

**XXIII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA  
CARTAGENA DE INDIAS COLOMBIA, SEPTIEMBRE 2008**

**REDISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN INCIDENTE EN UNA  
PLANTACIÓN DE *EUCALYPTUS* EN URUGUAY**

***Luis Silveira, Pedro de Izaguirre y Mercedes Visca***

*Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA), Facultad de Ingeniería, Universidad de la  
República. Julio Herrera y Reissig 565, C.P. 11200 Montevideo, Uruguay*

[lesy@fing.edu.uy](mailto:lesy@fing.edu.uy), [pedrode@fing.edu.uy](mailto:pedrode@fing.edu.uy), [mvisca@fing.edu.uy](mailto:mvisca@fing.edu.uy)

**RESUMEN:**

La superficie territorial del Uruguay afectada a la forestación industrial ha experimentado un significativo incremento a partir de 1989. En este marco, se estableció un programa de investigación y monitoreo en dos microcuencas experimentales en el Departamento de Paysandú, con el propósito de establecer indicadores de manejo forestal sustentable. Este trabajo evalúa los avances en el estudio de los efectos de la actividad forestal sobre la cantidad del recurso agua, medida como impacto relativo a las pasturas naturales para uso ganadero. Describe la metodología de monitoreo para determinar la intercepción del dosel en una plantación de *Eucalyptus globulus ssp. Maidennii*, presenta los datos de redistribución de lluvias medidos entre julio de 2006 y octubre de 2007 y analiza los resultados obtenidos. Con las limitaciones que impone el número de muestras disponibles, se constata que la precipitación directa que alcanza el suelo es levemente superior a la reportada en la literatura y el escurrimiento fustal e intercepción, levemente inferiores.

**ABSTRACT:**

The territorial surface of Uruguay affected to the industrial afforestation has experienced a significant increment since 1989. According to this, an investigation and monitoring program were established in two experimental small basins in the Department of Paysandú, with the purpose of establishing indicators of sustainable forest management. This paper evaluates the advances of the research about the effects of the forest activity on water resources quantity, measured as relative impact to the natural pastures for cattle use. It describes the monitoring methodology used to find out the interception produced by the canopy of a plantation of *Eucalyptus globulus ssp. Maidennii*, presents the partitioned rainfall data measured between July 2006 and October 2007 and analyzes the measured data. With the limitations imposed by the number of available rainfall storms, the study verifies that the throughfall reaching the soil surface is slightly greater than the values reported in the literature and the stemflow and the interception values slightly lower.

**PALABRAS CLAVES:** Forestación, redistribución, intercepción

## INTRODUCCIÓN

En los últimos 18 años, el Uruguay ha experimentado un significativo crecimiento de las plantaciones forestales, principalmente *Eucalyptus* y *Pinus*, en sustitución de las pasturas naturales para uso ganadero. En 1990 los bosques plantados abarcaban una superficie de 45.000 hectáreas y, en diciembre de 2007 aproximadamente 1.000.000 de hectáreas. Por otra parte, puesto que los suelos definidos como de prioridad forestal abarcan una extensión de 3,6 millones de hectáreas, y que actualmente la industria forestal se encuentra en pleno desarrollo, con la instalación de plantas para la producción de pasta de celulosa y aserraderos, se prevé que la superficie plantada continuará creciendo durante los próximos años.

Este cambio del uso de los suelos crea inquietud respecto a la disponibilidad de los recursos hídricos, puesto que existen investigaciones que sostienen que los árboles interceptan más precipitación y, debido a un sistema de raíces más profundo, transpiran más agua durante los períodos secos, afectando las aguas subterráneas y los recursos de aguas superficiales aguas abajo de las plantaciones (Calder, 1992, 2005; Huber and Iroumé, 2001; Lima, 1992; Lima e Sakia, 2006).

La cantidad de agua de lluvia que llega a la superficie del terreno depende, fundamentalmente, del tipo y densidad de la cubierta vegetal. En particular, las plantaciones forestales inciden en una transformación de la precipitación incidente, conocida como redistribución (Huber and Iroumé, 2001). De la precipitación total incidente ( $P$ ) que ingresa a un ecosistema forestal, una parte es retenida por las copas y troncos de los árboles, constituyendo la intercepción del dosel ( $I_c$ ), que básicamente retorna a la atmósfera por evaporación. Una fracción de la precipitación atraviesa las copas de los árboles, a través de claros o por goteo, y llega al suelo constituyendo la precipitación directa ( $P_d$ ). Una última fracción escurre por las hojas y ramas hasta alcanzar el tronco principal, y luego escurre por su superficie hasta llegar al suelo, constituyendo la precipitación o escurrimiento fustal ( $P_f$ ).

