

ANÁLISIS DE LA RESPUESTA HIDROLÓGICA EN UNA CUENCA FLUVIAL Y SU RELACIÓN CON LA PRECIPITACIÓN

Alvarez, M., Varela, C., Soto, B., Lopez, E. y Díaz-Fierros, F.

*Departamento de Edafología. Facultade de Farmacia. Universidade de Santiago.
15706 Santiago de Compostela, España*

SUMMARY

Analysis of the hydrological response of a catchment and its relation to antecedent rainfall

The rainfall and streamflow were measured over one year in a catchment of 11.2 km² sited in Boqueixon (A Coruña). From annual discharge, we selected 9 events and the effective precipitation and runoff coefficient was calculated for each one. Afterwards, the antecedent precipitation index was calculated by the equation $I_t = I_0 K^t$ where I_t and I_0 are values of the antecedent precipitation index on day t and at the beginning of the calculation period, and K is a constant usually varying between 0.85 and 0.95, and t is the time (in days) since the last rainfall. Also we estimated the infiltration losses in each event by means of the infiltration index (F), which consider the infiltration rate as a constant value during the event. Likewise, we observed a good relationship between the infiltration index and the antecedent precipitation index; the highest values of antecedent precipitation index correspond to highest values of infiltration index and viceversa. The results obtained in this catchment show both index are good estimators of hydrological behaviour but it is necessary to verify them in other catchments.

Key words: Hydrological response, antecedent precipitation index, infiltration index.

RESUMEN

En una cuenca fluvial con un área de 11.2 Km² situada en Boqueixón (Coruña) se midió durante un año la precipitación y el caudal de forma continua. Del registro anual del caudal se seleccionaron 9 picos de avenida para los que se calculó la precipitación efectiva y los coeficientes de escorrentía en cada uno de ellos. Posteriormente se determinó el índice de precipitación antecedente mediante la expresión $I_t = I_o K^t$ en la cual I_t representa la precipitación antecedente para un día t , I_o es la precipitación antecedente al inicio del período de cálculo, K es un coeficiente que toma el valor entre 0.85 y 0.95 y t es el período de tiempo (días) transcurrido desde el último día con lluvia. Paralelamente se estimaron las pérdidas por infiltración durante los eventos de precipitación analizados, éstas se consideran constantes a lo largo del evento y se estimaron mediante el índice de infiltración F . Asimismo, se observó que existe una buena relación entre la tasa de infiltración y el índice de precipitación antecedente; con el aumento de este último la tasa de infiltración disminuye, mientras que para valores bajos del mismo, es decir en condiciones de sequedad del suelo, el índice F alcanza sus máximos valores. Los resultados observados en esta cuenca parecen indicar que ambos índices son adecuados para la estimación de la respuesta hidrológica de cuencas fluviales, aunque es necesario comprobar su eficacia en otras cuencas de tamaños diferentes.

Palabras clave: Respuesta hidrológica, índice de precipitación antecedente, índice de infiltración.

INTRODUCCIÓN

El estudio de la respuesta hidrológica de las avenidas en pequeñas cuencas fluviales, así como su posterior utilización en el pronóstico del comportamiento de las mismas, ha sido un campo de estudio frecuente dentro de la hidrología (CEBALLOS and SCHNABEL, 1998).

Dado que los datos de precipitación son más fáciles y menos costosos de obtener que los de escorrentía, la obtención de relaciones estrechas entre ambos permite dar estimaciones más fiables de la frecuencia de grandes caudales. Usualmente las relaciones lluvia-escorrentía han sido las más utilizadas (OMM, 1994).

Para el pronóstico de la respuesta hidrológica ante un evento de lluvias pueden utilizarse diversos índices o parámetros que permiten pronosticar con cierta fiabilidad el comportamiento hidrológico de las cuencas. Sin embargo, su uso no ha sido frecuente en nuestro país y su aplicación ha estado restringido a ciertas zonas, por lo que su aplicabilidad o la idoneidad de los mismos en las cuencas de la zona húmeda española no es muy conocida. La importancia de conocer el comportamiento hidrológico de las cuencas reside en la posibilidad de estimar los recursos hídricos aportados por éstas y la respuesta ante eventos extremos y evitar de este modo riesgos por fuertes crecidas.

