

CUANTIFICACIÓN DE LA IMPORTANCIA DEL FLUJO PROCEDENTE DE LA ZONA NO SATURADA EN EL CAUDAL DE UNA PEQUEÑA CUENCA FORESTAL

B. Soto¹, J.A. Rodríguez¹, R. Pérez², M.A. Brea² y F. Díaz-Fierros²

¹ Departamento de Biología Vegetal y Ciencias del Suelo, Universidad de Vigo. Campus Universitario de Ourense, 32004 Ourense; edbene@uvigo.es.

² Departamento de Edafología y Química Agrícola, Universidad de Santiago, 15706, Santiago.

RESUMEN. En una pequeña cuenca forestal de 10.7 ha se ha analizado la relación existente entre la altura del nivel freático y el caudal. Mediante la selección de los valores mínimos de caudal para diferentes alturas de nivel freático se ha obtenido la función envolvente que tiene la forma $Q_B(L/s) = [3.315 \cdot NF(m) - 1.21]^2$. A partir de esta expresión se ha realizado la separación del caudal en flujo subterráneo, procedente del acuífero, y flujo superficial compuesto por escorrentía superficial, flujo hipodérmico y flujo procedente de la zona no saturada. Para poder conocer la importancia del flujo procedente de la zona no saturada se ha comparado la separación realizada mediante la expresión anterior con la realizada mediante el HYSEP, el cual aproximadamente separa el caudal en flujo lento (procedente del acuífero y de la zona no saturada) y flujo rápido (escorrentía superficial y flujo hipodérmico rápido). Por comparación de ambos métodos se ha determinado que el flujo procedente del acuífero supone el 67.6% del total, el flujo procedente de la zona no saturada el 18.2% y el flujo rápido el 14.2%.

ABSTRACT. An small watershed of 10.7 ha was used to study the relationship between discharge and groundwater level. The envelope of minimum value of daily discharge vs. daily groundwater level is a non-linear relation and the expression obtained was $Q_B(L/s) = [3.315 \cdot NF(m) - 1.21]^2$. This expression allows to estimate the groundwater contribution to total discharge. With the aim to know the contribution of vadose zone to total discharge, we compare the separation using the envelope function and HYSEP method. The results showed the groundwater contribution was 67.6%, quick flow (direct runoff and hypodermic flow) was 14.2% and flow from vadose zone was 18.2% of total discharge. With the aim to know the contribution of vadose zone to total discharge, we compare the separation using the envelope function and HYSEP method. The results showed the groundwater contribution was 67.6%, quick flow (direct runoff and hypodermic flow) was 14.2% and flow from vadose zone was 18.2% of total discharge.

1. Introducción

Una parte importante del caudal de los ríos proviene de la descarga de los acuíferos, representando la mayor parte del mismo en el caso de acuíferos poco profundos (Wittenberg, 2003). Esta procedencia suele ser importante tanto en la época de estiaje como durante los periodos lluviosos.

Con el fin de conocer las características del acuífero y sobre todo su respuesta, es necesario poder distinguir que parte del caudal procede de: 1) directamente del aporte del acuífero 2) del flujo rápido, básicamente escorrentía superficial y flujos hipodérmicos rápidos y 3) flujo procedente de la zona no saturada.

La mayor parte de los procedimientos de separación de los componentes del hidrograma consideran 3 componentes: flujo basal, *interflow* o flujo procedente de la zona no saturada y escorrentía superficial (Peters y Van Lanen, 2005); aunque mayoritariamente la separación se realiza en dos componentes: flujo basal y rápido, estando el flujo procedente de la zona no saturada repartido entre ambos dependiendo básicamente del tiempo de respuesta y del método empleado.

Uno de los métodos de separación de los componentes del hidrograma desarrollado por Kliner y Kněžek (1974) supone que el menor flujo observado para un determinado valor del nivel freático representa el flujo basal o procedente del acuífero. Por lo tanto la función envolvente de la relación entre el caudal y la altura del nivel freático nos permitiría conocer con cierta exactitud la importancia del caudal procedente del acuífero.

El objetivo de este trabajo es la obtención de la función envolvente del valor mínimo de caudal frente al nivel freático. De este modo podemos separar y cuantificar el aporte directo del acuífero a la descarga hidrológica y por diferencia con otro método de separación de flujo, HYSEP (HYdrograph SEPARation), obtener el aporte procedente de la zona no saturada.