A nivel internacional existen numerosos programas de investigación y monitoreo de los efectos hidrológicos resultantes de los cambios de uso de la tierra. No obstante, se requiere información nacional para determinar la magnitud de los impactos hidrológicos asociados a la sustitución de pasturas naturales por plantaciones forestales, que tome en cuenta entre otros, el clima local y, en particular, la variabilidad temporal y espacial de las precipitaciones, así como el tipo y uso de suelos, y las formaciones hidrogeológicas.

En este marco, el país precisa contar con indicadores sobre los cambios del ciclo hidrológico, que resultan de esta modificación del uso de los suelos, a efectos de contar con información que sustente la toma de decisiones políticas, para propender a un Manejo Forestal Sustentable. Para dar respuesta a esa necesidad, la Universidad de la República, a través de las Facultades de Agronomía e Ingeniería, estableció un programa de investigación y monitoreo en cuencas hidrográficas y parcelas experimentales.

## OBJETIVOS

Este trabajo tiene por propósito, presentar resultados preliminares de dicho programa de monitoreo e investigación, en lo que concierne a la determinación de la intercepción de la precipitación por la retención de las copas de una plantación de *Eucalyptus globulus ssp. Maidenii*. Asimismo, presenta datos medidos a nivel de eventos de lluvia, de precipitación directa y precipitación o escurrimiento fustal, y analiza las relaciones entre la precipitación total incidente y cada una de estas componentes en que se redistribuye por efecto del dosel. Es el primer trabajo de esta naturaleza que se realiza en el Uruguay.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La cuantificación de cada una de las componentes de la redistribución de lluvias, por efecto de las plantaciones forestales, se realiza en una parcela experimental, ubicada en el establecimiento Don Tomás, 15 km. al norte de la localidad Piedras Coloradas, en el departamento de Paysandú, Uruguay. Sus coordenadas son: Lat. 34°25'S, Long. 55°23'O, datum Yacaré y elipsoide de referencia Hayford 1924.

Se trata de una plantación de *Eucaliptus globulus ssp. Maidennii* de 10 años de edad, implantada en el otoño-primavera del año 1998, con una densidad de 895 árboles/há. En el año 2006, cuando comenzó el programa de monitoreo, los árboles contaban con una altura media de 14,9 m y un DAP (diámetro a la altura del pecho) medio de 14 cm. En el ecosistema de la parcela coexisten también malezas de porte arbustivo, *Bacharis trimera* *Eupatorium bunifolium* y juncáceas en zonas bajas.

Los suelos de la parcela están constituidos por Argisoles Dístricos Melánicos Abrúpticos, es decir, suelos pardos muy diferenciados texturalmente y de bajo contenido de materia orgánica, que se corresponden con los suelos dominantes de la Unidad Bacacué de la Carta de Reconocimiento de Suelos, en escala 1:1.000.000 (MAP/DSF, 1979). El material geológico está constituido por sedimentos arenosos francos y removilizaciones de materiales cretácicos subyacentes. Según la cartografía CONEAT, escala 1:100.000, los suelos corresponden al grupo 9.2, índice que expresa la capacidad productiva del suelo en términos de carne bovina, ovina y lana en pie, relativo a la capacidad productiva media del país, a la que corresponde el índice 100. Es decir, son suelos de baja productividad, que han sido calificados como de “prioridad forestal” por las autoridades gubernamentales.

El paisaje presenta forma mesetiforme, con escarpas marcadas o muy marcadas. Las pendientes son heterogéneas con rango de 6 a 12% en las formas onduladas y más de 12% en los frentes de escarpa.

### Metodología del programa de monitoreo

La precipitación total incidente (P) se registra de forma continua, en una zona descubierta situada a 750 m de la parcela experimental, con un pluviógrafo digital marca Rainwise, que posee una autonomía superior al mes para el almacenamiento de datos. Puesto que en estudios anteriores se ha comprobado que los vientos introducen un término de error en los registros (Silveira et. al, 2006), éstos fueron corregidos a partir de datos de velocidad del viento, medidos en una estación meteorológica próxima al pluviógrafo.

Los dispositivos para captación de la precipitación directa ( $P_d$ ) consisten, según la metodología internacionalmente aceptada (Iroumé y Huber, 2000), en una canaleta de chapa galvanizada, de sección parabólica, de 15 cm de ancho y 35 m de longitud, dispuesta en diagonal entre dos filas de árboles. La canaleta fue colocada en el sentido de la pendiente natural del terreno y de forma que en su recorrido cubra las zonas de distinta densidad del dosel.

