MONITORIZACIÓN Y MODELIZACIÓN DE LA INTERCEPCIÓN FORESTAL EN EL PRE-PIRINEO CATALÁN. ENSEÑANZAS PARA EL ESTUDIO DE LAS CONSECUENCIAS HIDROLÓGICAS DE LOS CAMBIOS DE USO DEL SUELO

P. Llorens

Institut de Ciències de la Terra 'Jaume Almera' (CSIC). BARCELONA

1.- INTRODUCCIÓN

En las cuencas experimentales de Vallcebre (Alto Llobregat, Pre-Pirineo) se está realizando desde 1989 el estudio de las consecuencias de los cambios de uso del suelo en la hidrología y la dinámica de sedimentos. El estudio de este área tiene un doble interés hidrológico: (a) Ser una área representativa de la montaña Mediterránea con importantes cambios de uso del suelo. (b) Ser una área de cabecera y por tanto fuente de recursos hídricos (GALLART et *al.*, 1998).

Los estudios de intercepción de la lluvia han demostrado que la estructura de la cubierta y la tasa de evaporación del agua interceptada son los principales parámetros que determinan las pérdidas por intercepción, y concluyen que la evaporación del agua interceptada juega un papel decisivo en el balance hidrológico de una cuenca forestal (BOSCH & HEWLETT, 1982).

El objetivo de este trabajo es el de presentar los principales logros alcanzados y la problemática planteada en la monitorización y la modelización de la intercepción del agua de lluvia en el Alto Llobregat, y el papel que juega este flujo en el balance hidrológico en vista a los posibles escenarios de cambio ambiental.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Monitorización

Una parcela experimental para la medición de los flujos de intercepción, en una área de reforestación espontánea, fue instalada en la cuenca de Cal Parisa en 1993. Dicha parcela esta formada por una cubierta densa (2400 pies ha^{-1}) y monoespecífica de *Pinus sylvestris* sin sotobosque. La instrumentación de esta parcela la forman 2 pluviómetros registradores situados en un claro para colectar la precipitación bruta, 9 canales de trascolación de $1m^2$ y 7 anillos de medición de la escorrentía cortical. Varios dispositivos de tipo balancín sirven para la medición de los flujos colectados, que son registrados por un colector de datos a intervalos de 5 minutos (LLORENS et *al.*, 1997). Paralelamente, se dispone de una estación meteorológica automática de referencia, con registro cada 5 minutos de: Radiación neta y global, flujo de calor en el suelo, gradiente de temperatura y humedad del aire, y velocidad y dirección del viento.

2.2. Modelización

Hasta los años 70 los intentos de generalización de las pérdidas por intercepción generalmente se limitaban a simples regresiones entre precipitación y trascolación (ZINKE, 1967; HELVEY & PATRIC, 1965). Estas interpretaciones, al ser puramente empíricas, estaban claramente limitadas en su uso. No fue hasta 1971 en que RUTTER y colaboradores construyeron el primer modelo de intercepción de base física que trabajaba con datos diarios meterológicos y de precipitación (RUTTER et *al.*, 1971). Posteriormente GASH (1979) desarrolló un modelo analítico que combinaba algunas simplificaciones basadas en los primeros modelos de regresión con las propuestas de base física realizadas en el modelo de Rutter. Las ventajas del modelo de Gash es que su simplicidad lo hacen más fácilmente aplicable si se dispone solo de datos meteorológicos standard.

El modelo de Gash ha sido validado para condiciones climáticas variadas, desde climas templados-húmedos hasta climas tropicales, pero en la actualidad se tienen pocas referencias de su validación en climas Mediterráneos (LLORENS, 1997).

3. RESULTADOS

3.1. Resultados experimentales

La trascolación medida en la parcela experimental durante el período Julio 1993-Diciembre 1997 representa un 75% de la precipitación, mientras que la escorrentía cortical solo representa un 1.4% de la lluvia (Fig. 1). Así pues, las pérdidas por intercepción representan un poco más del 23% de la precipitación bruta. Si tenemos en cuenta que la precipitación media en Vallcebre se sitúa en los 924 mm anuales, tendremos que las pérdidas anuales por intercepción en las zonas reforestadas son superiores a los 200 mm.

Estas tasas de intercepción son comparables a las obtenidas en zonas de clima templado-húmedo para la misma especie (LLORENS & GALLART, 1996).

