FLUJOS DE AGUA EN EL SISTEMA SUELO-PLANTA-ATMÓSFERA EN UNA PARCELA DE *PINUS SYLVESTRIS* EN CONDICIONES DE MONTAÑA MEDITERRÁNEA (PREPIRINEO CATALÁN)

P.LLORENS; I. OLIVERAS
Instituto de Ciencias de la Tierra 'Jaume Almera', CSIC

RESUMEN

El papel de los cambios en los usos del suelo sobre los recursos hídricos en áreas de cabecera es uno de los principales objetivos de las investigaciones en las cuencas de Vallcebre (Pre-Pirineo catalán). Estas cuencas experimentales son representativas de áreas de montaña Mediterránea con reforestación espontánea por *Pinus sylvestris* producida como consecuencia del abandono de las labores agrícolas desde mediados del siglo XX. En ellas, se está investigando, desde 1989, el funcionamiento hidrológico y la dinámica de sedimentos.

Dentro de este contexto, en el presente trabajo se incluyen los resultados obtenidos de la monitorización de los flujos de agua en el sistema suelo-planta-atmósfera de un rodal de Pino albar desde el año 1994 hasta la actualidad. Este estudio analiza con detalle los flujos de agua hacia la atmósfera por transpiración y por interceptación de la lluvia, así como los flujos internos del sistema, a partir de la monitorización en continuo de las diferentes variables que intervienen en dichos flujos.

El trabajo ha puesto de manifiesto la importancia para los recursos hídricos de la interceptación del agua de lluvia. Esta supone una pérdida de entradas al sistema de aproximadamente un 25% de la precipitación incidente, con una importante variabilidad dependiendo de las condiciones meteorológicas reinantes durante los eventos. Por otro lado, se ha hecho patente la fuerte limitación que imponen las condiciones de humedad edáfica a la transpiración forestal, incluso en el ambiente estudiado donde las entradas por precipitación llegan a igualar al valor de la evapotranspiración de referencia.

P.C.: *Pinus sylvestris*, Evapotranspiración, Interceptación, Flujo de savia.

SUMMARY

The role of land use and cover changes on the water resources of source areas is one of the main research objectives at the Vallcebre experimental catchments (Pre-Pyrenees). These experimental catchments are representative of Mediterranean mountain areas with spontaneous aforestation by *Pinus sylvestris* as a consequence of the abandonment of agriculture since the 50's. The main research studies carried in this experimental catchments are their hydrological behaviour and their sediments dynamics.

In this context, this work presents the results of the monitoring of the soil-plant-atmosphere fluxes in a Scots pine patch since 1994. This study analysed the transpiration, the rainfall interception losses and the system internal fluxes. This analysis has been performed from the continuous monitoring of the diferent variables that participate in these fluxes.

This works underline the importance for the water resources of rainfall interception losses. This represents about 25% of the bulk rainfall. Interception have a high variability depending on the meteorological condition during rainfall events. On the other hand, it is manifest the role of soil water content as a limit factor of trees transpiration, even in the studied environment where the annual rainfall equals the reference evapotranspiration.

K.W.: *Pinus sylvestris*, Evapotranspiration, Interception, Sap flow.

INTRODUCCIÓN

El cambio de usos y cubiertas del suelo más antiguo y extendido en la costa Mediterránea hasta el siglo XX, ha sido la deforestación para la instalación de la agricultura, en la mayoría de los casos combinada con el pastoreo y el aprovechamiento de los bosques. A partir de mediados del siglo XX, debido a importantes cambios del sistema socioeconómico, se produce un abandono generalizado de las tierras de cultivo en las áreas de montaña (Lasanta, 1996). Una de las principales consecuencias del abandono de las actividades rurales tradicionales ha sido la recuperación espontánea o manejada de la cubierta forestal.

El estudio de las consecuencias hidrológicas de los cambios de usos del suelo en las áreas de

cabecera tiene que basarse en el análisis detallado del papel hidrológico de las diferentes cubiertas vegetales que forman el mosaico de usos de una área de montaña.

El área de estudio se enmarca dentro del Pre-Pirineo catalán, en la cabecera del río Llobregat. Esta área se está estudiando desde 1989 como representativa de zona de montaña con campos abandonados (Llorens, 1991). Las características de la cuenca y las modificaciones geoecológicas que ha comportado la actividad agrícola ha supuesto importantes cambios en su funcionamiento hidrológico.