La captación del escurrimiento fustal, también denominada precipitación fustal ( $P_f$ ), se realiza en 10 árboles ubicados a ambos lados de la canaleta, según la metodología propuesta por Ford and Deans (1978). Cada uno de los árboles está provisto con collarines de goma ajustados y sellados en espiral alrededor de los troncos (Likens and Eaton, 1970), conectados a caños de PVC de 50 mm de diámetro, que conducen el escurrimiento fustal a un caño principal.

Las aguas colectadas en ambos dispositivos – canaleta y collarines – se conducen hasta dos cisternas con un volumen de 600 litros, provistas con limnigrafos de presión, marca OTT, modelo THALIMEDES, para registro continuo de la variación de niveles, un sensor de niveles y una bomba a batería para desagote.

En las Figuras 1a y 1b, pueden observarse las instalaciones para medición del escurrimiento fustal (collarines ajustados al tronco principal de los árboles) y de la precipitación directa (canaleta), así como las cisternas equipadas con limnigrafos.



**Figura 1.-** a (izquierda). Dispositivo para medición del escurrimiento fustal, b (derecha). Vista de la canaleta para medición de la precipitación directa y cisternas en las que se efectúa el registro.

Esta forma de registro, asegura que los valores obtenidos son representativos para un ecosistema o estructura del dosel heterogénea.

La fracción de la precipitación que llega al suelo está constituida por la precipitación directa que atraviesa el dosel ( $P_d$ ), conjuntamente con precipitación o escurrimiento fustal ( $P_f$ ). La intercepción ( $I_c$ ) de la precipitación total incidente ( $P$ ) por el dosel, se calcula como la diferencia entre la precipitación total incidente y la fracción de la precipitación que efectivamente llega al suelo:

$$I_c = P - (P_d + P_f) \quad [1]$$

La medición directa de  $P$ ,  $P_d$  y  $P_f$  permite, por lo tanto, calcular  $I_c$  para la plantación bajo estudio.

### Procesamiento de datos

El período de medición que se presenta en este trabajo se extiende desde julio de 2006, fecha en que se inició el monitoreo en la parcela experimental, hasta octubre de 2007.

Las relaciones entre precipitación total incidente, precipitación directa, escurrimiento fustal e intercepción se determinaron en base al análisis de eventos de lluvia. Para ello, se consideraron eventos continuos precedidos de un período sin precipitaciones, no menor a 12 hs, a efectos de minimizar el mojado remanente de las lluvias precedentes (Huber y Oyarzún, 1992). Esta metodología permitió identificar 46 eventos en el período considerado.

