

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL CICLO DEL AGUA EN SUELOS FORESTALES CON *Pinus radiata* DE GALICIA (NO DE ESPAÑA)

R. CALVO DE ANTA, M.X. GÓMEZ REY

Dpto. de Edafología e Química Agrícola. Fac. de Biología, Univ. de Santiago de Compostela. 15782-Santiago de Compostela. Email: edchus@usc.es y edrcda@usc.es

Abstract. From 1997 to 1999 rainfall, infiltration and drainage waters were collected in three plots with *Pinus radiata* cover, located in NW Spain and having similar climate and site (physiography, plantation frame, age and height of the trees, etc...) conditions. Sampling followed natural rainfall sequences, and throughfall data was obtained at different locations with the aim to establish the spatial variability of water inputs to the forest system.

The results show the important role played by some tree species, particularly when the height of the trees is larger than 20 m, in areas with high annual precipitation (>1500 mm). Under these conditions concentric microsystems of soil development are generated, with intensities of effective fluxes ranging from 1000 to 15000 L m⁻² y⁻¹ increasing from the edge of the area covered by the crown to the tree trunk. In comparison with unforested soils, the systems described here are subject to highly heterogeneous spatial and temporal evolution rhythms, which alter the distribution pattern depending on felling rotations and thus on the actual location of the trees each new generation. The influence of these tree species on soil evolution is expected to increase considerably in the presence of atmospheric pollutants, taking into account the concentrating effect of the solutions derived from the leaching of intercepted rainfall.

Key words: water cycle, forest soils

Resumen. Durante dos años completos (1997-1999) se recogieron las aguas de precipitación, infiltración bajo cubiertas y drenaje en tres parcelas forestales con *Pinus radiata* de Galicia con similares condiciones de clima y estación. El muestreo se realizó según secuencias naturales de lluvia, obteniéndose datos de pluviolavado en diferentes puntos a fin de establecer la variabilidad espacial de las entradas de agua al sistema.

Los resultados ponen de manifiesto el importante papel que puede ejercer esta especie, cuando alcanza portes superiores a 20 m, en suelos de ambientes con intensa pluviosidad anual (>1500 mm/año), generándose microsistemas de evolución concéntrica, con intensidades de flujo efectivo que pueden variar entre 1000 y 15000 l/m²/año, desde los extremos de las copas a las zonas más próximas a los troncos. En comparación con los suelos no arbolados, estos sistemas están sujetos a ritmos de evolución fuertemente heterogéneos tanto espacial como temporalmente, produciéndose alteraciones de esta distribución según los turnos de corta y, por lo tanto, de la disposición en el terreno de cada nueva generación. En presencia de contaminantes atmosféricos, es de prever que la influencia de estas especies forestales sobre el suelo se incremente de forma considerable, teniendo en cuenta el efecto concentrador de las disoluciones de entrada derivado del lavado de la interceptación.

Palabras clave: Balance hídrico, suelos forestales

INTRODUCCIÓN

En regiones de elevada pluviosidad los flujos de entrada y salida de agua al suelo resultan determinantes en el mantenimiento de la calidad de los sistemas, tanto por regir la intensidad de la evolución geoquímica del medio edáfico, como por influir decisivamente en el control de las propiedades de las aguas superficiales, en función del tiempo de residencia y consecución o no del equilibrio con los suelos.

La influencia de diferentes especies forestales sobre el ciclo hidrológico y, por lo tanto, sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos, ha sido puesta de manifiesto en numerosos estudios (Zinke, 1962; Gesper y Holowaychuk, 1971; Aussenac y Granier, 1988; Falkengren-Grerup, 1989; Whitehead y Kelliher, 1991; Fahey, 1994...). La mayor parte de los trabajos suministran datos medios de las entradas y salidas anuales de agua en los sistemas, poniendo de manifiesto no sólo la importancia de la especie, sino su edad, altura, marco de plantación... así como la variabilidad dependiente del tipo de ambiente climático (intensidad y distribución de la pluviosidad, velocidad del viento...etc.). En muchos casos se hace referencia al efecto concentrador del tronco, sobre todo en especies con un determinado ángulo de proyección de las ramas sobre el fuste, efecto que es tanto más importante cuanto más intensos y continuos resulten los chubascos (Rutter, 1962; Mahendrappa, 1989; Domingo et al., 1998; Huber y Oyarzun, 1990, 1992...).

En Galicia, una región de elevada e intensa pluviosidad (>1500 mm/año, con más de un 80% en el período Octubre-Mayo), la superficie total de suelo con uso forestal es superior a 1.000.000 ha, cerca de 1/3 del territorio, siendo las coníferas las principales plantaciones (un 30% de la superficie arbolada como masas puras y un 50% como plantaciones mixtas, 2º Inventario Forestal). La extensión ocupada por plantaciones de *Pinus*

radiata, en masas puras, es próxima a 100.000 ha. En la actualidad se dispone de algunos datos de parámetros hídricos en suelos forestales, tanto en bosques de coníferas como de frondosas (Calvo de Anta et al., 1979, 1992; Paz González y Díaz-Fierros, 1985) y se han realizado balances hídricos de cuencas (Gras, 1993; Fernández-Vega, 1998; Dambrine et al., 2000). El objetivo de este estudio es mejorar la cuantificación del ciclo del agua en sistemas con *P. radiata* utilizando un método de seguimiento en continuo, durante dos años completos (1997-1999) y en tres parcelas de similares características situadas en diferentes puntos del territorio. Junto a los balances *input/output* medios se pretende establecer la variabilidad espacial existente en los suelos forestados.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se ha realizado en tres parcelas forestales del centro-oeste y norte de Galicia en zonas de monte a 500-600 m de altitud, con condiciones similares del terreno y características estructurales de la plantación (Tabla 1). El régimen de temperatura es *mésico* (con un valor medio en torno a 12°C) y el régimen de humedad *údico*, con registros medios de precipitación entre 1300 y 1800 mm/año.