En este trabajo hemos analizado la aplicación del índice de precipitación antecedente como parámetro indicador de la respuesta hidrológica de una cuenca ante la ocurrencia de eventos extremos, para ello se ha verificado su validez en una pequeña cuenca rural en el ejemplo de 9 eventos de los más significativos ocurridos durante el año 1994.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se ha realizado en la cuenca del río Carballas, una pequeña cuenca rural con un área de 11.2 Km², situada en la provincia de La Coruña, la cual se sitúa en la vertiente derecha del río Ulla, vertiendo sus aguas en éste a través del río Brandelos (fig. 1). Los usos predominantes del suelo en la cuenca son forestal (59% de la superficie total) y agrícola, principalmente pastizales y maíz forrajero (41% de la superficie).

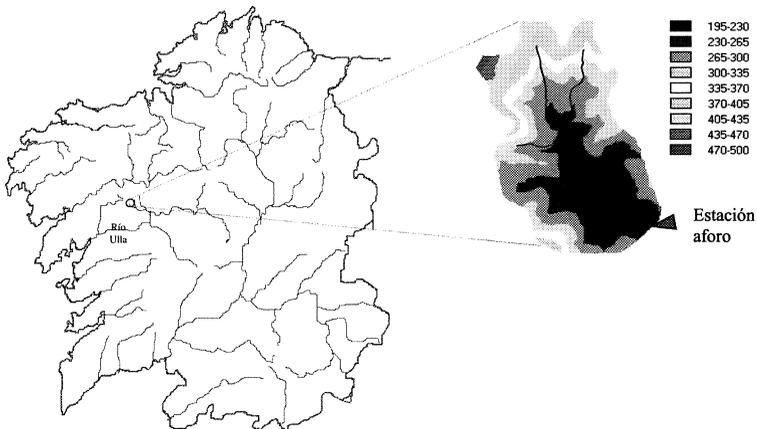


Figura 1. Situación geográfica de la cuenca del río Carballas y distribución altitudinal de la misma.

Las características principales de la cuenca se detallan en la tabla 1. En general la cuenca presenta una topografía dominada por perfiles cóncavos con un cierto alargamiento en su eje mayor.

Area (Km ²)	11.07
Perímetro (Km)	14.75
Pendiente media de la cuenca (%)	13.3
Longitud de la cuenca (Km)	5.25
Longitud del cauce principal (Km)	6.0
Pendiente del cauce principal (%)	2.21
Densidad de drenaje (Km Km ²)	2.58

Tabla 1. Características generales de la cuenca del río Carballas.

Durante el año 1994 se determinaron los niveles de agua en el punto de cierre de la cuenca de estudio mediante una sonda capacitiva conectada a un colector de datos. Los datos de nivel de agua fueron recogidos en intervalos de 10 minutos.

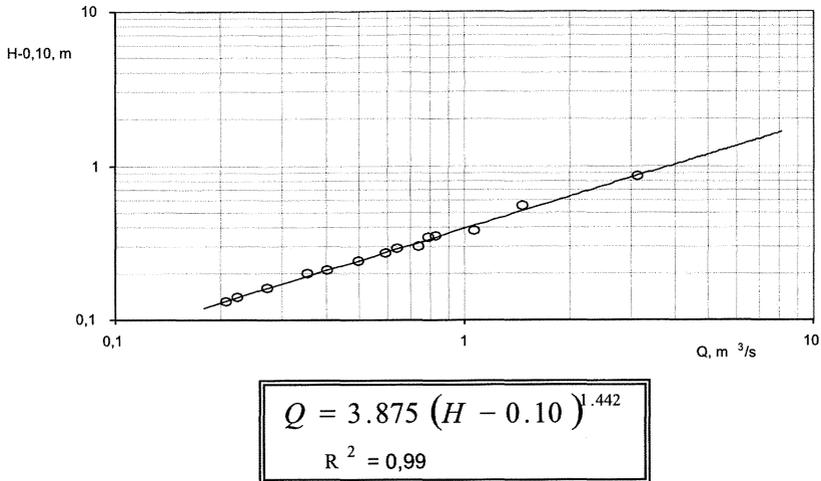


Figura 2. Curva de gasto realizada en el río Carballas.