**Tabla 1.-** Registros del monitoreo de redistribución de lluvias en el establecimiento Don Tomás, Paysandú.

P (mm)	D (horas)	$i_{med}$ (mm/h)	$i_{máx}$ (mm/1h)	$P_d$ (mm)	$P_f$ (mm)	$P_n$	$I_c$ (mm)
0,30	0,08	3,56	0,30	0,00	0,00	0,00	0,30
0,30	0,08	3,56	0,30	0,00	0,00	0,00	0,30
0,30	0,08	3,56	0,30	0,00	0,00	0,00	0,30
0,30	0,08	3,56	0,30	0,00	0,00	0,00	0,30
0,30	0,08	3,56	0,30	0,00	0,00	0,00	0,30
0,30	0,08	3,56	0,30	0,13	0,00	0,13	0,16
0,30	0,08	3,56	0,30	0,00	0,00	0,00	0,30
0,30	0,08	3,56	0,30	0,00	0,00	0,00	0,30
0,30	0,08	3,56	0,30	0,00	0,00	0,00	0,30
0,30	0,08	3,56	0,30	0,00	0,00	0,00	0,30
0,30	0,08	3,56	0,30	0,00	0,00	0,00	0,30
0,30	0,08	3,56	0,30	0,00	0,00	0,00	0,30
0,30	0,08	3,65	0,30	0,00	0,00	0,00	0,30
0,32	0,08	3,87	0,32	0,00	0,00	0,00	0,32
0,34	0,33	1,03	0,34	0,00	0,00	0,00	0,34
0,59	0,33	1,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,59
0,89	0,83	1,07	0,89	0,67	0,00	0,67	0,22
0,89	0,75	1,19	0,89	0,67	0,00	0,67	0,22
1,30	0,08	15,55	1,30	0,00	0,00	0,00	1,30
1,50	0,75	1,99	1,50	0,00	0,00	0,00	1,50
1,78	2,00	0,89	1,19	1,33	0,00	1,33	0,45
2,12	1,58	1,34	0,00	1,33	0,00	1,33	0,78
2,27	3,00	0,76	0,94	0,00	0,00	0,00	2,27
2,37	6,83	0,35	0,89	0,76	0,00	0,76	1,62
2,53	0,33	7,58	2,53	1,47	0,00	1,47	1,06
3,58	1,75	2,05	2,99	1,60	0,06	1,66	1,92
4,52	1,83	2,47	4,22	3,73	0,06	3,79	0,73
5,65	2,33	2,42	2,39	4,67	0,11	4,77	0,87
5,93	15,33	0,39	1,78	5,20	0,00	5,20	0,73
6,71	1,33	5,03	6,37	4,53	0,06	4,59	2,11
6,89	5,83	1,18	3,92	5,87	0,11	5,98	0,91
7,18	3,17	2,27	4,81	4,80	0,00	4,80	2,38
7,32	5,58	1,31	4,00	4,00	0,27	4,27	3,05
7,75	5,17	1,50	3,29	6,67	0,15	6,82	0,93
8,06	3,83	2,10	3,61	6,67	0,14	6,81	1,25
8,32	7,58	1,10	2,98	5,73	0,14	5,88	2,44
8,94	2,42	3,70	5,74	6,13	0,21	6,35	2,59
10,10	9,17	1,10	1,78	8,53	0,06	8,59	1,50
10,85	1,17	9,30	9,64	9,87	0,07	9,93	0,91
13,24	2,92	4,54	10,55	9,20	0,55	9,75	3,49
17,50	3,83	4,57	9,40	13,87	0,77	14,64	2,87
17,81	5,67	3,14	10,18	10,80	0,55	11,35	6,46
18,90	6,33	2,98	14,01	13,20	0,67	13,87	5,03
22,33	6,00	3,72	7,29	17,74	0,77	18,51	3,82
22,57	2,00	11,29	18,37	18,27	0,92	19,19	3,39
29,09	5,92	4,92	8,71	22,67	1,25	23,92	5,17
48,10	4,58	10,49	33,5	41,34	2,06	43,40	4,70

Los datos de precipitación total incidente se correlacionaron con los datos de precipitación directa, precipitación fustal e intercepción del dosel, estableciendo modelos de regresión lineal y no lineal. El coeficiente de determinación ( $R^2$ ), los intervalos de confianza y los p-valores se determinaron

utilizando XLSTAT (2007). De este modo, es posible cuantificar valores medios de cada una de éstas componentes, relativos a la precipitación directa.

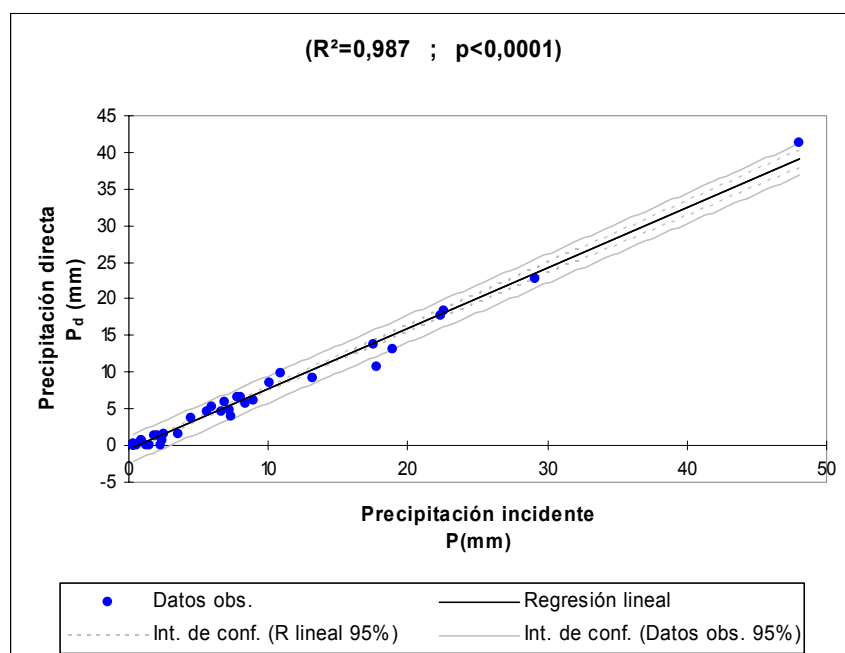
## EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Los registros de precipitación total incidente variaron entre 0,30mm y 48,1mm, con una media de 6,8mm para los 46 eventos considerados. De acuerdo a la información histórica del país, los eventos disponibles hasta el presente son, en su mayoría, de baja magnitud, con recurrencia inferior al año. Los correspondientes valores de intensidad media de precipitación variaron entre 0,35 mm/h y 11,29 mm/h, y la intensidad máxima en una hora entre 0,30 mm/h y 33,5mm/h.