Este trabajo presenta el estudio de los flujos de agua, transpiración e interceptación en un rodal de pino albar de reforestación espontánea.

MATERIAL Y MÉTODOS

La parcela experimental está situada a 1500 m de altitud y posee una orientación Sur. Ocupa una superficie de 198 m^2 con una cubierta monoespecífica de *Pinus sylvestris* sin sotobosque y con una densidad de 2700 pies/ha. Los árboles tienen una edad media de 39 años y alturas muy distintas, con una media de 10 metros (C.V: 28%), así como también diámetros aparentes muy heterogéneos (Oliveras, 2000).

Esta parcela consta del siguiente instrumental:

- Interceptación: 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).
- Transpiración: 6 sensores de flujo de savia bruta diseñados según el método de disipación térmica (Granier, 1985) conectados a 2 alimentadores a potencia contante. Las medidas son registradas en continuo cada 15 minutos (Oliveras & Llorens, 2001).
- Condiciones hídricas del suelo: 2 perfiles de humedad del suelo según el método TDR, que constan de cuatro sondas a 0-20, 20-40, 40-60 y 60-80 cm de profundidad y de medida semanales (Rabadà, 1995); dos perfiles de tensiometría con tres tensiómetros a 20, 40 y 60 cm de profundidad cada uno, uno con registro en continuo (cada 30 minutos) y otro de medida semanal.

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, velocidad y dirección del viento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La transpiración de los períodos estivales (mayo-septiembre) desde 1995 hasta el año 2.000 ha permitido realizar una agrupación en períodos húmedos y secos (de 3 años cada uno), según las condiciones de humedad del suelo (tabla 1).

Se ha realizado una regresión múltiple de la transpiración (T) versus la evapotranspiración de referencia (Eo) y la humedad del suelo (HS) (Fig. 1). En años húmedos, no se ha observado una relación significativa entre la transpiración y la humedad del suelo ($t = 1.089$; $p = 0.284$), mientras que esta relación si es significativa para años secos ($t=5.502$; $p = 0.000$).

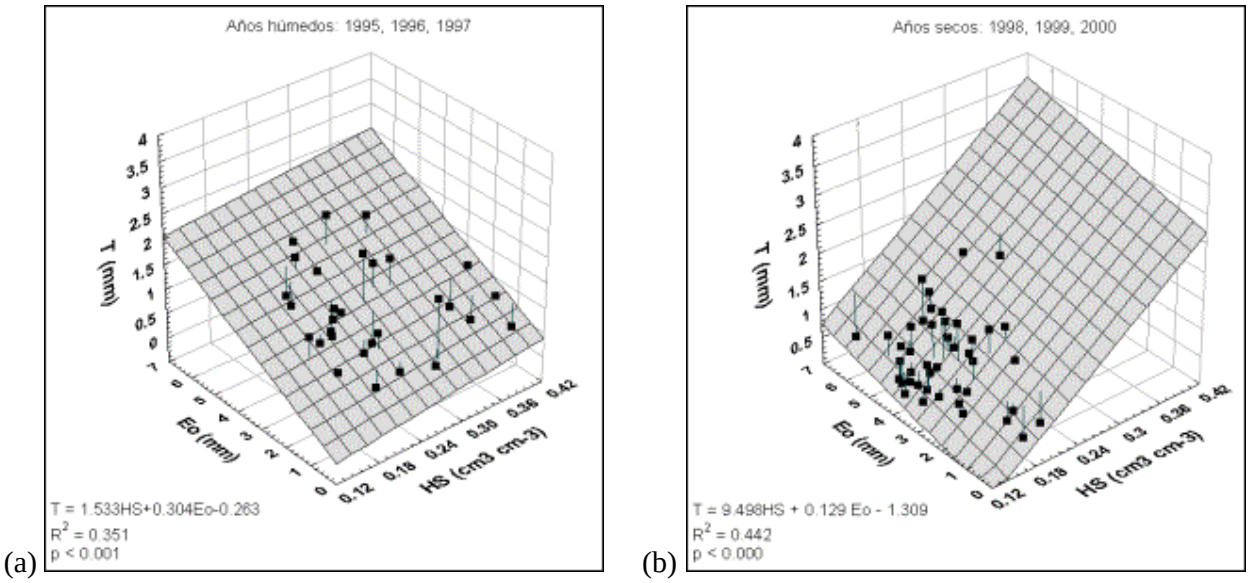
Tabla 1. Valores medios de: Evapotranspiración de referencia (Eo), humedad del suelo (Hs) y transpiración (T), para los años húmedos y secos. La diferencia entre años secos y húmedos es estadísticamente significativa ($p < 0.0001$).