Para determinar los caudales correspondientes se realizó una curva de gasto mediante aforos realizados a mano con un molinete (OMM, 1980). La ecuación de la curva de gasto obtenida así como cada uno de los aforos realizados se muestran en la figura 2.

De forma simultánea en el interior de la cuenca se situó una estación climatológica automática de la cual hemos obtenido los datos de precipitación en intervalos de 10 minutos.

Para el análisis de la relación precipitación-escorrentía hemos considerado 9 eventos ocurridos a lo largo del año hidrológico en los cuales hemos calculado el volumen de la precipitación, m^3 , (Wp) que cae en la cuenca; el volumen de la avenida, m^3 , (Wa); el coeficiente de escorrentía (CE), entendido como la relación entre el volumen de la avenida y el volumen de precipitación, y por último el caudal máximo, $m^3 s^{-1}$, ($Qmax$).

Posteriormente hemos determinado dos índices relacionados con las características de la respuesta hidrológica: el índice de humedad antecedente (I) y el índice de infiltración. (F). El primero de ellos, I , fue desarrollado para la predicción fluvial y para su cálculo se ha utilizado la expresión:

$$I_t = I_o K^t$$

donde I_t es el índice de precipitación antecedente, I_o es el valor del índice de precipitación antecedente al comienzo del periodo de estudio, K es el factor de recesión y t es el período de tiempo (en días) transcurrido desde el último día con lluvia. En este caso hemos utilizado para I_o un valor de 60 mm, el cual representa aproximadamente el agua disponible en el suelo para el comienzo del periodo de estudio que fue a principios de octubre (SOTO y DÍAZ-FIERROS, 1996); el valor del factor de recesión K utilizado en nuestro calculo fue 0.9, valor que suele ser recomendado para la mayoría de los casos (DUNNE and LEOPOLD, 1978).

El índice de infiltración, F , es un índice de pérdidas constantes y representa la lámina de precipitación que se infiltra en el suelo y por lo tanto no participa en el volumen de la avenidas. Este índice F se calculó a partir de los 9 hidrogramas considerados y separando en cada uno de ellos el flujo basal y el flujo rápido. Posteriormente se determinó el volumen de escorrentía superficial Wa así como la cantidad de precipitación que justificaría ese volumen de escorrentía, denominada precipitación efectiva. El índice de infiltración resulta, por lo tanto, de la diferencia entre la precipitación efectiva (aquella que dió lugar a la escorrentía superficial) y la precipitación total.

RESULTADOS

El hidrograma registrado durante el año 1994 se muestra en la figura 3 en el que se han señalado a modo de ejemplo 3 de las avenidas registradas en ese año y que han sido seleccionadas para su posterior estudio. Los características de cada una de las 9 avenidas estudiadas se muestran en la Tabla 2. Los coeficientes de escorrentía (CE) obtenidos son en general bajos (menores de 0.1), excepto el evento 1 en el que además se registró el mayor caudal máximo con un valor de $3.1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

La relación entre el volumen de la avenida (Wa) y el volumen de precipitaciones (Wp) en los 9 eventos consideradas se muestra en la figura 4 en la que se observa la existencia de una aceptable relación lineal con un valor R^2 de 0.94.