Para la caracterización de las entradas de agua se han realizado muestreos con periodicidad semanal (durante el período húmedo) o mensual (durante el seco), cuantificando la precipitación con pluviómetros situados en las proximidades, no forestadas, de las parcelas; para el pluviolavado se dispusieron 18 pluviómetros bajo las copas, en diferentes posiciones; el flujo de tallo se midió sobre 14 árboles representativos de las poblaciones, a cuya corteza se fijaron mangas de recogida abiertas longitudinalmente y dispuestas en espiral desde 1.5 m hasta un colector, situado en la base.

Para la toma de aguas gravitacionales se han utilizado lisímetros de tensión cero con

Tabla 1. Características generales de las parcelas de estudio.

	O Martelo	Goente	Muras
Coordenadas	42°49'42"N 7°58'58"	8°46'18" 43°31'33"N	43°24'55"N 7°38'53"
Altitud	490	520	530
Precipitación media (período)	1770 (1955-97)	1573 (1961-97)	1222 (1970-97)
Tª media (°C)	12.9	11.8	13.5
Edad de la plantación (años)	25-30	25-30	25-30
Nº árboles/ha	625	625	625
Altura media (m)	20	18	15
Perímetro (a 130 cm)	86	78	63
Tipo de suelo (WRB, 1998)	Umbrisol haplico	Umbrisol gleico	Umbrisol haplico
Mat.original	Granito de dos micas	Filitas ordovícicas "ollo de sapo"	Granito de dos micas

forma de cuña, de base rectangular de 38x29 cm, construidos en metacrilato y que fueron introducidos en el suelo, por duplicado, bajo diferentes horizontes: O+Ah₁, a 20 cm de la superficie; O+Ah₁+Ah₂, a unos 40 cm; O+Ah₁+Ah₂+C (Bw en la parcela de Muras), entre 80 y 100 cm, según los casos. Las tuberías de salida se canalizaron hacia un pozo situado a unos 15 m de los lisímetros, en donde se dispusieron los colectores. Una vez introducidos los lisímetros se sellaron las calicatas con los acopios de material de suelo previamente retirado. Dados los desfases temporales observados en los lisímetros a los pocos meses de iniciada la experiencia, así como los indicios de posibles pérdidas de agua por escorrentía subsuperficial..., etc., el cálculo del flujo de agua se realizó a partir del análisis químico de las disoluciones recogidas, aplicando consideraciones iso-cloro. Así mismo, se instalaron lisímetros de relleno estandar (LRE), construidos en material de polipropileno, con paredes de malla de 2 cm de luz y base de 51x38 cm, que se rellenaron con material de suelo del horizonte Ah₁ y Ah₂ y se introdujeron en el hueco desalojado, evi-

tando en lo posible la presencia de zonas de circulación preferencial. Estos lisímetros se utilizaron para obtener otra aproximación a las características del drenaje en los horizontes superficiales de los suelos sin la influencia (no controlable) de las raíces y, dado que se procedió de modo idéntico en las tres parcelas (misma cantidad de suelo, grado de empaquetamiento... etc), obtener datos útiles para establecer mejor las comparaciones de comportamiento entre los diferentes suelos.

Por último, durante 1998 se tomaron, con periodicidad mensual, aguas de salida de los sistemas (arroyos y escorrentía subsuperficial), a las que se aplicaron balances iso-cloro con el fin de ajustar mejor los flujos del suelo en su conjunto.

RESULTADOS

En la Tabla 2 se recogen los valores medios de los resultados obtenidos para los parámetros del balance de copa, precipitación, pluviolavado, flujo de tallo e interceptación, para las tres parcelas, durante los dos años del estudio (Gómez Rey, 2002). De

modo general, el pluviolavado representa alrededor de un 70% de la precipitación, reconociéndose entre ambos parámetros una correlación elevada que permite establecer una ecuación predictiva de las entradas medias a cada suelo forestal (Fig.1) y, por extensión, a los suelos de la región para este tipo de sistema y año climático. Así mismo, el flujo de tallo varió de acuerdo a la precipitación, siendo irrelevante en periodos poco lluviosos y, por el contrario, muy intenso en épocas de fuertes precipitaciones (Fig.2).

Globalmente, la interceptación anual de las cubiertas arbóreas osciló entre 17-27% de la precipitación, resultando los valores más elevados en la parcela con menor pluviosidad y mayor intensidad de viento (Muras). Estos resultados no difieren significativamente de los obtenidos en otros estudios en sistemas con *P. radiata*, en áreas con similar volumen de precipitación (Tabla 3).