Período	Años	Eo (mm día^{-1})	HS ($cm^3 cm^{-3}$)	T (mm día^{-1})
Húmedo	1995 a 1997	3.1	0.27	1.3
Seco	1998 a 2000	3.6	0.18	0.4

Aunque la relación entre Eo y T es significativa para ambos períodos, la correlación entre ambas variables es alrededor del 50% menor para años secos que para húmedos.

Estos resultados ponen de manifiesto la importante limitación que ejerce la disponibilidad hídrica sobre la transpiración de *Pinus sylvestris*, y como éste regula sus pérdidas de agua en condiciones de estrés hídrico, independientemente de la demanda evaporativa de la atmósfera. En cambio, cuando no existen

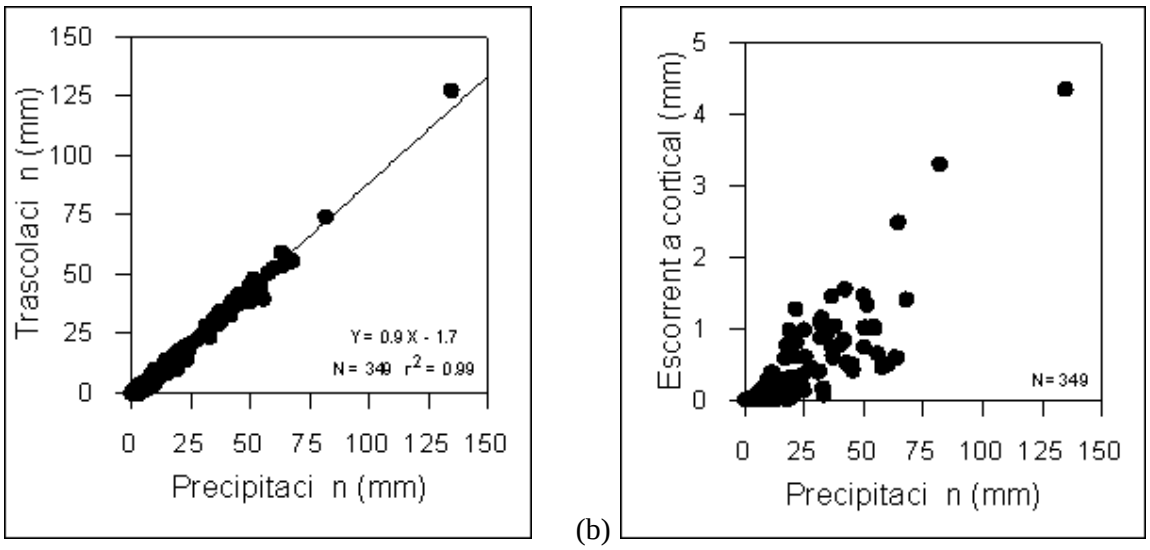
limitaciones hídricas importantes, la transpiración responde proporcionalmente a la evapotranspiración de referencia.



(a) (b)

Figura 1. Regresiones lineales múltiples de la transpiración (T) versus la evapotranspiración de referencia (Eo) y la humedad del suelo (HS) para (a) años húmedos; y (b) años secos. La superficie gris representa la regresión, mientras que los puntos representan los datos experimentales.

La trascolación medida en la parcela experimental durante el período Julio 1993-Agosto 2000 representa alrededor del 74% de la precipitación, mientras que la escorrentía cortical solo representa un 2% de la lluvia (Fig. 2). Así pues, las pérdidas por interceptación representan un poco más del 24% 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 interceptación en las zonas reforestadas son superiores a los 200 mm. Estas tasas de interceptación son comparables a las obtenidas en zonas de clima templado-húmedo para la misma especie (Llorens & Gallart, 1996).