2. Materiales y métodos

La cuenca de estudio esta situada en Abegondo (A Coruña), con una superficie de 10.7 ha. El material geológico de la zona son Esquistos (Serie Órdenes) sobre los que se han desarrollado suelos de textura franca y profundidad media de 60 cm. La precipitación media anual es de 1490 mm y la temperatura media de 12.3 °C.

El uso del suelo hasta 1998 fue pastizal, en junio de ese año comenzó la repoblación con *Eucalyptus globulus* de la cuenca y las zonas circundantes. Esta repoblación finalizó en 1999, quedando a partir de ese momento la distribución del uso del suelo en la cuenca tal como se muestra en la Fig. 1.

Para el seguimiento del comportamiento hidrológico de la cuenca se instalaron los siguientes equipos: estación meteorológica automática, aforador con vertedero en "V" de 60° y sonda capacitiva (Unidata). Adicionalmente, se instaló un sensor de precisión ± 2 mm, (Unidata) para la determinación de la profundidad del nivel freático. El acceso a este se realizó en un pozo existente en el interior de la cuenca. Todos los sensores fueron instalados en el año 1997 a excepción del sensor de profundidad del nivel freático (NF) que se realizó posteriormente. Todos los sensores instalados en la cuenca fueron conectados a colectores de datos (Starlogger, Unidata) para el registro y almacenamiento de los datos a intervalos de 5 minutos.



Fig. 1. Distribución del uso del suelo en la cuenca de estudio a partir de 1989.

3. Resultados y Discusión

En la Fig. 2 se muestra la variación de la profundidad media diaria del nivel freático y la precipitación diaria

desde Enero de 2001 hasta Abril de 2005. La profundidad mínima registrada del nivel freático fue de 143 cm y la máxima de 297 cm. La profundidad media para todo el periodo de estudio fue de 254 cm. La precipitación registrada durante el periodo de estudio (40 meses) fue de 5350 mm, con un máximo diario de 71.3 mm y una precipitación media anual de 1605 mm.

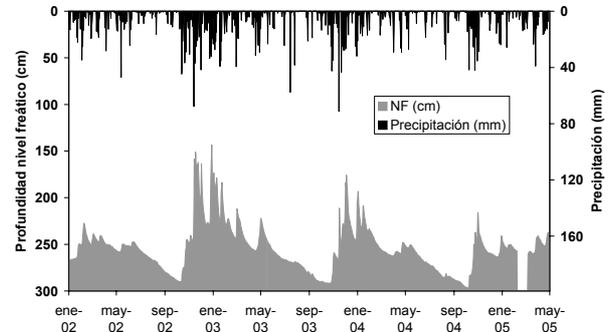


Fig. 2. Variación de la profundidad del nivel freático y precipitación diaria registrada desde 1/2002 hasta 4/2005.

En la Fig. 3 se ha representado a escala diaria los valores de caudal saliente y la altura del nivel freático, tomando como nivel de referencia ($z = 0$) la profundidad de 4 m.

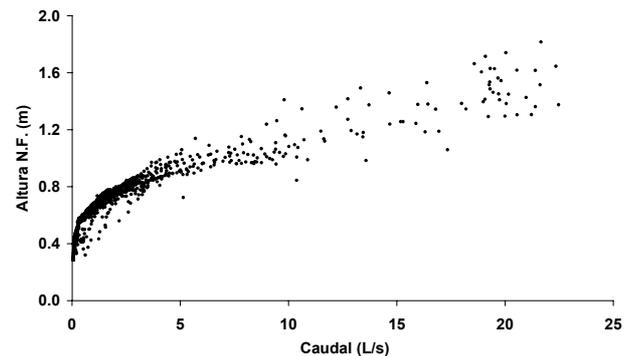


Fig. 3. Relación entre el caudal medio diario y la altura del nivel freático tomando como nivel de referencia ($z = 0$) una profundidad de 4 m.

Como se puede observar la mayor dispersión se produce para caudales elevados debido a la elevada diferencia en la altura del nivel freático que se registra en los picos de caudal dependiendo de la época del año en la que se produzcan e incluso de la posición en el hidrograma (limbo de ascenso o descenso).

Para determinar la función que representa el caudal mínimo para diferentes valores de altura del nivel freático se seleccionaron 65 pares de datos en los cuales el caudal diario presentaba un valor mínimo para una determinada altura del nivel freático (Fig. 4).