No obstante, si bien los valores medios son útiles para realizar una valoración global del ciclo hidrológico en sistemas forestales

Tabla 2. Datos medios de los parámetros de entrada de agua a los sistemas

PR:precipitation; Pl:pluviolavado; FT:flujo de tallo; l/m²(eq):l/m²equivalente; INT: interception

		Martelo		Goente		Muras		datos medios	datos medios (Ma+Go)
		1997	1998	1997	1998	1997	1998		
PR	l/m ²	2315.0	1715.0	2136.7	1785.1	1710.5	1530.5	1865.5	1988.0
Pl	l/m ²	1639.3	1323.7	1621.5	1435.0	739.7	765.2	1254.3	1504.
	(%PR)	(70.8)	(77.2)	(75.9)	(80.4)	(43.2)	(50.5)	(67.2)	(75.7)
FT									
	l/tallo	1518.2	1100.7	3655.9	3069.1	526.6	436.2	1717.8	2336.0
	l/ha	948875	827938	2286269	1918188	329125	272625	1073625	1459984
	l/m ² (eq)	94.9	68.8	228.5	191.8	32.9	27.3	107.4	146.0
	(%PR)	(4.07)	(4.01)	(10.7)	(10.7)	(1.9)	(1.8)	(5.8)	(7.3)
INT	l/m ²	580.1	321.5	286.7	158.3	937.7	738.0	503.8	337.1
	(%PR)	(25.1)	(18.8)	(13.4)	(8.9)	(54.8)	(48.2)	(27.0)	(17.0)

Tabla 3. Algunos datos bibliográficos sobre balances hídricos en sistemas forestales de *Pinus radiata*

Localización	Fecha	Edad (años)	Densidad (árboles/ha)	Pr (mm)	Pl (% de Pr)	FT (% de Pr)	Intercep. (% de Pr)	Referencia
O Martelo	1997-98	25-30	625	2015	74	4	26	Este trabajo
Goente	"	25-30	625	1961	78	11	22	"
Muras	"	25-30	625	1621	46	2	54	"
A Coruña	1975	15	820	1358	63	8	29	Calvo de Anta <i>et al.</i> (1979)
A Coruña	1991-93	-	1000	1637	46	-	-	Fernández -Vega(1998)
País Vasco	1993-94	15	1750	1426	63	-	37	Amezaga <i>et al.</i> (1997)
		15	1025	1071	74	-	26	
Australia	1976-78	-	-	1149	74	1	25	Feller (1981)
Australia	1978-81	16	1708	798	73	11	-	Crockford y Richardson (1990)
Nueva Zelanda	1998-00	-	-	900	-	-	20	Fahey <i>et al.</i> (2001)
Chile	1982-88	25	733	1969	74	11	15	Huber y Oyarzún (1990)

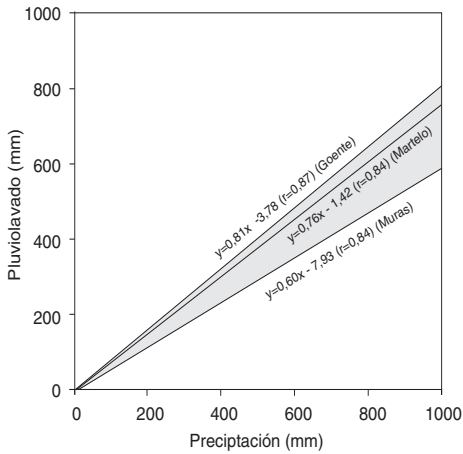


Fig.1. Correlaciones entre precipitación y pluviolavado medio en los sistemas forestales con *P. radiata* considerados (datos acumulados: periodo 1997-99)

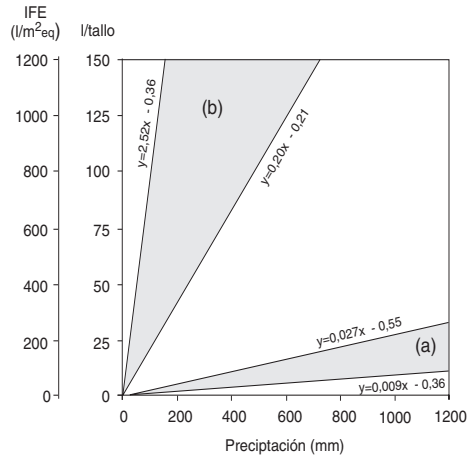


Fig.2. Campos de correlación entre el flujo de tallo y la precipitación (considerados acumulativamente). (a): periodo seco (junio-septiembre); (b): periodo húmedo (septiembre a mayo). Se representan las ecuaciones extremas obtenidas en el conjunto de las tres parcelas (IFE: intensidad de flujo equivalente)

con *P. radiata* de la región (con edad, marco de plantación... etc., como los estudiados), desde un punto de vista edáfico los datos medios no representan adecuadamente la variabilidad espacial del sistema. En la Fig.3 se representan acumulativamente todos los registros obtenidos en los pluviómetros de las tres parcelas. En todos los casos los colectores situados en los extremos muestran una elevada interceptación de la precipitación (incluso >50%), que se divide en dos componentes, la evaporación (interceptación propiamente dicha) y la traslocación vertical y desplazamiento hacia el centro del árbol, en donde el flujo de tallo representa el valor máximo de esta componente de concentración.

Teniendo en cuenta todos los resultados se ha establecido un modelo de distribución heterogénea de entrada de agua al suelo en estos sistemas, considerando tramos de variación de 10 cm de ancho y valorando de modo ponderado el pluviolavado por copa ($\sum P_{lc}$),

el flujo de tallo (F_{tc}) y la infiltración “libre” (sin interceptación) entre copas (PI_l) (Tabla 4). La representación de estos resultados teniendo en cuenta el marco de plantación existente (Fig.4), permite reconocer la importante variabilidad espacial de los flujos de intensidad efectiva de entrada de agua a estos suelos, según microsistemas particulares, concéntricos, con gradientes de entrada que varían en un orden de, al menos, 13 veces, entre 15000 l/m² (intensidad de flujo medio en las áreas más próximas al tronco), con un máximo de más del doble, y 1000 l/m² (en los extremos de las copas). Por otra parte, entre copas, el suelo recibe un volumen de igual magnitud que la precipitación, con un valor medio de 1866 l/m².

