

# Intercepción, pluviolavado y escorrentía cortical en una plantación de *Pinus sylvestris* de la Cuenca de Candelario (centro-oeste de España)

Interception, throughfall and stemflow in a *Pinus sylvestris* plantation of the  
Candelario Basin (central-eastern Spain).

C.D.O.: 116.11

I. SANTA REGINA; J.F. GALLARDO; C. SAN MIGUEL; A. MOYANO  
IRNA/C.S.I.C, Apartado 257, Salamanca, 37071 (España).

## SUMMARY

The annual return of bioelements through rainfall was estimated in a reforested plantation of scot pine (*P. sylvestris* L.) in the Candelario Basin (Spanish Central System). It was observed that 91% of the mean annual rainfall (1.020 mm) reaches the soil under the tree canopy. Of it, 88% was found to correspond to throughfall, and the remaining 12% to stemflow. It was also observed that interception water, which later evaporates, reaches 9% of the inciding rainfall water. The return of bioelements to the soil mainly occurs throughfall, with the exception of copper; 60% of which is contributed by stemflow.

## RESUMEN

Se ha estimado el retorno anual de bioelementos a través del agua de lluvia en un bosque de repoblación de pino albar (*Pinus sylvestris* L.) en la Cuenca de Candelario (sistema central español). Para una pluviometría media de 1.020 mm anuales, del 91% del agua de lluvia que llega a alcanzar el suelo bajo el dosel arbóreo, el 88% corresponde al pluviolavado y el 12% restante a la escorrentía cortical. Se ha calculado, asimismo, que el agua de intercepción, que se evapora posteriormente, se eleva a cerca del 9% del agua de lluvia incidente.

El retorno de bioelementos al suelo se efectúa en su inmensa mayoría por pluviolavado, excepto para el cobre que, en un 60%, se aporta a través de la escorrentía cortical.

## INTRODUCCION

El agua de lluvia que cae sobre la vegetación se enriquece en materia orgánica y elementos minerales; los productos excretados por las hojas son, en efecto, arrastrados por el agua, junto con una parte importante de la microflora, así como el polvo atmosférico depositado previamente sobre las hojas; esta agua que atraviesa la canopia vegetal (o dosel arbóreo) la denominamos "pluviolavado", "translocación" o "throughfall". Tukey (1966) ha estudiado el mecanismo de este fenómeno de secreción cuticular, que depende de la edad de las hojas, las especies vegetales y de las variedades. No obstante, existen pocos estudios sobre el aspecto cualitativo y cuantitativo de los aportes de materia orgánica por pluviolavados. Por otra parte, el agua que fluye por las ramas y troncos (lo que denominamos "escurrimiento fustal" o "stemflow") le confiere ciertas características importantes a la zona próxima al tronco del árbol, lo cual ha sido también tema de estudio de otros autores (Slatyer, 1962).

El ciclo del agua es, por tanto, un factor importante en el funcionamiento de los ecosistemas forestales, sobre todo en las regiones con déficit hídrico y limitante, esporádica o habitualmente, como es el caso de áreas con influencia climática mediterránea (en España, alrededor del 80% de su superficie). En líneas generales, la lluvia representa la fuente de agua principal en los ecosistemas terrestres, aunque en bosques una fracción significativa se elimina rápidamente por evaporación en la misma cubierta vegetal (lo que se denomina "intercepción"); en ecosistemas forestales, esta pérdida se acompaña de una repartición espacial resultante de dos vías de penetración a través de la cubierta vegetal de un bosque denso: una está representada por el pluviolavado, mientras que la segunda, por escurrimiento fustal a lo largo de ramas y troncos (Santa Regina, 1987).

En resumen, la cubierta vegetal ejerce una influencia considerable sobre el balance del agua de los suelos por medio de dos procesos fundamentales: la intercepción de la precipitación incidente, más la transpiración (Rapp y Romane, 1968). Es-

tos fenómenos son también tema de estudio de diversos autores, entre los que destacan Rutter (1963) y Patric (1966), para coníferas; Slavik, 1962 y Schnock y Galoux (1967), para fagáceas.

En el presente trabajo se quiere, como objetivo principal, conocer la distribución del agua incidente en un pinar de repoblación de la Cuenca de Candelario, bajo clima húmedo con influencia mediterránea-supramediterráneo; además, se pretende realizar una estimación de los retornos de bioelementos al ecosistema forestal por medio del agua de lluvia, una vez que éste atraviesa la cubierta forestal (dosel arbóreo).

#### DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona donde se ha realizado el estudio se encuentra enclavada en la vertiente N.O. de la Sierra de Candelario (provincia de Salamanca, subsistema de la Sierra de Béjar, enclavado en el sistema central español), coordenadas 40° 20' norte y 5° 45' oeste. Se trata de un pinar de repoblación cuya edad aproximada es de 35 años (*Pinus sylvestris* L., vulgarmente conocido como pino escocés o pino albar), que se encuentra a unos 1.500 m de altitud, con una alta densidad de pies (1.500 pies por hectárea) y altura media de 10.5 m; el diámetro medio tomado a 1.50 m es de 20 cm. En cuanto a los suelos se trata, según el sistema F.A.O., de una asociación de Ránker y Cambisoles húmicos ("Umbrepts"), dada la diferenciación lateral de profundidad observable del granito alterado, que originan fases delgadas y profundas.

La escasa luminosidad existente bajo la vegetación arbolada, unida a la excreción de productos fenólicos por las coníferas, origina que exista una casi completa ausencia de fanerógamas o estrato arbustivo y herbáceo; además, la acumulación de hojarasca sobre el suelo origina condiciones físicas y fisicoquímicas poco favorables (principalmente, difícil acceso de las semillas a la superficie del suelo) para el desarrollo herbáceo.

Como se ha dicho anteriormente, el clima es mediterráneo húmedo, con una pluviosidad que supera los 900 mm anuales, con un máximo en in-

vierno (365 mm) y con menos de 100 mm en verano (tabla 1); la temperatura media anual es de 11.5°C, siendo enero el mes más frío (temperatura media de las mínimas: 0.1°C), y julio el más cálido (con 27.9°C de temperatura media de las máximas). Los vientos húmedos dominantes que aportan lluvias proceden del oeste (Océano Atlántico); al no existir en Portugal instalaciones industriales de importancia, o contaminantes de la atmósfera, se supone que los aportes minerales del agua de lluvia son escasos o, en todo caso, predominantemente de origen natural (sales marinas, polvo atmosférico, etc.).

La Cuenca de Candelario es de gran interés, debido a la abundancia de bosques, ya climático (rebollares), paraclimáticos (castañares) o disclimáticos (pinares); la abundancia y diversidad de bosques, la existencia de montes públicos, hacen idónea dicha zona para el estudio de ecosistemas forestales.

#### MATERIAL Y METODOS

Para la recogida del agua de lluvia se dispuso de 6 pluviómetros, de 70.9 cm<sup>2</sup> de superficie, colocándose a distintas alturas, de tal forma que cuatro quedan bajo el dosel arbóreo (estimación del pluviolavado o translocación), y los dos restantes sobrepasan la copa del árbol (estimación del agua incidente); cada pluviómetro estaba comunicado por un tubo de plástico a unos recipientes instalados en el suelo con capacidad suficiente para que el agua no rebasase durante los períodos de intensa precipitación.

El agua de escurrimiento fustal pudo cuantificarse gracias a la colocación de una chapa galvanizada dispuesta helicoidalmente alrededor del tronco de cinco árboles representativos de la zona cercada, según el método propuesto por Ford y Deans (1978); la precipitación recogida de esta forma fue conducida a un depósito de plástico de gran capacidad.

Las muestras se tomaban *in situ* a medida que surgían precipitaciones significativas, transportándose inmediatamente al laboratorio en recipientes

TABLA 1

Datos meteorológicos de Béjar (medias anuales de 14 años; Santa Regina, 1987).  
 Meteorological data of Béjar city (annual means, 14 years; Santa Regina, 1987).

T°C media anual	T°C media máximas (verano)	T°C media mínimas (invierno)	T°C máxima absoluta	T°C mínima absoluta	Pmm Lluvia anual	Pmm Ve-rano	Pmm In-vierno	Evapotranspiración potencial	Nº días lluvia	Nº días nieve	Nº días tormenta
11.5	27.9	0.1	39	-13	985	63	363	680	82	8	10

plásticos y determinándose en seguida el pH; al resto se le añadían unas gotas de  $H_2SO_4$  o HCl concentrados para evitar la posible contaminación debido a la actividad biológica, almacenándose a  $4^\circ C$  hasta el momento del análisis químico.