Los registros de precipitación incidente ( $P$ , mm), duración del evento ( $D$ , horas), intensidad media ( $i_{med}$  mm/h), intensidad máxima ( $i_{máx.}$ , mm/h), precipitación directa ( $P_d$ , mm), escurrimiento o precipitación fustal ( $P_f$ , mm) y los valores calculados de precipitación neta ( $P_n$ , mm) e intercepción ( $I_c$ , mm) para los 46 eventos identificados se presentan en la Tabla 1.

### i) Precipitación directa

La precipitación directa ( $P_d$ ), una de las componentes de la redistribución de lluvias, presentó valores relativos entre 0% y 91%, con respecto a la precipitación total incidente.



**Figura 1.-** Relación entre la precipitación incidente ( $P$ ) y la precipitación directa ( $P_d$ )

En la Figura 1 se observa la correlación existente entre la precipitación incidente y la precipitación directa. En el modelo de regresión lineal, la ecuación que mejor ajusta la relación entre  $P_d$  y  $P$  es:

$$P_d = 0,8234P - 0,5494 \quad [2]$$

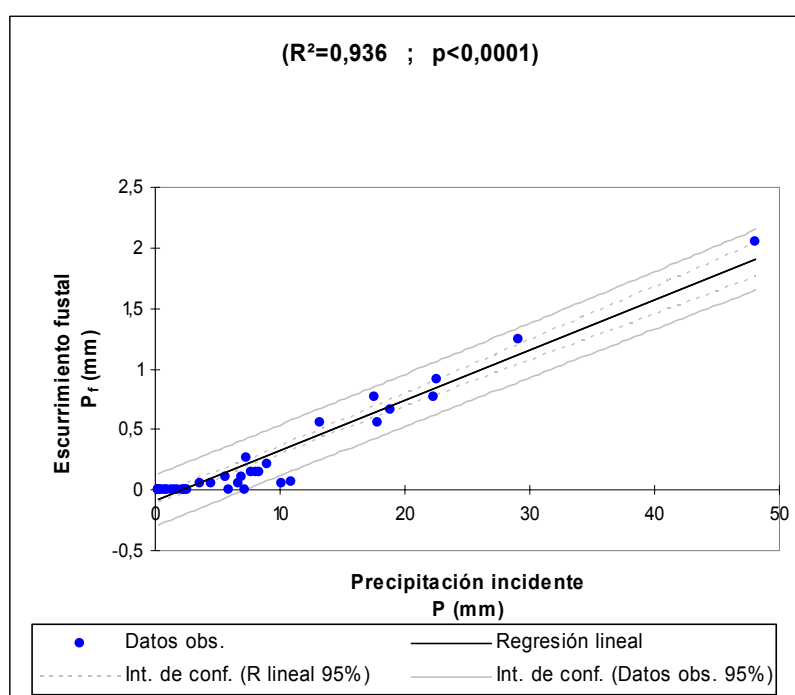
El coeficiente de determinación entre ambos términos de precipitación es  $R^2 = 0,987$ . Por tanto, la precipitación incidente explica el 98,7 % de la variabilidad de la precipitación directa. La variabilidad remanente (1,3 %) se debe a otras variables, por ejemplo la incidencia de la intensidad de la lluvia o el viento, que no han sido incluidas en este análisis.

El ajuste es estadísticamente significativo según la prueba  $t$ , para  $p < 0,0001$ . Asimismo, la Figura 1 permite visualizar dos intervalos de confianza: el intervalo de confianza sobre las medias de la predicción, para un valor dado de la precipitación incidente, es el más próximo a la línea de regresión. El restante, es el intervalo de confianza sobre una predicción, para un valor dado de precipitación incidente. Existe una clara tendencia lineal, con cierta variabilidad en torno a la línea de regresión. Puede también observarse que un par de observaciones quedan fuera del segundo intervalo de confianza.

La regresión lineal muestra que la precipitación directa es, en términos relativos con respecto a la precipitación incidente, del orden del 82,3 %.

## ii) Esguerrimiento o precipitación fustal

El esguerrimiento o precipitación fustal ( $P_f$ ), otra de las componentes de redistribución de lluvias, presentó valores relativos entre 0 % y 4,4 %, con respecto a la precipitación total incidente.