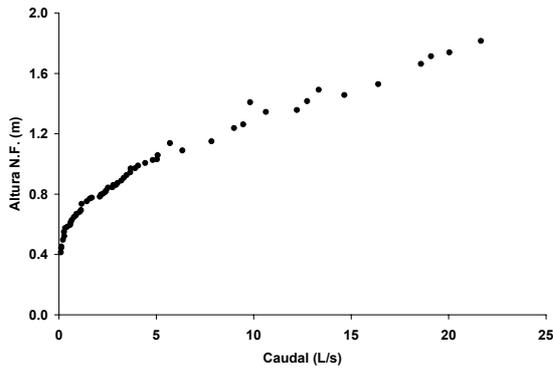


Fig. 4. Relación de valores mínimos de caudal diarios para diferentes alturas medias diarias del nivel freático.

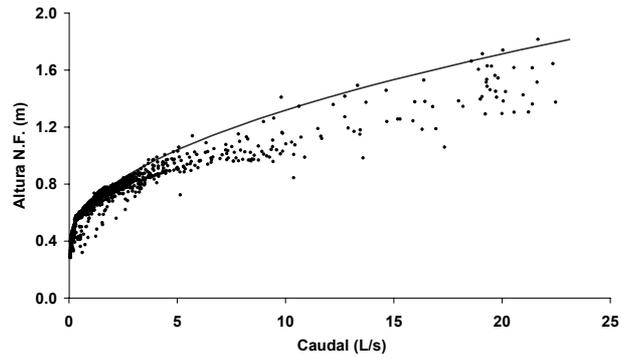


Fig. 6. Envolvente correspondiente a los valores mínimos de caudal en función de la altura del nivel freático.

Dado que en un acuífero no confinado la descarga en un pozo es proporcional al cuadrado de la altura del nivel freático (Smith y Wheatcraft, 1993), hemos ajustado una ecuación de regresión polinómica entre la altura del nivel freático y los valores de caudal mínimos del río. De este modo se pretende obtener una función que nos permita calcular la descarga procedente del acuífero para cualquier altura del nivel freático.

En la Fig. 5 se muestra la relación entre la altura del NF y la raíz cuadrada del caudal. Como se puede observar, existe una elevada correlación entre ambas variables con un R^2 de 0.993.

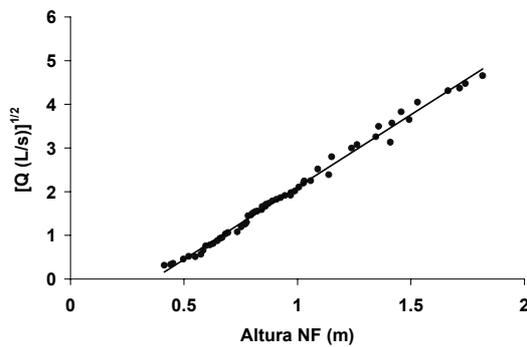


Fig. 5. Relación entre la altura del nivel freático y la raíz cuadrada del caudal mínimo registrado para diferentes alturas del NF.

La función obtenida permite relacionar la altura del NF con el caudal mínimo, y por lo tanto la componente basal del caudal. La expresión obtenida tiene la forma:

$$Q_B (L/s) = [3.315 \cdot NF(m) - 1.21]^2 \quad (1)$$

donde Q_B es la componente basal del caudal y NF es la altura del nivel freático desde un nivel de referencia de 4 metros.

En la Fig. 6 se han representado los pares de datos diarios de caudal-nivel freático para todo el periodo de estudio y la función envolvente elaborada mediante la expresión (1).

Aplicando la ecuación anterior a los datos recogidos en el año 2003 podemos separar el caudal basal, procedente del acuífero, del caudal total saliente como se ha representado en la Fig. 7.

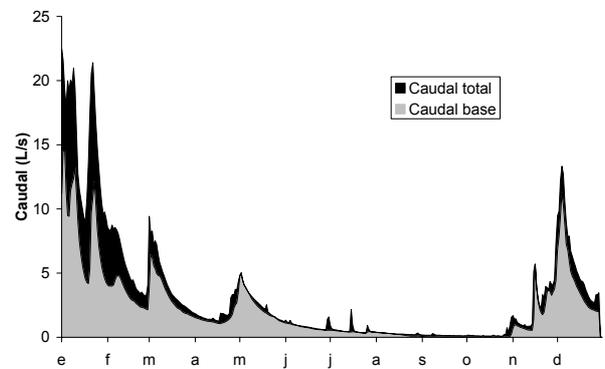


Fig. 7. Separación del caudal base mediante la expresión (1) para los caudales registrados durante el año 2003.