Un análisis detallado de los eventos lluviosos durante un periodo de 2 años y medio

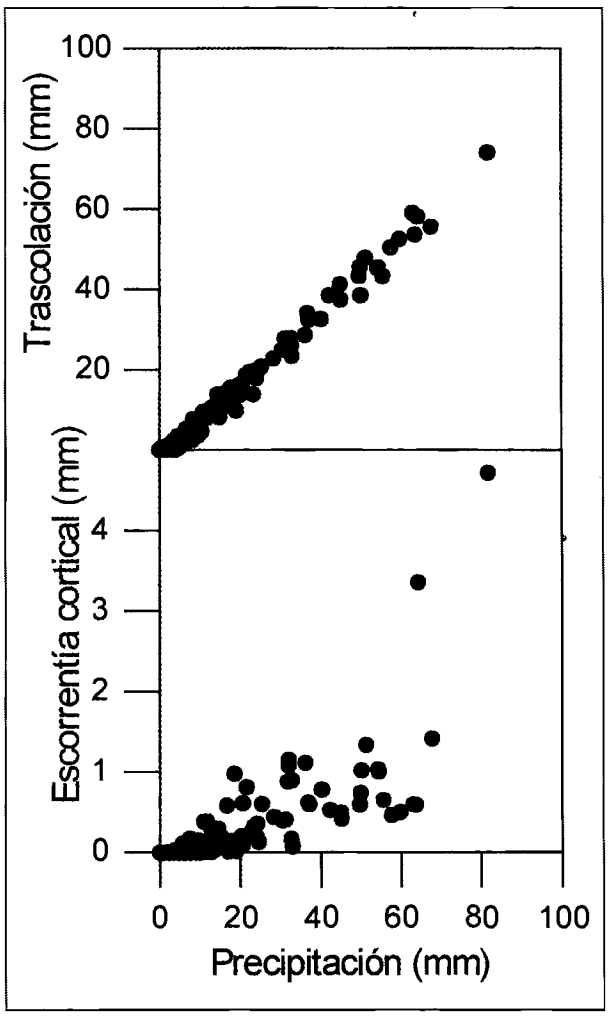


Fig. 1. Relación entre precipitación, trascolación y escorrentía cortical durante los eventos del período 1993-97

(Llorens et al., 1997) indica que existen dos tipos de eventos muy diferentes (Tabla 1):

(a) un conjunto de eventos con procesos de características similares a las descritas para áreas templado-húmedas. Estos eventos tienen una intercepción moderada debido a las condiciones atmosféricas húmedas. En estos casos la eficacia de las bajas tasas de evaporación esta determinada por la duración del período en que la cubierta esta mojada (Clase I).

(b) Eventos con procesos de características mediterráneas. En estos eventos las condiciones atmosféricas son secas (Clases II y III), entre ellos se diferencian sólo por la intensidad de la lluvia y esta diferencia es

Tabla 1. Clasificación de los eventos estudiados en Cal Parisa. D=duración del evento, Ip=intensidad de la precipitación, P=precipitación, I=intercepción

Clase	D	Ip	Condiciones atmosféricas	Tasa Intercepción	% P representan	% I representan
I	largos	baja	húmedas	15%	62%	57%
II	cortos	alta	secas	13%	24%	18%
III	medios	baja	muy secas	49%	8%	23%

Tabla 2. Principales parámetros utilizados para la modelización utilizando el modelo de Gash y métodos utilizados en cada simulación para calcularlos. S = capacidad máxima de almacenamiento de las copas, p = coeficiente de caida libre, $\bar{E}$ = tasa de evaporación, $\bar{R}$ = tasa de precipitación. Relación P-T=relación precipitación-trascolación, Relación P-I=relación precipitación-intercepción

	Parámetros			
	Estructurales		Climáticos	
	S	p	$\bar{E}$	$\bar{R}$
	(mm)	(mm mm^{-1})	(mm h^{-1})	(mm h^{-1})
'REFERENCIA'	Relación P-T	Relación P-T	Relación P-I	Medida
	1.34	0.125	0.47	3.83
'PREDICTIVO'	Bibliografía	Bibliografía	Penman-Monteith	Medida
	1.26	0.096	0.36	3.83

la que da mayores o menores tasas de intercepción en sentido recíproco.