**Figura 2.-** Relación entre la precipitación incidente ( $P$ ) y el esguerrimiento fustal ( $P_f$ )

En la Figura 2 se observa la correlación existente entre la precipitación total incidente y el esguerrimiento fustal o precipitación fustal. En el modelo de regresión lineal, la ecuación que mejor ajusta la relación entre  $P_f$  y  $P$  es:

$$P_f = 0,0413P - 0,0846 \quad [3]$$

El coeficiente de determinación entre ambos términos de precipitación es  $R^2 = 0,936$ . Por tanto, la precipitación incidente explica el 93,6 % de la variabilidad del esguerrimiento fustal. La variabilidad remanente (6,4 %) se debe a otras variables, por ejemplo la incidencia de la intensidad de la lluvia, la velocidad del viento o la disposición geométrica de los fustes, que no han sido incluidas en este análisis.

El ajuste es estadísticamente significativo según la prueba  $t$ , para  $p < 0,0001$ . Asimismo, la Figura 2 permite visualizar dos intervalos de confianza: el intervalo de confianza sobre las medias de la



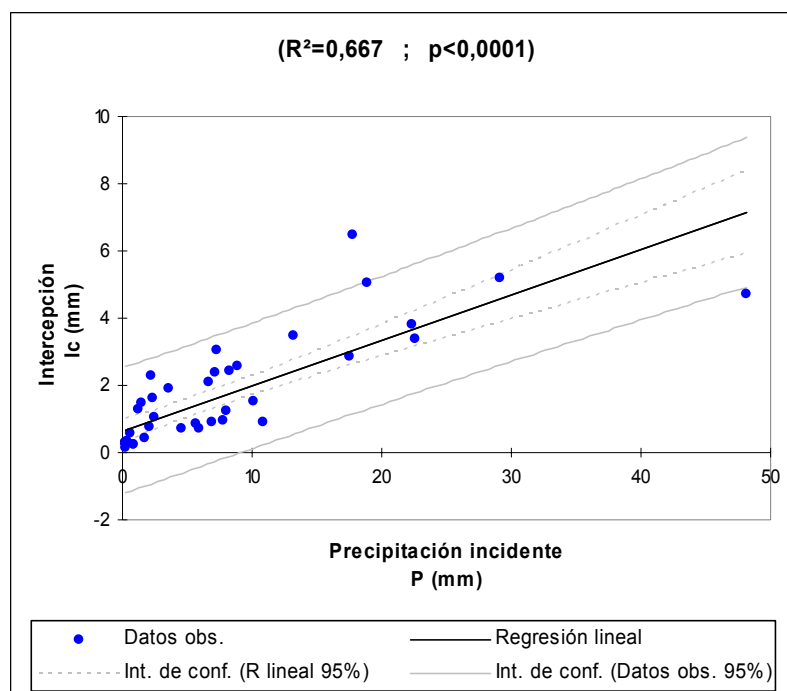
predicción, para un valor dado de la precipitación incidente, es el más próximo a la línea de regresión. El restante, es el intervalo de confianza sobre una predicción, para un valor dado de precipitación incidente. Existe una clara tendencia lineal, con cierta variabilidad en torno a la línea de regresión. Puede también observarse que un par de observaciones quedan fuera del segundo intervalo de confianza.

La regresión lineal muestra que el escurrimiento fustal es, en términos relativos con respecto a la precipitación incidente, del orden del 4,1 %.

Para valores de precipitación total incidente menor a 10 mm, se observa un punto de inflexión respecto a la línea de regresión, tal que las observaciones de escurrimiento fustal son paralelas al eje de las abscisas: Dicho punto representa, probablemente, la capacidad máxima de almacenamiento de los fustes, es decir, el punto a partir del cual se tiene escurrimiento fustal.

### iii) Intercepción

La intercepción ( $I_c$ ), calculada en términos de diferencia entre precipitación total incidente y la precipitación que efectivamente llega al suelo, presentó valores relativos entre 8% y 100%, con respecto a la precipitación total incidente.