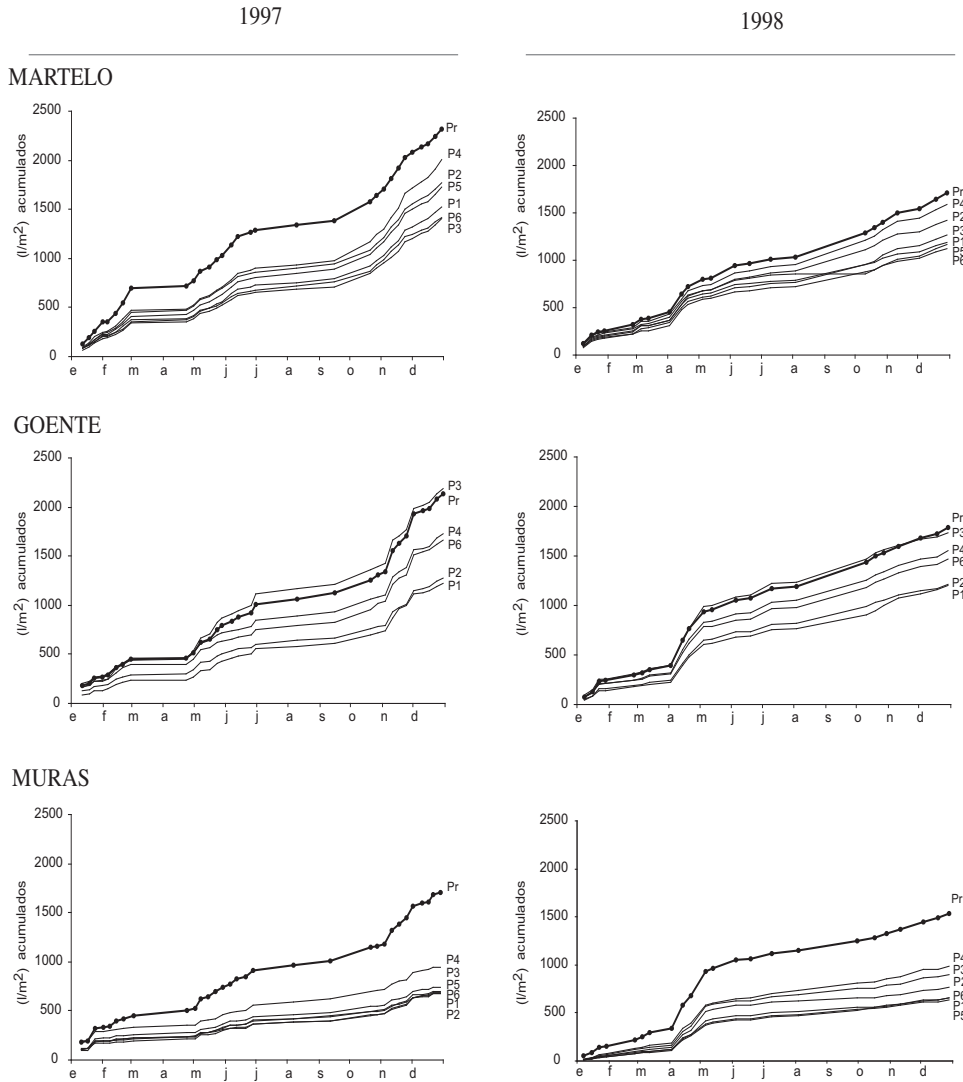


Fig.3. Registros de precipitación y pluviolavado en colectores situados a diferentes distancias del tronco en las tres parcelas del estudio.

Tabla 4. Gradiente de infiltración de agua e intensidad de flujo efectivo bajo las cubiertas arbóreas (se supone una distribución gradual en subsectores concéntricos de 10 cm de sección)