3.2. Resultados de la modelización

El modelo analítico de GASH (1979) fue aplicado para un conjunto de 147 eventos lluviosos recogidos en el período Julio 1993-Diciembre 1995 (LLORENS, 1997). En dicha modelización se emplearon dos conjuntos de parámetros (Tabla 2):

(a) Conjunto de 'Referencia': conjunto de parámetros obtenido utilizando el procedimiento ordinario tal como sugiere el autor del modelo, a partir de relaciones experimentales entre precipitación, trascolación y/o intercepción.

(b) Conjunto 'Predictivo': conjunto de parámetros obtenido a partir de información meteorológica ordinaria e información bibliográfica. Los parámetros de cubierta se obtuvieron a partir de información bibliográfica de estudios hechos para la misma especie, y la tasa de evaporación se obtuvo utilizando la fórmula de Penman-Monteith (MONTEITH, 1965), para una cubierta forestal, con una resistencia estomática cero.

Estos dos conjuntos de parámetros se obtuvieron con la finalidad de comparar una modelización optimizada al diseño del modelo ('referencia') y una modelización realizable en áreas dónde no se dispone de información experimental ('predictivo').

Los resultados globales de dicha comparación para el período de estudio (Fig. 2) muestran que en ambos casos las diferencias entre la intercepción observada y simulada están dentro del rango de diferencias encontradas en la bibliografía para este modelo y esta especie en bosques templados (LLORENS, 1997). Utilizando los parámetros de 'referen-

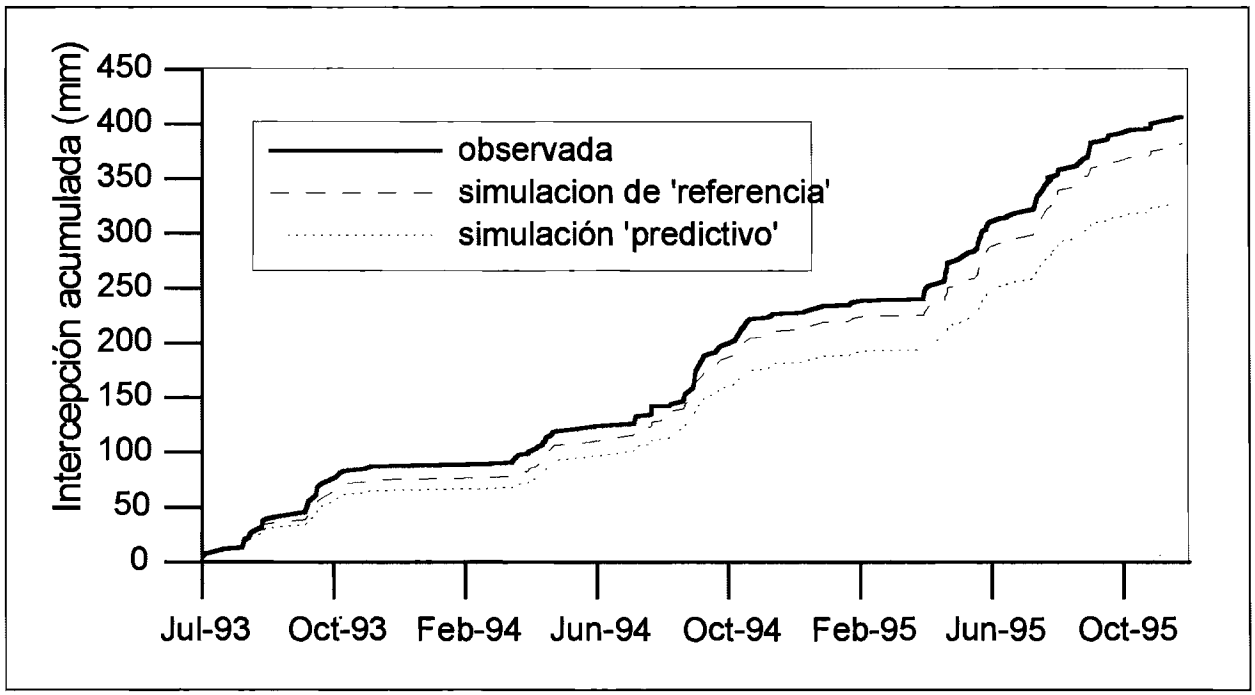


Fig. 2. Intercepción acumulada observada y simulada para los 147 eventos del período Julio 93-Diciembre 95

cia' el modelo subestima la intercepción medida en un 7%, mientras que utilizando los parámetros 'predictivos' el modelo la subestima en un 19%.