Como se puede observar, en los meses de estiaje, de junio a octubre, coincide prácticamente el caudal base con el caudal total, mientras que en los meses de invierno, sobre todo en los picos más estrechos y pronunciados existe una diferencia importante entre el caudal base y el caudal total.

Si comparamos la separación de caudal mediante el método expuesto anteriormente con la separación realizada con un método habitual como HYSEP (Sloto y Crouse, 1996) mostrado en la Fig. 8 podemos observar que las mayores diferencias se producen en los meses de invierno, siendo prácticamente coincidentes en los meses de verano.

Mediante el método basado en la expresión (1) el flujo basal representaría el 67.6% de todo el caudal, mientras que mediante el HYSEP el caudal base representaría el 85.8%. Por lo tanto, si tenemos en cuenta que el HYSEP separa solamente el flujo rápido (compuesto básicamente por el flujo superficial, flujos de retorno o hipodérmicos rápidos) y el método basado en la expresión (1) discrimina del flujo basal todos aquellos componentes no relacionados con la descarga subterránea (incluido el procedente de la zona no saturada), la diferencia entre los porcentajes

correspondientes al flujo basal calculado mediante los 2 métodos empleados representa el aporte de la zona no saturada.

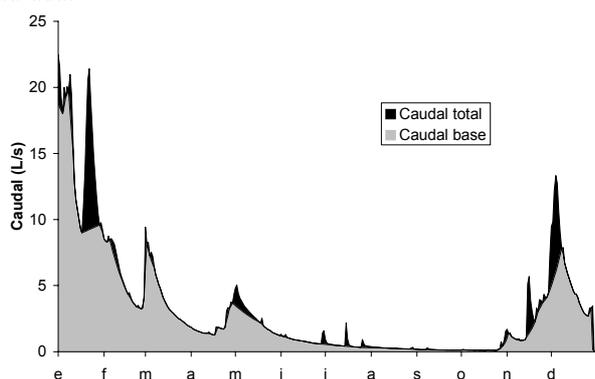


Fig. 8. Separación del caudal base mediante el programa HYSEP para los caudales registrados durante el año 2003.

En el año utilizado en este estudio, el flujo procedente de la descarga subterránea representaría el 67.6%, el flujo superficial o rápido el 14.2% y el procedente de la zona no saturada el 18.2% del caudal total.

El aporte procedente del flujo subterráneo (67.6% del caudal total) puede considerarse elevado si se compara con valores mostrados por Samper (2003) para cuencas de Galicia, el cual sitúa el aporte subterráneo en el 12% del total. Estas considerables diferencias se deben básicamente al método de cálculo, dado que este autor estima el caudal subterráneo a partir de los caudales de estiaje de los meses de Agosto y Septiembre, por lo que evidentemente los valores son muy inferiores a los obtenidos mediante el método propuesto en este trabajo.

Agradecimientos. Este trabajo fue subvencionado por la Xunta de Galicia a través del proyecto de investigación PGIDIT02RF020301PR.

Referencias

- Kliner, K. y Kněžek, M. 1974. The underground runoff separation method making use of the observation of groundwater table. *J. Hydrol. and Hydrodinam.*, 22 (5): 457-466 pp.
- Peters, E. y Van Lanen, H.A.J. 2005. Separation of base flow from streamflow using groundwater levels –illustrated for the Pang catchment (UK). *Hydrol. Process.*, 19: 921-936 pp.
- Sloto, R.A., y Crouse, M.Y. 1996. HYSEP: A computer program for streamflow hydrograph separation and analysis: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 96-4040, 46 pp.
- Smith, L. y Wheatcraft, S.W. 1993. Groundwater flow. Capítulo 6 de Handbook of Hydrology, editado por David R. Maidment. McGraw-Hill, New York.
- Samper, J. 2003. Aguas subterráneas y medio ambiente en Galicia. En: Reflexiones sobre el medio ambiente en Galicia, editado por J.J. Casares. Consellería de Medio Ambiente, Xunta de Galicia.
- Wittenberg, H. 2003. Effects of season and man-made changes on baseflow and flow recession: case studies. *Hydrol. Process.*, 17: 2113-2123 pp.