		Q_{max} , $m^3 s^{-1}$	W_a , m^3	W_p , m^3	CE	F , $mm h^{-1}$	I_t , mm
1	31/12/93	3.099	27430	268800	0.102	3.6	74.4
2	13/01/94	2.255	25601	282240	0.091	2.3	144.0
3	7/02/94	0.886	4754	114240	0.042	2.8	86.3
4	14/02/94	0.768	2670	114245	0.023	5.02	49.5
5	20/02/94	0.917	5852	125440	0.047	3.55	63.4
6	15/05/94	0.795	6218	154560	0.040	3.98	78.3
7	17/05/94	0.463	2560	100800	0.025	3.73	79.1
8	19/05/94	1.555	9875	194880	0.051	3.5	86.5
9	7/12/94	0.640	3694	129920	0.028	8.1	47.5

Tabla 2. Características principales de las avenidas estudiadas. (Q_{max} representa el caudal máximo, W_a es el volumen de la avenida, W_p es el volumen de precipitación, CE es el coeficiente de escorrentía, F es el índice de infiltración y I_t es el índice de precipitación antecedente).

Aunque la relación entre W_a y W_p es buena y por lo tanto, la estimación del volumen de la avenida es factible a partir del volumen de precipitación, la elaboración de nuevos índices para el pronóstico y análisis de las avenidas, permite no sólo realizar pronósticos fiables del volumen de la avenida sino que además facilita el pronóstico de otras características de la avenida como el caudal punta o la reconstrucción del hidrograma, características importantes desde el punto de vista del diseño y seguridad de construcciones hidráulicas. La variación en la respuesta hidrológica de las cuencas es debida a diferencias en la intensidad y duración de la tormenta, así como en las condiciones de humedad antecedente del suelo en cada una de ellas (DUNNE and LEOPOLD, 1978). Una posibilidad de mejorar esta relación es introduciendo un factor que incorpore la humedad del suelo. El factor que hemos considerado en nuestro caso ha sido el índice de precipitación antecedente.

El índice de precipitación antecedente (I_t) calculado para el año hidrológico de estudio se muestra en la figura 5 y el valor resultante al inicio de cada uno de los eventos estudiados se muestra en la tabla 2.