(a) (b)

Figura 2. Relaciones entre la precipitación y (a) la trascolación, (b) escorrentía cortical para el período 1993-2000.

Un análisis detallado de los eventos lluviosos durante un periodo de 2 años y medio (Llorens et al., 1997) indica que existen dos tipos de eventos muy diferentes (Tabla 2): (a) un conjunto de eventos con

procesos de características similares a las descritas para áreas templado-húmedas. Estos eventos tienen una interceptación 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 la que da mayores o menores tasas de interceptación en sentido recíproco.

Tabla 2. Clasificación de los eventos en función de su duración, la intesidad de lluvia y las condiciones atmosféricas.

clase	**Duración (h)**		**Ip (mm h^{-1})**		**Cond. Atmosf. D_{sat} (mb)**		**tasa I**	**% P**
I	largos	26	baja	1.6	húmedas	0.3	15%	62%
II	cortos	5	alta	7.6	secas	1.1	13%	24%
III	medios	12	baja	1.2	muy secas	2.0	49%	8%

I_p= intensidad de la precipitación. D_{sat}=déficit de saturación. I=interceptación. P=Precipitación.

En la figura 3 se representa las pérdidas de agua hacia la atmósfera (interceptacióny transpiración), junto con la evapotranspiración de referencia, la humedad del suelo y la precipitación para el mismo período (15 al 30 de Junio) de dos años distintos, uno húmedo (1995) y otro seco (1999).

Puede observarse (Fig. 3) que durante el período de estudio en 1995 la transpiración de la cubierta es mayor que en 1999, siendo en el primer año la humedad del suelo mucho mayor pero la evapotranspiración de referencia menor. En el año húmedo (1995), al no existir fuertes limitaciones hídricas, la transpiración sigue una tendencia similar a las variaciones de la evapotranspiración de referencia. En 1999, en cambio, aunque Eo es en promedio mayor, la transpiración de la cubierta no responde claramente a la demanda evapotranspirativa debido a las fuertes condiciones de estrés hídrico.

Por lo que ser refiere a la interceptación se observa que para eventos lluviosos pequeños la proporción de precipitación interceptada en mayor que para eventos de mayor magnitud. En estos casos, con precipitaciones de menos de 20mm, las tasas de interceptación son muy elevadas (del orden del 50%) debido al papel que juega la capacidad de saturación de las copas y a las condiciones ambientales del mes de Junio.

