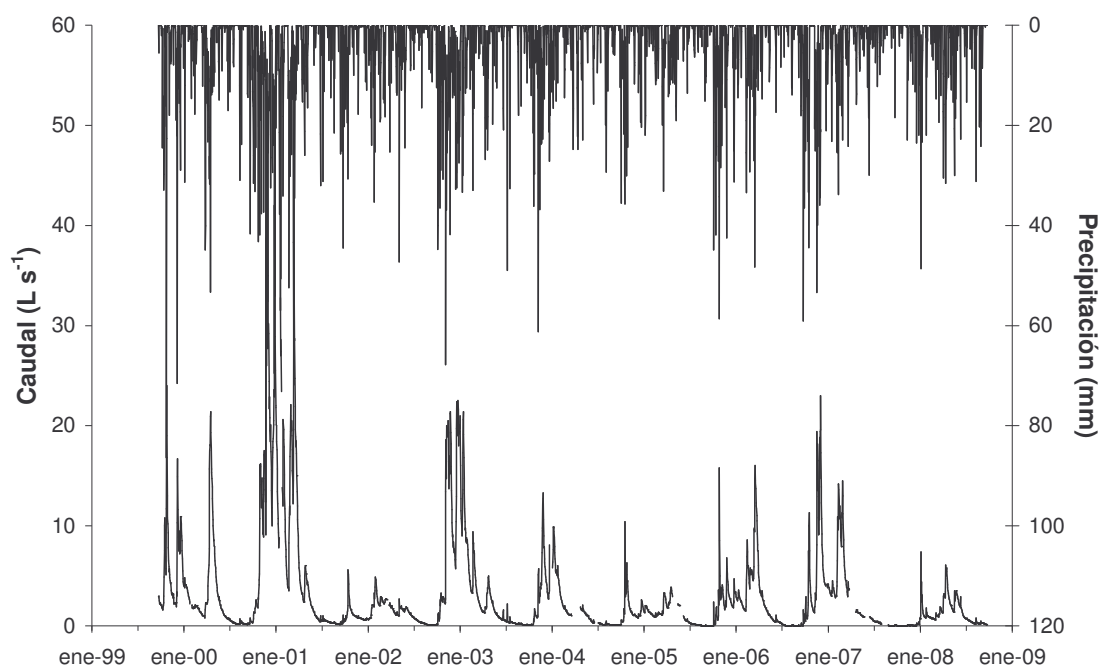


Figura 2. Caudal medio diario ($L s^{-1}$) y precipitación (mm) registrados en la cuenca entre los años 1999 y 2008.

Tabla 1. Caudal medio anual ($L s^{-1}$) y precipitación anual (mm) en cada año de estudio en la cuenca

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Promedio
Caudal ($L s^{-1}$)	3.52	8.26	1.28	4.77	1.96	1.21	2.30	3.83	1.01	3.13
P (mm)	1647	2850	1156	1971	1241	1079	1436	1595	1116	1566

Durante el período de estudio existe una gran variabilidad tanto en el caudal medio como en la precipitación total entre los diferentes años, oscilando el caudal de un valor de $8.26 L s^{-1}$ en el 2001, año en que se produjo uno de los mayores registros históricos de precipitación anual y que en esta cuenca fue de 2850 mm, a valores muy bajos en torno a $1 L s^{-1}$ en los años 2002, 2005 y 2008 con precipitaciones entre 1079 y 1156 mm. Estas

diferencias hacen que el calibrado realizado con el modelo HBV para la cuenca tenga mayor validez ya que, a pesar de que el número de años de datos disponibles es relativamente escaso para el calibrado de una cuenca, el hecho de que incluyan eventos extremos otorga más peso a la optimización realizada.

Estos datos, junto con los de temperatura media diaria, se han empleado como variables de entrada en el modelo HBV mostrándose el ajuste obtenido en la Figura 3.