Subsector	Martelo			Goente			Muras			IFE			
	1997		1998		1997		1998		1997		1998		L/m ² (datos medios)
	IFE L/m ²	L _T	IFE L/m ²	L _T	IFE L/m ²	L _T	IFE L/m ²	L _T	IFE L/m ²	L _T	IFE L/m ²	L _T	
FTc	1292.8	1518.2	9373.0	1324.7	1100.7	3655.9	2613.4	3069.1	4484.1	526.6	3714.4	436.2	14627.5
Plc	2157.7 ⁽⁴⁾	388.9	1597.7 ⁽⁴⁾	288.0	2243.7 ⁽³⁾	404.4	1873.9 ⁽³⁾	337.7	1255.6 ⁽⁴⁾	226.3	1122.6 ⁽⁴⁾	202.3	1708.5
	2126.3*	516.8	1574.6*	382.7	2191.2*	532.5	1830.1*	444.8	1231.8*	299.4	1101.4*	267.7	1675.9
	2095.0*	640.7	1551.4*	474.5	2138.8*	654.1	1786.3*	546.3	1208.1*	369.5	1080.2*	330.4	1643.3
	2063.6*	760.8	1528.2*	563.3	2086.3*	769.1	1742.5*	642.3	1184.5*	436.6	1059.0*	390.4	1610.7
	2032.4*	876.9	1505.0*	649.3	2033.8*	877.5	1698.7*	732.9	1160.8*	500.8	1037.8*	447.7	1578.1
	2001.1*	989.0	1481.8*	732.4	1981.3*	979.2	1654.9*	817.9	1137.1*	562.0	1016.7*	502.5	1545.5
	1969.8*	1097.3	1458.6*	812.5	1928.9*	1074.5	1611.1*	897.4	1113.4*	620.2	995.5*	554.5	1512.9
	1938.5*	1201.6	1435.4*	889.7	1876.4*	1163.1	1567.3*	971.5	1089.7*	675.4	974.3*	603.9	1480.3
	1907.2*	1301.9	1412.2*	964.0	1823.9*	1245.1	1523.5*	1040.0	1066.0*	727.7	953.1*	650.6	1447.7
	1875.9*	1398.4	1389.0*	1035.4	1771.5*	1320.5	1479.7*	1103.0	1042.3*	777.0	931.9*	694.7	1415.1
	1844.6*	1490.9	1365.8*	1103.9	1719.0*	1389.4	1435.9*	1160.5	1018.6*	823.3	910.8*	736.1	1382.5
	1813.3*	1579.4	1342.6*	1169.5	1666.5*	1451.6	1392.1*	1212.6	994.9*	866.6	889.6*	774.9	1349.9
	1782.0*	1664.1	1319.4*	1232.1	1614.1*	1507.3	1348.3*	1259.1	971.3*	907.0	868.4*	810.9	1317.3
	1750.7*	1744.8	1296.2*	1291.8	1561.6*	1556.3	1304.5*	1300.1	947.6*	944.4	847.2*	844.4	1284.7
	1719.4*	1821.6	1273.0*	1348.7	1509.1*	1598.8	1260.7*	1335.6	923.9*	978.8	826.0*	875.1	1252.0
	1688.1*	1894.4	1249.8*	1402.6	1456.6*	1634.6	1216.9*	1365.6	900.2*	1010.2	804.9*	903.2	1219.5
	1656.8*	1963.4	1226.2*	1453.1	1404.2*	1664.0	1173.1*	1390.2	876.5*	1038.7	783.7*	928.7	1186.8
	1625.5 ⁽³⁾	1265.0	1203.4 ⁽³⁾	936.5	1351.7 ⁽¹⁾	1051.9	1129.3 ⁽¹⁾	878.8	852.8 ⁽⁵⁾	663.6	762.5 ⁽⁵⁾	593.4	1133.3
ΣPlc	-	22595.9	-	16730.0	-	20873.9	-	17436.3	-	12427.5	-	11111.4	-
FT+Plc	-	24114.1	-	17830.7	-	24529.8	-	20505.4	-	12954.1	-	11547.6	-
PlL	2315.0		1715.0		2136.7		1785.1		1710.5		1530.5		1865.5

FTc: flujo/taño; Plc: Pluviolavado bajo cubierta; PlL: Pluviolavado libre; S_{AF}: superficie de la corona circular afectada según el modelo utilizado (desde el extremo del tronco); IFE: Intensidad de flujo efectivo

(Pl⁽⁴⁾ y Pl⁽³⁾): datos calculados a partir de las ecuaciones obtenidas en los pluviómetros más próximos y más alejados del tronco (Martelo); Pl⁽³⁾ y Pl⁽¹⁾: idem Goente; Pl⁽⁴⁾ y Pl⁽⁵⁾: idem Muras; (*): datos estimados considerando una distribución gradual entre los valores extremos, según coronas circulares de 10 cm de sección) (radio tronco medio: 13.7cm). Pl⁽⁴⁾=0.93PR-3.08; Pl⁽³⁾=0.70PR-3.10; Pl⁽⁵⁾=1.05PR-3.67; Pl⁽¹⁾=0.63PR; Pl⁽¹⁾=0.74PR-8.6; Pl⁽⁵⁾=0.50PR-5.37

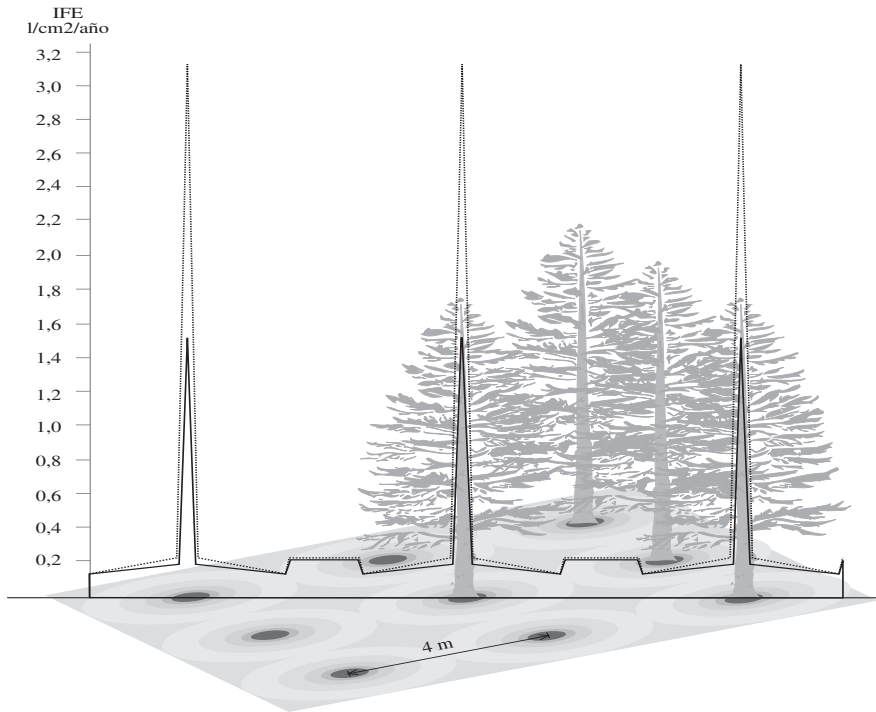


Fig.4. Representación de la variabilidad espacial de la intensidad de flujo efectivo de entrada de agua al suelo en sistemas forestales con *P. radiata* de Galicia (calculada a partir de los datos de las parcelas de O Martelo y Goente, 1997-1999)..