**Figura 3.-** Relación entre la precipitación incidente (P) y la intercepción ( $I_c$ )

En la Figura 3 se observa la correlación existente entre la precipitación total incidente y la intercepción. En el modelo de regresión lineal, la ecuación que mejor ajusta la relación entre  $I_c$  y P es:

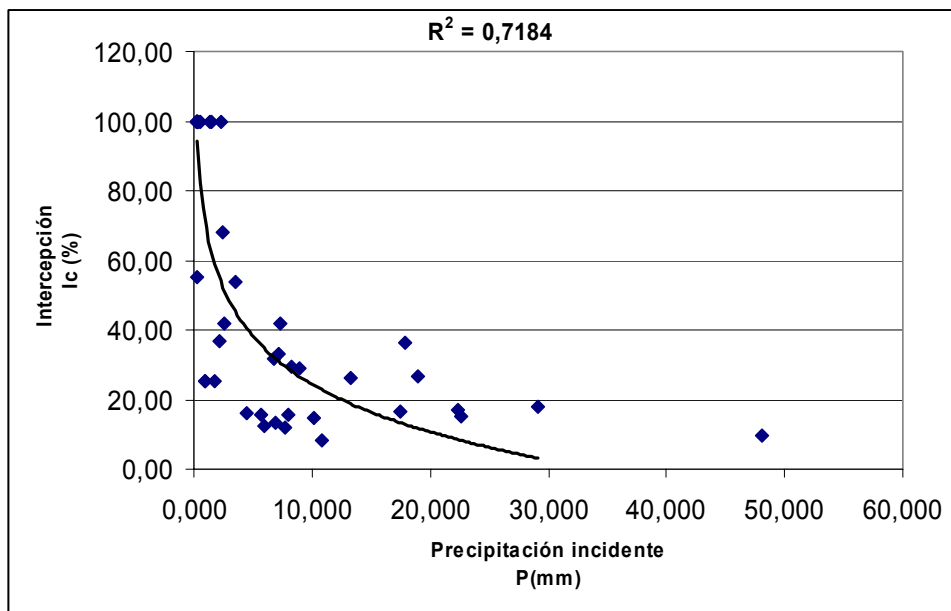
$$I_c = 0,135P + 0,634 \quad [4]$$

El coeficiente de determinación entre ambos términos de precipitación es  $R^2 = 0,667$ . Por tanto, la precipitación incidente explica el 66,7 % de la variabilidad de la intercepción. La variabilidad remanente (33,3 %) se debe a otras variables, por ejemplo la incidencia de la intensidad de la lluvia, la velocidad del viento, la disponibilidad de agua y energía solar, que no han sido incluidas en este análisis.



El ajuste es estadísticamente significativo según la prueba  $t$ , para  $p < 0,0001$ . Del mismo modo que en las Figuras 1 y 2, la Figura 3 permite visualizar dos intervalos de confianza: el intervalo de confianza sobre las medias de la predicción, para un valor dado de la precipitación incidente, es el más próximo a la línea de regresión. El restante, es el intervalo de confianza sobre una predicción, para un valor dado de precipitación incidente. Existe una clara tendencia lineal, con cierta variabilidad en torno a la línea de regresión. Puede también observarse que un par de observaciones quedan fuera del segundo intervalo de confianza.

La regresión lineal muestra que la intercepción es, en términos relativos con respecto a la precipitación incidente, del orden del 13,5 %, cerrando el balance hídrico entre las tres componentes de redistribución de lluvias. Huber *et al.*, (2000) reporta que el reemplazo de una pradera natural por una plantación de *Eucalyptus nitens* ocasionó pérdidas de intercepción del dosel del 30% en un monte de 8 años de edad, valor éste que concuerda con lo señalado por Pearce y Rowe (1979) y Viville *et al.* (1993). En cambio, Soares y Almeida (2001), reportaron para una plantación de *Eucalyptus grandis* en Brazil, porcentajes de intercepción más próximos a los obtenidos en el presente estudio.



**Figura 4.-** Relación entre la precipitación incidente (P) y la intercepción (Ic) expresada en porcentaje relativo a P

Por último, en la Figura 4 se ha representado la relación entre la precipitación incidente y la intercepción, expresada en porcentaje relativo a la primera. En este caso, la línea de regresión se ajusta a un modelo logarítmico no lineal. La ecuación que mejor ajusta la relación entre  $I_c$  y P es:

$$I_c = -19,865 \ln(P) + 70,177 \quad [5]$$

Para eventos de precipitación de escasa magnitud, la línea de regresión es asintótica con el eje de las ordenadas ( $I_c$ ), es decir, la precipitación es mayormente interceptada por las copas de los árboles y devuelta a la atmósfera por evaporación. Asimismo, la Figura 4 permite observar que el porcentaje de agua interceptada disminuye a medida que aumenta la magnitud de las lluvias. A partir de una precipitación total incidente superior a los 30 mm, la intercepción tiende a mantenerse constante. No obstante, debido a que el período de monitoreo ha coincidido con un período de déficit hídrico, asociado a La Niña, se cuenta con un solo valor de precipitación superior a 30 mm, por lo que no es posible establecer el valor asintótico respecto al eje de las abscisas, con significancia estadística.