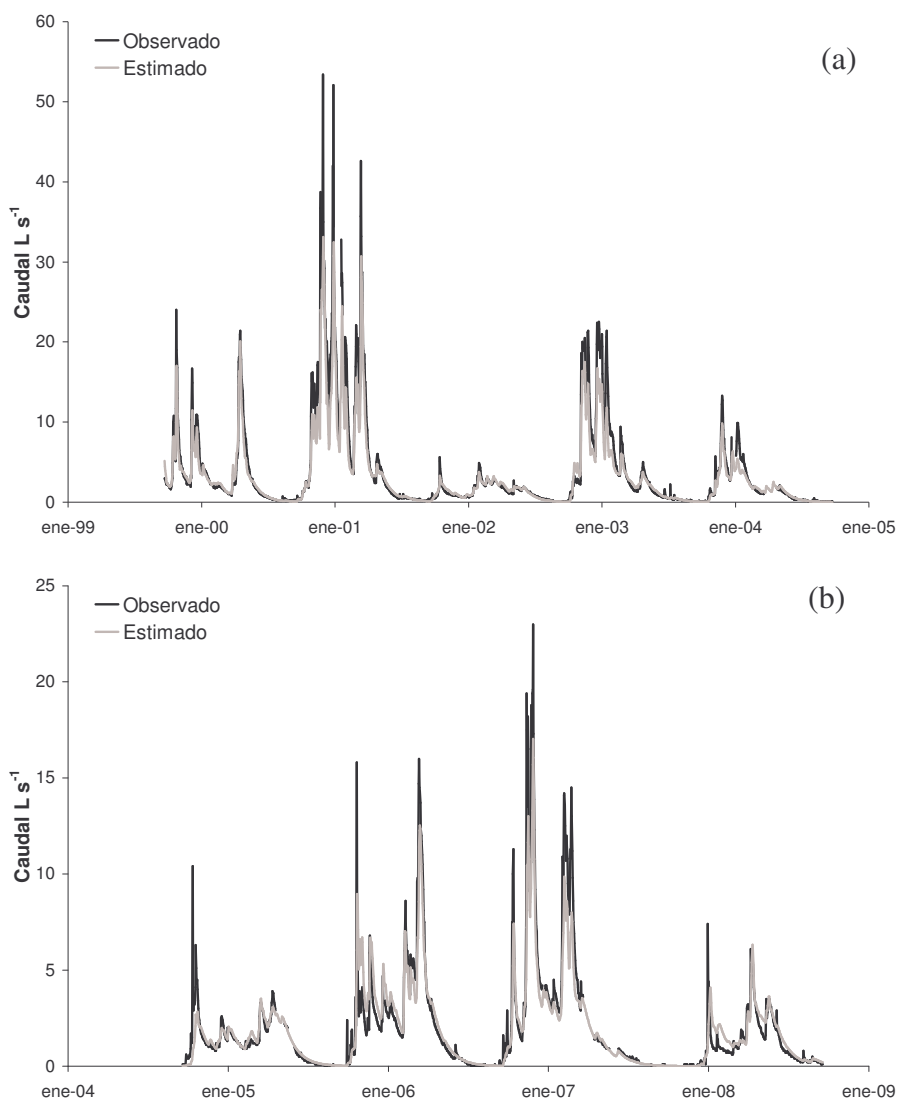


Figura 3. Caudal observado y estimado por el modelo HVM en el periodo 2000-2004 (a) y 2005-2008 (b).

El modelo HVM consigue simular satisfactoriamente el caudal del río, obteniéndose un R^2 de 0.94 y un índice de Nash (Nash and Sutchcliffe, 1970) de 0.913. Estos resultados confirman la capacidad del modelo para simular el comportamiento hidrológico de la cuenca.

Una de las salidas que ofrece el HBV es *outlz* que representa la salida de flujo desde el reservorio de respuesta inferior y que simula el aporte desde el acuífero. Si al caudal total se le resta este caudal basal estimado, la diferencia representa el flujo rápido compuesto por escorrentía superficial y el flujo subsuperficial o flujo

aportado por la zona no saturada. Teniendo en cuenta la escasa pendiente de la cuenca, 11 %, el uso del suelo en la misma dedicado prácticamente en su totalidad a una repoblación de *Eucalyptus globulus* con una elevada densidad de vegetación subarbustiva, y además una conductividad hidráulica saturada entre 16-40 mm h⁻¹ (Lopez y Soto, 2004) podemos considerar la generación de escorrentía superficial prácticamente nula. Por tanto la diferencia entre el caudal saliente y el basal estimado por el modelo será el aporte desde la zona no saturada. En la Figura 4 se muestra el caudal saliente de la cuenca separados en flujo basal y flujo rápido.