La existencia de microsistemas de diferente grado o intensidad de evolución en los suelos forestales ha sido frecuentemente señalada tanto por lo que se refiere a flujos de agua como de elementos, particularmente cuando se consideran los aportes por ácidos orgánicos lixiviados de cubiertas y troncos vegetales. Obviamente, no sólo tienen importancia los parámetros intrínsecos a la especie vegetal (índice de cobertura foliar, hidrofobicidad, pendulamiento, forma e inclinación de las ramas,...) (Herwitz, 1987) y los relacionados con el clima, sino aquellos que tienen que ver con el manejo del suelo, especialmente el marco de plantación y la productividad, que condiciona, entre otros, los turnos de corta. Dado que en Galicia, el crecimiento medio de *Pinus radiata* supera frecuentemente los 13

m³/ha/año, un individuo de 20 años puede alcanzar un porte superior a 20 m y, consiguientemente, influir decisivamente en la distribución del flujo de entrada de agua al suelo. Por otra parte, tratándose de bosques maderables con turnos de corta entre 20-25 años, los parámetros del ciclo hidrológico modifican temporalmente la configuración de su patrón de distribución espacial en estos mismos periodos de tiempo, dependiendo de la posición de los individuos en las sucesivas plantaciones.

Si estas consideraciones tienen su importancia cuando se considera la evolución de los suelos forestales en condiciones libres, o de muy bajo índice, de contaminación atmosférica, habrán de adquirir especial relevancia al considerar áreas afectadas de deposición

húmeda y/o seca, dado que el proceso de interceptación supone un posterior aporte adicional al suelo (frente a suelos no forestados) que se distribuye con la misma variabilidad espacial que el flujo de agua y, por lo tanto, con diferente intensidad, tiempo de contacto... y, probablemente, posibilidad de amortiguación en el suelo.

Las aguas recogidas en los lisímetros de relleno estandar (LRE) situados bajo los horizontes superficiales del suelo representan anualmente entre un 50 y un 60% de la precipitación, en las estaciones de mayor intensi-

dad de lluvia y alrededor de un 30% de la precipitación en la parcela con menor pluviosidad (Tabla 5). El cálculo del drenaje medio en la totalidad del suelo forestal resultó próximo al 60% de la precipitación en las parcelas de O Martelo y Goente (no fue posible realizar ajustes iso-cloro en la otra parcela por interferencias de suelos no forestales en la cuenca). Este valor resulta algo superior al obtenido en los horizontes superiores, lo que pone de manifiesto la importancia del flujo de tallo, que no se considera adecuadamente en los lisímetros de relleno.

Tabla 5. Síntesis de los parámetros del ciclo hidrológico calculados aplicando el modelo de distribución heterogénea ($\text{radio}_{\text{copa}}:2\text{m}$; $\text{sup.copa}:12.56 \text{ m}^2$; $\text{sup.}\Sigma\text{copas}:7850 \text{ m}^2/\text{ha}$ (78.5%); $\text{sup.libre}:2150 \text{ m}^2/\text{ha}$ (21.5%))

PR_T:Precipitation total; PR_C:Precipitation/copa; Pl_C: Pluviolavado/copa; Pl_L:Pluviolavado libre; INT_C:interception/copa; INT_T:interception global; DR_A:drenaje hor.Ah; DR_{ST}:Drenaje suelo global; ET: evapotranspiración (Pl_L+Pl_C+FT-D_{ST})

	Martelo		Goente		Murias		Datos medios	Datos medios (Ma+Go)
	1997	1998	1997	1998	1997	1998		
PR _T (l/ha)	23150000	17150000	21367000	17851000	17105000	15305000	18654667	19880000
PR _C (l/copa)	29076.4	21540.4	26838.1	22420.9	21483.9	19223.1	23430.3	24969.3
Pl _C								
l/copa	22595.9	16730.0	20873.9	17436.3	12427.5	11111.4	16862.5	19409.0
(%PRC)	(77.7)	(77.7)	(77.8)	(77.8)	(57.8)	(57.8)	(72.0)	(77.7)
l/ha	14122438	10461500	13055237	10897688	7767188	6944625	10539063	12130641
(%PRT)	(61.0)	(61.0)	(61.1)	(61.1)	(45.3)	(45.4)	(56.4)	(61.0)
Pl _L								
l/ha	4977250	3687250	4593905	3837965	3677575	3290575	4010754	4274094
(%PRT)	(21.5)	(21.5)	(21.5)	(21.5)	(21.5)	(21.5)	(21.5)	(21.5)
FT								
l/tallo	1518.2	1100.7	3655.9	3069.1	526.6	436.2	1719.5	2338.6
(%PRC)	(5.2)	(5.1)	(13.6)	(13.7)	(2.5)	(2.3)	(7.3)	(9.4)
l/ha	948875	687938	2286269	1918188	329125	272625	1074688	1461625
(%PRT)	(4.1)	(4.0)	(10.7)	(10.8)	(1.9)	(1.8)	(5.8)	(7.3)
INT _C								
l/copa	4962.3	3709.7	2307.1	1915.5	8529.8	7675.5	4850.0	3223.7
(%PRC)	(17.1)	(17.2)	(8.6)	(8.5)	(39.7)	(39.9)	(20.7)	(12.9)
INT _T								
l/ha	3102100	2313312	1431589	1196017	5336760	4797188	3029494	2010755
(%PRT)	(13.4)	(13.4)	(6.7)	(6.7)	(31.2)	(31.3)	(16.2)	(10.1)
DR _A								
l/ha	10630190	10306080	10416500	10142580	4868880	5160950	8587530	10373838
(%PRT)	(45.9)	(60.1)	(48.8)	(56.8)	(28.5)	(33.7)	(46.0)	(52.2)
DR _{ST}								
l/ha	10885690	10630160	14764230	13071390	-	-	-	12337868
(%PRT)	(47.0)	(62.0)	(69.1)	(73.2)	(62.1)			
ET								
l/ha	9162873	4206528	5171181	3582451	-	-	-	5530758
(%PRT)	(39.6)	(24.5)	(24.2)	(20.1)				(27.8)