El coeficiente de determinación entre ambos términos de precipitación, con la intercepción expresada en porcentaje respecto a la precipitación incidente, es  $R^2 = 0,718$ .

## CONCLUSIONES

Durante el período comprendido entre julio de 2006 (invierno) y octubre de 2007 (primavera), se monitoreó la precipitación total incidente y las componentes de redistribución de lluvias en una plantación de *Eucaliptus globulus ssp. Maidennii*. Con las limitaciones que impone el número de eventos disponibles a la fecha, puesto que el período de monitoreo coincidió con un período con precipitaciones inferiores a la media histórica, las relaciones obtenidas entre la precipitación total incidente y las componentes de redistribución de lluvias (precipitación directa, fustal e intercepción) muestran una buena correlación. Los valores medios de precipitación directa, fustal e intercepción son, respectivamente, levemente superiores, inferiores e inferiores a los reportados en la literatura.

## AGRADECIMIENTOS

La línea de investigación vinculada a los efectos de las plantaciones forestales sobre los recursos naturales aguas y suelos, se inició por iniciativa de la Dirección General Forestal, del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Posteriormente, se mantuvo con el apoyo de la Comisión Sectorial de Investigación Científica (CSIC) de la Universidad de la República. Actualmente, los estudios que se presentan en este artículo, han sido financiados por el Programa de Desarrollo Tecnológico (PDT) y el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Calder, I. R.** (1992) "The hydrological impact of land-use change". In: *Proceedings of the Conference on Priorities for Water Resources Allocation and Management, Natural Resources and Engineer Advisers Conference*, Southampton, July 1992, pp. 91-101.
- Calder, I. R.** (2005) *Blue revolution: Integrated Land and Water Resource Management*. Earthscan, London, UK.
- Ford, E.D. and Deans, J.D.** (1978) "The effects of canopy structure on stemflow, throughfall and interception loss in a young sitka spruce plantation". *Journal of Applied Ecology*, 15:901-917.
- Huber, A., Avila, G. y Trecaman, R.** (2000) "Modificaciones en el recurso hídrico provocados por la forestación con *Eucalyptus nitens* en la zona de Collipulli, IX Región, Chile". *Medio Ambiente* 13(2): 19-26.
- Huber, A.M. y Oyarzún, C.E.** (1992) "Redistribución de las precipitaciones en un bosque siempreverde del sur de Chile". *Turrialba* 42(2):192-199.
- Huber, A. and Iroumé, A.** (2001) "Variability of annual rainfall partitioning for different sites and forest covers in Chile". *Journal of Hydrology*, 248:78-92.
- Iroumé, A. y Huber, A.** (2000) "Intercepción de las lluvias por la cubierta de bosques y efecto en los caudales de crecida en una cuenca experimental en Malalcahuello, IX Región, Chile". *Bosque* 21(1): 45-56.
- Likens, G.E. and Eaton, J.S.** (1970) "A polyurethane stemflow collector for trees and shrubs". *Ecology*, 55(5):938-939.
- Lima, W.P.** (1992) *Impacto ambiental do Eucalipto*. EDUSP – Editora da Universidade de São Paulo, Brasil. 302 pp.
- Lima, W.P. e Sakia, J.B.** (2006) *As florestas plantadas e a água: Implementando o conceito da microbacia hidrográfica como unidade de planejamento*. RIMA Editora, 226 pp.
- MAP/DSF** (1979) *Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay. Vol. III: Clasificación de Suelos*. Ministerio de Agricultura y Pesca. Dirección de Suelos y Fertilizantes. Montevideo, Uruguay.

- Pearce, A., Rowe, L.K.** (1979) "Forest management effects on interception, evaporation and water yield". *Journal of Hydrology* 18(2):73-87.
- Silveira, L., Alonso J. y Martínez, L.** (2006) "Efecto de las plantaciones forestales sobre el recurso agua en el Uruguay". *Agrociencia*, Vol. X, N° 2, 75-93.
- Soares, J.V., Almeida, A.C.** (2001) "Modeling the water balance and soil water fluxes in a fast growing Eucalyptus plantation in Brazil. *Journal of Hydrology* 253: 130-147.
- Viville, D., Biron, P., Granier, A., Dambrine, E., Probst, A.** (1993) "Interception in a mountainous declining spruce stand in the Strengbach catchment (Vosges, France)". *Journal of Hydrology* 144:273-282.
- XLSTAT** (2007) Manual de Xlstat 2007.7: [<http://www.xlstat.com>]