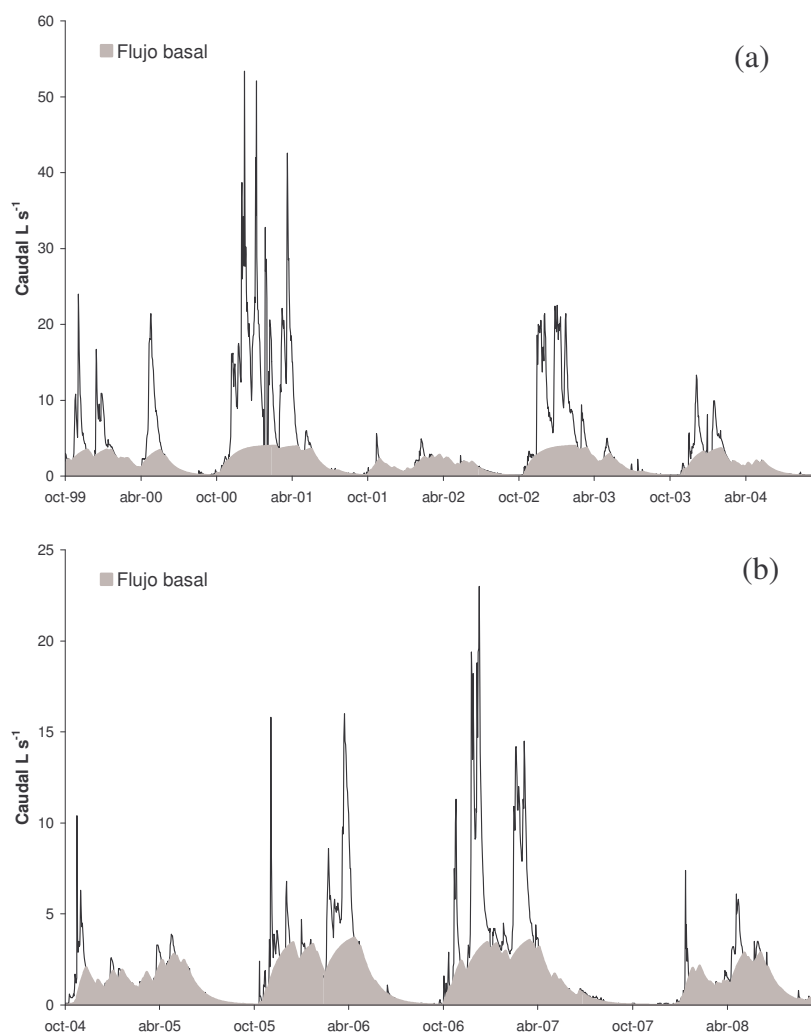


Figura 4. Flujo basal estimado por el modelo HVM en el periodo 2000-2004 (a) y 2005-2008 (b)

Tabla 2. Porcentaje de flujo basal y flujo rápido para cada año de estudio determinado por el HBV

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Promedio
Basal (%)	54.3	29.1	96.9	42.4	80.3	97.0	72.4	55.1	96.9	69.4
Rápido (%)	45.7	70.9	3.1	57.6	19.7	3.0	27.6	44.9	3.1	30.6

Según el HBV el flujo basal representa el 69.4% del total del caudal oscilando entre el 29.1 % del año 2001, año con las mayores precipitaciones, hasta valores en torno al 97 % en los años más secos. El aporte desde la zona no saturada representa el 30.6 % del total, siendo casi inexistente los años más secos, alrededor del 3 %, aunque en años de altas precipitaciones representa una parte importante del caudal llegando a alcanzar porcentajes del 70 %.

4. CONCLUSIONES

El método propuesto de separación del caudal empleando las diferentes salidas del modelo HBV/IHMS da como resultado un aporte medio del flujo basal al caudal total durante los últimos diez años del 70%. Este valor es muy similar al obtenido para esta misma cuenca por el método desarrollado por Soto et al. (2005) de 67.6 %, por lo que podemos considerar el método propuesto como válido para la separación del caudal en sus diferentes componentes.

Teniendo en cuenta las características de la cuenca estudiada: baja pendiente media (11%), uso de suelo (replantación forestal con una densa vegetación subarborescente), y la elevada conductividad hidráulica saturada de los suelos de la cuenca (entre 16-40 mm h⁻¹); podemos considerar la generación de escorrentía superficial prácticamente nula, por lo que el aporte desde la zona no saturada al caudal saliente fue en los últimos 10 años del 30%.

Agradecimientos. Este trabajo fue subvencionado por la Consellería de Innovación, Industria e Comercio de la Xunta de Galicia a través de los proyectos PGIDIT04RFO383007PR y PGIDIT06RFO20301PR. La contribución del primer autor ha sido posible gracias a una beca de Formación de Personal Investigador FPI del Ministerio de Educación.

REFERENCIAS

- Bergström, S., y A. Forsman, 1973. Development of a conceptual deterministic rainfall-runoff model. *Nordic Hydrology*, Vol. 4, No. 3.
- Bergström, S., 1976. Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments. *SMHI Report RHO 7, Norrköping*, 134.
- Herrmann, A., 1997. Global review of isotope hydrological investigations. In: Oberlin, G. and Desbos, E. (eds.), *FRIEND 3rd Report, UNESCO*.
- Kling, H. y H. P. Nachtnebel, 2008. A method for the regional estimation of runoff separation parameters for hydrological modelling. *Jour. Hydrol*, 364, 163-174.
- Lopez, J.E. y B. Soto. 2004. Modeling wash load transport of soil in a headwater catchment cultivated by non-tillage methods. *J. Hydrol* 287, 19-33.
- Nash, J.E., y J.V. Sutcliffe, 1970. River flow forecasting through conceptual models, Part I: a discussion of principles. *J. Hydrol* 10, 282-290.
- Peters, E., y H.A.J. Van Lanen, 2005. Separation of base flow from streamflow using groundwater levels –illustrated for the Pang catchment (UK). *Hydrol. Process.*, 19, 921-936.
- Sloto, R.A. y M.Y. Crouse, 1991. A computer method for estimating ground-water contribution to streamflow using hydrograph separation techniques. *U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 90-4162*.
- Soto, B., J.A. Rodríguez-Suárez, R. Pérez, M.A. Brea, y F. Díaz-Fierros, 2005. Cuantificación de la importancia del flujo procedente de la zona no saturada en el caudal de una pequeña cuenca forestal. *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo Vol VII*, 333-336.