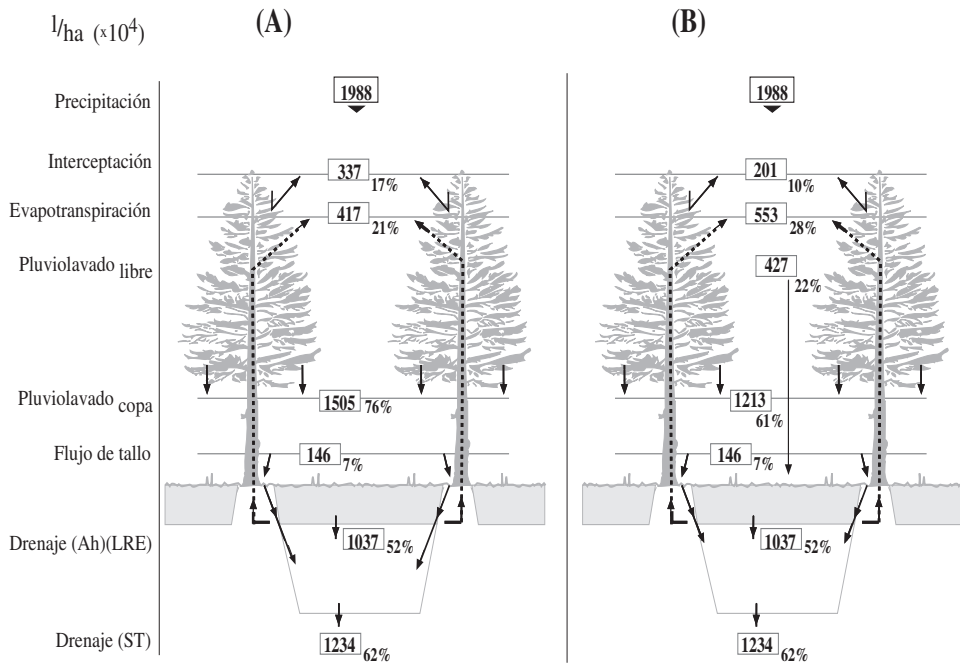


Fig. 5. Cálculo del balance hídrico en los sistemas forestales de O Martelo y Goente (1997-1999). (A): obtenido a partir de los valores medios de los registros de pluviolavado. (B): datos ponderados aplicando el modelo de distribución heterogénea

Una síntesis del balance hídrico resultante aplicando el modelo de distribución heterogénea se recoge en la Tabla 5. El cálculo de las entradas absolutas estimadas mediante ponderación resulta diferente al obtenido a partir de datos medios de los pluviómetros. Así, tomando como ejemplo los datos de las dos estaciones con mayor pluviosidad (Martelo y Goente), la infiltración media anual obtenida por ponderación asciende a un 90% de la precipitación (61% como suma de los pluviolavados de copa, 22% como infiltración libre y 7% como flujo de tallo); utilizando el modelo convencional la infiltración media anual es el 83% de la precipitación (Fig.5). Como resultado de estas diferencias, el cálculo de la interceptación por las cubiertas resulta inferior en el primer caso (10% de

P) que en el segundo (17% de P) y, así mismo, la evapotranspiración, calculada por diferencia entre las entradas y las salidas del suelo en su conjunto, resulta diferente (28% o 21%) según el procedimiento empleado.

CONCLUSIONES

A partir de los registros de agua obtenidos a lo largo de dos años completos en tres parcelas forestadas con *Pinus radiata* en Galicia se establecen los balances de agua en los sistemas aplicando dos métodos de cálculo, un modelo simple, que considera los valores medios de precipitación, pluviolavado, flujo de tallo y drenaje y un modelo de distribución heterogénea, que establece un cálculo ponderado de las entradas teniendo en cuenta

su distribución espacial. Los balances globales obtenidos por ambos procedimientos son algo diferentes al ser distinto el resultado contabilizado para la entrada neta a los suelos (83 y 90% de la precipitación, según se aplique el modelo convencional o el ponderado).

El flujo de tallo considerado en términos absolutos es poco significativo (7% de la precipitación), sin embargo, si se considera el peso de este volumen en la pequeña superficie de suelo afectada y la diferencia de flujo entre esta zona y otras adyacentes situadas bajo las cubiertas, se obtiene una valoración más adecuada de este factor, que resulta de una concentración sucesiva por traslocación vertical y deslizamiento hacia el interior del exceso de precipitación. En periodos de chubascos espaciados y poco intensos, la densa cobertura foliar de *Pinus radiata* presenta una elevada capacidad de captación (y evaporación) y el flujo de tallo no se produce o es irrelevante, pero durante la estación lluviosa (Octubre-Mayo) la intensidad de flujo equivalente alrededor de los troncos puede ser >15000 l/m²/año, 13 (hasta 20) veces la existente en otras áreas del suelo, de manera que la dinámica de evolución de los suelos forestales de la región debe estar fuertemente afectada por este patrón de comportamiento, muy diferente al de áreas próximas de pradera o cultivo.