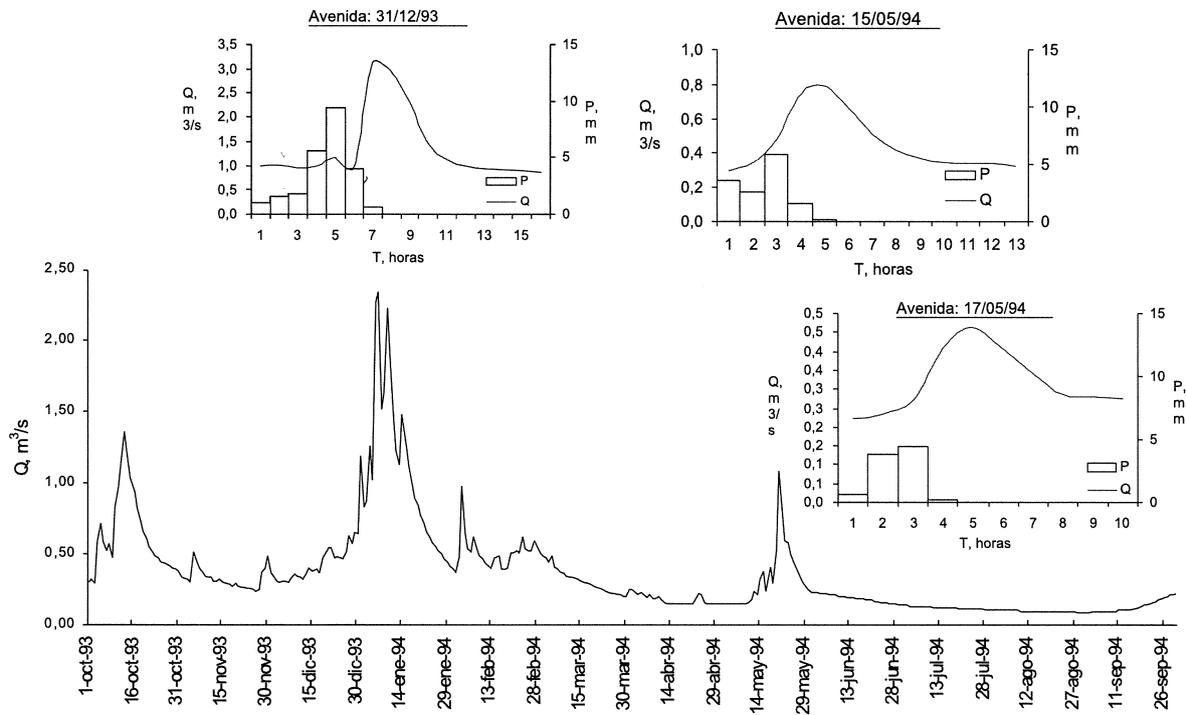


Figura 3. Hidrograma anual registrado en la cuenca del río Carballas y 3 de las avenidas seleccionadas.

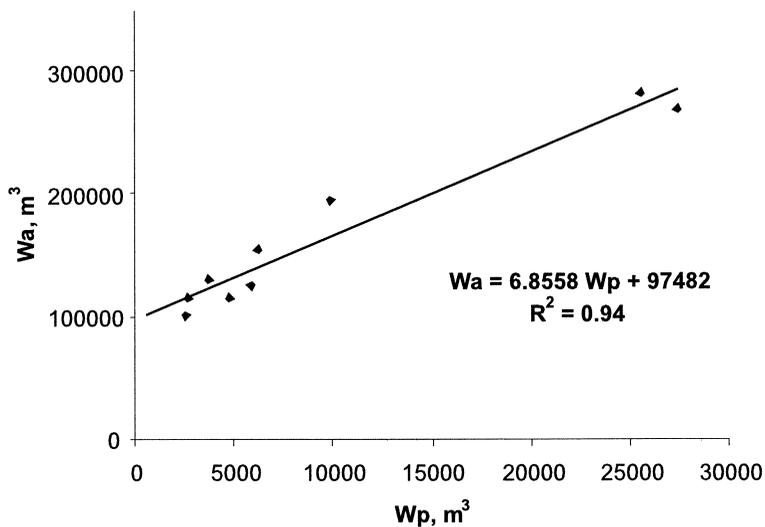


Figura 4. Relación entre el volumen de precipitación (W_p) y el volumen de la avenida (W_a) para las 9 avenidas estudiadas.



Figura 5. Índice de precipitación antecedente (I_t) calculado para el año hidrológico 1993-1994 en la cuenca del río Carballas.

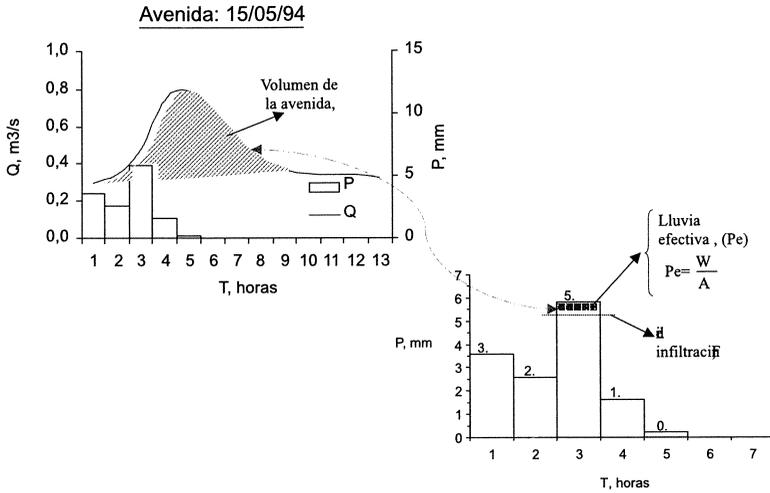


Figura 6. Esquema en el que se representa el significado del índice de infiltración (F) y su método de cálculo.