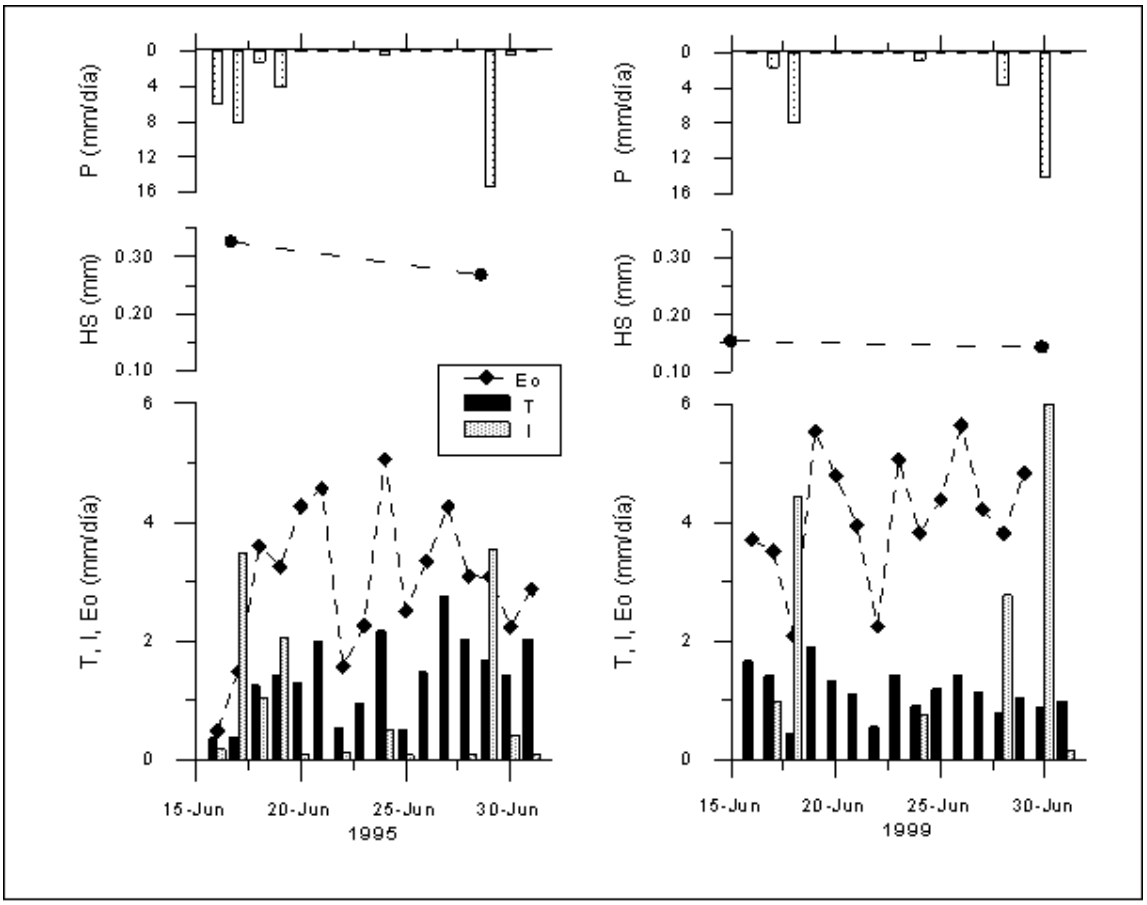


Figura 3. precipitación (P), humedad del suelo (HS), evapotranspiración de referencia (Eo), transpiración (T) e interceptación (I) en la parcela experimental de Cal Parisa el período del 15 al 30 de Junio de 1995 y 1999.

CONCLUSIONES

La cubierta estudiada, en condiciones de estrés hídrico, regula fuertemente su transpiración aún cuando las condiciones atmosféricas sean secas y por tanto la demanda evapotranspirativa elevada. En cambio, estas mismas condiciones ambientales favorecen unas pérdidas por interceptación mayores, especialmente cuando se producen pequeños eventos lluviosos, que las que se producen con déficits de saturación atmosféricos menores. Para estos días lluviosos de finales de primavera, la suma de la transpiración y la interceptación, supera largamente la evapotranspiración de los prados colindantes.

Este trabajo pone de manifiesto la importancia que tiene para el balance hídrico de los rodales de reforestación espontánea la interceptación del agua de lluvia. Ya que si, como hemos visto, las pérdidas por interceptación en pequeños eventos son elevadas durante los meses estivales, estas suponen una merma importante del agua que llega al suelo y por tanto que es utilizable por los árboles.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha estado financiado por el proyecto EPROHIDRO (HID98-1056-C02-01). La participación de la primera autora ha sido financiada por un contrato post-doctoral del CSIC.
Las autoras agradecen 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.

BIBLIOGRAFÍA

GRANIER, A. (1985): Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. **Annales des Sciences Forestières** 3: 309-320.

LASANTA, T. (1996): El proceso de marginación de tierras en España. En: T. Lasanta y J.M. García-Ruiz (Eds): Erosión y recuperación de tierras en áreas marginales. I.E.R.-S.E.G.: 7-31.

LLORENS, P. (1991): Resposta hidrològica i dinàmica de sediments en una petita conca pertorbada de muntanya mediterrània. **Tesis doctoral**. Facultad de Geología e Historia. Universidad de Barcelona. 276 pp.

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.

OLIVERAS, I. (2000): Estudi de la transpiració de Pinus sylvestris a partir de les mesures de flux de saba a les conques experimentals de Vallcebre. Factors limitants meteorològics i d'humitat del sòl. Proyecto de licenciatura en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma de Barcelona, 106 pp.

OLIVERAS, I. & LLORENS, P. (2001). Meddium-term sap flux monitoring in a Scots pine stans: analysis of the operability of the heat dissipation method for hydrological purposes. **Tree Physiology**, 21.

RABADÀ, D. (1995): Dinàmica hidrològica d'una petita conca prepirineica de camps abandonats amb pinedes en expansió (Alt Berguedà, Barcelona). **Tesis doctoral**. Facultad de Geología, Universidad de Barcelona. 322pp.