Dado que a la intensa pluviosidad de la región se añade una elevada productividad (respecto a la de otras áreas más frías), el ritmo de evolución de los suelos forestales maderables está condicionado por turnos de tala y plantación relativamente cortos (20-25 años) de manera que no sólo sigue un patrón fuertemente heterogéneo en el espacio, sino también en el tiempo.

Las consideraciones anteriores adquieren especial relevancia cuando se extrapolan a áreas sometidas a procesos de contaminación atmosférica (húmeda y seca), dado el fuerte poder de captación de la deposición por la copa de las coníferas. La fuerte heterogenei-

dad de la distribución de las disoluciones contaminadas deberá traducirse en un diferente tiempo de contacto, y amortiguación, en diferentes zonas del suelo.

REFERENCIAS

- Amezaga, A., Gonzalez Arias, A., Echeandia, A., Onaindia, M. (1997). Atmospheric deposition and canopy interactions for conifer and deciduous forests in northern Spain. *Water Air Soil Pollut.* 97, 303-313.
- Aussenac, G., Granier, A. (1988). Effects of thinning on water stress and growth in Douglas-fir. *Can. J. For. Res.* 18, 100-105.
- Calvo de Anta, R. (1992). El eucalipto en Galicia. Sus relaciones con el medio natural. Universidad de Santiago de Compostela. 211p.
- Calvo de Anta, R.; Paz Gonzalez, A.; Diaz-Fierros, F. (1979). Nuevos datos sobre la influencia de la vegetación en la formación del suelo en Galicia. I: Interceptación de la precipitación. *An. Edafol. Agrob., XXXVIII.* 1151-1163.
- Crockford, R.H.; Richardson, D.P. (1990). Partitioning of rainfall in a eucalypt forest and pine plantation in southeastern Australia: II. Stemflow and factors affecting stemflow in a dry sclerophyll eucalypt forest and a *Pinus radiata* plantation. *Hydrol. Process.* 4, 145-155.
- Dambrine, E., Antonio Vega, J., Taboada, T., Rodríguez, L., Fernández, C., Macias, F., Gras, J.M. (2000). Bilans d'éléments minéraux dans de petits bassins versants forestiers de Galice (NW Espagne). *Ann. For. Sci.* 57, 23-38.
- Domingo, F., Puigfabregas, J., Moro, M.J., Bellot, J. (1994). Role of vegetation cover in the biogeochemical balances of a small forested catchment in southeastern Spain. *J. Hydrol.* 159, 275-289.

- Fahey, B., Watson, A., Payne, J. (2001). Water loss from plantations of Douglas-fir and radiata pine on the Canterbury Plains, South Island, New Zealand. *J. Hydrol. N Z* 40(1), 77-96.
- Falkengren-Grerup, U. (1989). Effect of stemflow on beech forest soils and vegetation in southern Sweden. *J. Appl. Ecol.* 26, 341-352.
- FAO. (1998). World Reference Base for Soil Recourses. FAO/ISRIC/SICS. Roma, Italia. 91pp.
- Feller, M.C. (1981). Water balances in *Eucalyptus regnans*, *E. obliqua*, and *Pinus radiata* forests in Victoria. *Aust. For.* 44, 153-161.
- Fernandez-Vega, V. (1998). Flujo de precipitación, pluviolavado y escorrentía en la cuenca alta del río Sor. Aplicación de un balance de elementos al estudio de los efectos de la deposición atmosférica. Tesis Doctoral. Facultad de Biología. Universidad de Santiago de Compostela.
- Gesper, P.L., Holowaychuk, N. (1971). Some affects of stem flow from forest canopy trees on chemical properties of soils. *Ecology.* 52, 691-702.
- Gras, j.m. (1993). Investigación sobre las relaciones hídricas de las plantaciones de *Eucalyptus globulus* en Galicia. Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid.
- GOMEZ REY, M.X. (2002). Efectos de la deposición atmosférica ácida sobre la dinámica del suelo y los ciclos biogeoquímicos en sistemas forestales de Galicia. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.
- Huber, A.W., Oyarzun, C.E. (1990). Variaciones anuales en precipitación, escurrimiento e intercepción en un bosque adulto de *Pinus radiata*. *Turrialba.* 40, 503-508.
- Huber, A.W., Oyarzun, C.E. (1992). Redistribución de las precipitaciones en un bosque siempre verde del sur de Chile. *Turrialba.* 42, 192-199.
- Mahendrappa, M.K. (1989). Impacts of forests on water chemistry. *Water. Air Soil Pollut.* 46, 61-72.
- Paz Gonzalez, A., Diaz-Fierros Viqueira, F. (1985). Contribución al conocimiento de la utilización del agua del suelo por las especies forestales (*Quercus robur* y *Pinus pinaster*) bajo clima templado humedo. *An. de Edaf. y Agrobiol* V. 44(7-8), 1081-1100.
- Whitehead, D., Kelliher, F.M. (1991). A canopy water balance model for a *Pinus radiata* stand before and after thinning. *Agric. For. Meteorol.* 55, 109-126.
- Zinke, P.J. (1962). The pattern of influence of individual forest trees on soil properties. *Ecolog.* 43, 130-133.