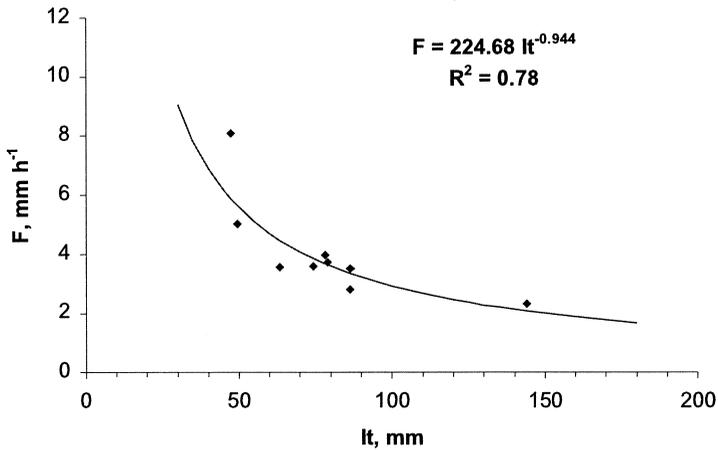


Figura 7. Relación existente entre el índice de precipitación antecedente (It) y el índice de infiltración (F) para las 9 avenidas estudiadas.

Otro de los índices que determinan la respuesta hidrológica de una cuenca y que se encuentra íntimamente relacionado con el índice de precipitación antecedente es el índice de infiltración F . La metodología utilizada para el cálculo de este índice se muestra en la Figura 6 para el caso del evento 8 ocurrido el 15/05/1994, en el que la tasa de infiltración fue de 3.98 mm h^{-1} , es decir, sólo las precipitaciones con intensidades superiores a 3.98 mm h^{-1} han generado la escorrentía correspondiente a ese evento.

La relación existente entre ambos índices, I_t y F se muestra en la figura 7 con una relación entre ellos exponencial negativa y un R^2 de 0.78. Esta relación negativa es justificada por el hecho de que la infiltración de agua en el suelo es mayor cuanto más seco está el suelo (cuando el valor del índice de precipitación antecedente es menor). Como se puede observar en la tabla 2 los coeficientes de escorrentía más bajos se corresponden con aquellos episodios en los que el índice de precipitación antecedente es menor (episodios 4 y 9), el episodio 7 presenta un valor de CE bajo pero en este caso su valor está condicionado por la baja intensidad de la precipitación (la intensidad máxima fue de 4.4 mm h^{-1}).

La buena relación entre ambos índices, el índice de infiltración y el índice de precipitación antecedente, nos permite que mediante la combinación de ambos se pueda lograr una buena estimación de parámetros ligados a la respuesta hidrológica de cuencas tales como el caudal máximo o el hidrograma de un evento.

CONCLUSIONES

Se ha observado en la cuenca del río Carballas la existencia de una buena relación entre el volumen de precipitación (W_p) y el volumen de la avenida (W_a), lo cual nos permite estimar de forma adecuada el volumen de escorrentía para un evento determinado conociendo únicamente la lámina de precipitación. Además hemos observado que otros índices tal como el Índice de Precipitación Antecedente (I_t) o el Índice de Infiltración (F) son estimadores idóneos para la caracterización de la respuesta hidrológica, por lo menos en cuencas como la estudiada de tamaño medio ($\approx 10 \text{ Km}^2$ de superficie). Se hace necesario, sin embargo, la validación de dichos índices en cuencas de diferentes tamaños y con regímenes pluviométricos diferentes.

BIBLIOGRAFÍA

CEBALLOS, A. and SCHNABEL, S. 1998. Hydrological behaviour of a small catchment in the dehesa landuse system (Extremadura, SW Spain). *J. Hydrology*, 210: 146-160.

DUNNE, T. and LEOPOLD, L.B. 1978. *Water in Environmental Planning*. W:H: Freeman and Company. New York.

ORGANIZACIÓN METEOROLOGICA MUNDIAL. 1980. *Manual on Stream Gauging Volúmenes I y II. Informe de Hidrología Operativa N° 13*. Ginebra.

ORGANIZACIÓN METEOROLOGICA MUNDIAL. 1994. *Guía de Prácticas Hidrológicas. OMM-N° 168*.

SOTO, B. y DÍAZ-FIERROS, F. 1996. Balance hídrico. En: *As Augas de Galicia*. Coordinado por Díaz-Fierros, F. Editado por Consello da Cultura Galega. Santiago