En cambio si se comparan las observaciones con los resultados simulados evento por evento se observa que el modelo en algunos casos claramente sobrestima la intercepción medida y en otros casos claramente la subestima. La observación de los eventos por separado remarca la sensibilidad del modelo a la determinación de la tasa de evaporación del agua interceptada ($\bar{E}$).

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El presente trabajo expone la problemática por lo que se refiere a los recursos hídricos de la reforestación espontánea de las zonas de cabecera. En el caso concreto de las cuencas de Vallcebre se pone de manifiesto que un porcentaje próximo a la cuarta parte de la lluvia se pierde anualmente hacia la atmósfera por intercepción. Al ocurrir dichas pérdidas durante los momentos húmedos, hemos de tener en cuenta, al valorar el impacto hidrológico de los cambios de uso del suelo, que se substraen casi directamente del agua de escorrentía o de recarga de los acuíferos.

Los resultados de la modelización sugieren que el modelo analítico de Gash es suficientemente robusto para ser aplicado en condiciones de montaña mediterránea con la finalidad de obtener valores totales, por ejemplo a escala anual, de pérdidas por intercepción. Pero no es útil para la obtención de predicciones a una escala más detallada, como por ejemplo a la escala de evento.

Concretamente, la simulación con el conjunto de parámetros 'predictivos' nos indica que puede ser utilizable en áreas donde se dispone solo de información meteorológica básica en continuo para este tipo de valoración anual, asumiendo unos errores del 20% sobre la intercepción, y por tanto de un 5% sobre la precipitación.

Este trabajo pone de manifiesto la necesidad de estudios experimentales en ambientes mediterráneos, dada la sensibilidad del proceso de la intercepción y de su modelización principalmente a las condiciones atmosféri-

cas, pero también a los parámetros estructurales.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha estado financiado por el proyecto EPROHIDRO (HID98-1056-C02-01) y por un contrato post-doctoral del CSIC.

La autora agradece a: Oscar Avila, Francesc Gallart, Jérôme Latron, David Regüés, Cinta Salvany y Montserrat Soler, su colaboración en la instalación de la parcela experimental y en el trabajo de campo.

6. BIBLIOGRAFÍA

BOSCH, J.M., HEWLETT, J.D. (1982): A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. J. Hydrol., 55: 3-23.

GALLART, F., LLORENS, P., LATRON, J., REGÜÉS, D., SALVANY, C. (1998): Las cuencas experimentales de Vallcebre (I): Funcionamiento hidrológico. in: Investigaciones recientes de la Geomorfología Española, A. Gómez & F. Salvador (Eds): 187-192.

GASH, J.H.C. (1979): An analytical model of rainfall interception by forests. Quar. J. Roy. Met. Soc., 105(443):43-55.

HELVEY, J.D., PATRIC, J.H. (1965): Canopy and litter interception of rainfall by hardwoods of eastern United States. Water Resour. Res., 1: 193-206.

LLORENS, P. (1997): Rainfall interception by a *Pinus sylvestris* forest patch overgrown in a Mediterranean mountainous abandoned area. II. Assessment of the applicability of the Gash analytical model. J. Hydrology, 199: 346-359.

LLORENS, P., GALLART, F. (1996): Forestation and water resources: Hydrological consequences of vegetation cover recovery in headwater areas. First European Conference on Erosion Control, Vol. I, Lecture Book: 175-182.

LLORENS, P.; POCH, R.; LATRON, J., GALLART, F. (1997): Rainfall interception by a *Pinus sylvestris* forest patch overgrown in a Mediterranean mountainous abandoned area. I. Monitoring desing and results down to the event scale. J. Hydrology, 199: 331-345.

RUTTER, A.J., KERSHAW, K.A., ROBINS, P.C. , MORTON, A.J. (1971): A predictive model of rainfall interception in forests. I.Derivation of the model from observations in a plantation of Corsican pine. Agric. Meteorol., 9:367-384.

ZINKE, P. (1967): Forest interception studies in the United States. In: W.E. Sopper and Lull (Eds): Forest Hydrology, Pergamon Press, Oxford :137-161.