Para el cálculo de los valores de agua de escurrimiento se estimó, en forma aproximada, la existencia de una corona circular en torno a la base del tronco, con un radio máximo de 30 cm superior a la "sombra vertical" del árbol; esta superficie basal sirve para estimar los aportes del agua de escurrimiento fustal por unidad de superficie (en este trabajo, por  $m^2$ ); no obstante, algún autor (Mina, 1967) limita el efecto a tan sólo un radio de influencia con un máximo de un metro alrededor del tronco.

También se ha calculado el agua interceptada por diferencia entre el agua incidente y el pluviolavado más el escurrimiento fustal, dado que si  $P = I + T + F$  (P es lluvia incidente, I es agua interceptada, T es pluviolavado o translocación y F es escurrimiento fustal), nos queda:

$$I = P - (T + F)$$

Tan pronto como fue posible, se realizó el análisis de bioelementos. Se tomaron alcuotas de la muestra de agua previamente concentrada y, con el fin de destruir la materia orgánica y poner en solución los metales presentes en la muestra, se sometieron aquéllas a un proceso de digestión con  $HNO_3$  concentrado para la determinación final de calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro, manganeso, cobre y zinc; para la determinación de fósforo se empleó la digestión con  $HClO_4$ , oxidando la materia orgánica y liberando el fósforo como ortofosfato (Standard Methods, 1980), realizándose el análisis cuantitativo por colorimetría con metavanadato amónico (Chapman y Pratt, 1979). El potasio y el sodio se determinaron cuantitativamente mediante un fotómetro de llama FLA-PHO 4, mientras que el calcio, magnesio, hierro, manganeso, cobre y zinc, en un espectrofotómetro de absorción atómica Varian 1200.

El carbono orgánico se determinó por vía seca mediante un analizador T.O.C.A. 915 A (Beckman), el nitrógeno total mediante microkjeldahl Bouat-Afora.

Se ha empleado el método estadístico L.S.D. (mínimas diferencias significativas), no apreciándose diferencia significativa alguna entre los valores de los pluviómetros colocados tanto encima como debajo de la cobertura vegetal del árbol, pero sí entre aquéllos y éstos; también existen diferencias significativas para el dispositivo de esorrentía fustal del árbol numerado 4, y los cuatro restantes, por lo que se desestimó aquél.

Los valores de lluvia incidente y pluviolavado medidos van desde el día 3 de abril de 1984 hasta el 22 de diciembre de 1986, mientras que para el escurrimiento fustal (y, por tanto, la interceptación) se evaluaron desde el 14 de noviembre de 1985 hasta el 6 de noviembre de 1986.

## RESULTADOS Y DISCUSION

a) *Distribución del agua de lluvia.* Los resultados de lluvia incidente, agua de pluviolavado y escurrimiento fustal del bosque estudiado se expresan, en forma acumulativa para cada anualidad considerada, en la figura 1.

Se pueden establecer dos ciclos completos de lluvia; uno que va desde mediados de noviembre de 1984 hasta la misma época en 1985; y otro, desde entonces hasta el 6 de noviembre de 1986. Como resultado se tiene que durante el primer ciclo se recogen 1.052 mm de lluvia incidente (de los cuales percolan 835 mm a través del dosel arbóreo) y 1.021 mm durante el segundo (percolando esta vez 824 mm a través del follaje, más 110 mm que escurren a lo largo del tronco); por tanto, en el segundo ciclo se calculan 91 mm para el agua interceptada. Los resultados de este segundo ciclo se representan más detalladamente en la figura 2, obteniéndose los porcentajes para cada fracción hídrica considerada en la tabla 2.

Considerando la lluvia incidente (Fig. 1), se observan máximos entre los meses de abril/mayo (360 mm en abril de 1985; 265 mm en mayo de 1984; 154 mm en mayo de 1986), y otro en el inicio del otoño (355 mm en noviembre de 1985; 201 mm en octubre de 1986).

Concretándose al segundo ciclo pluviométrico (tabla 2), se observa que el porcentaje medio del pluviolavado es del 80%, oscilando entre el 63% (en abril) y el 90% (en marzo), oscilación que no parece correlacionarse con la temperatura ambiente, sino que también a otras variables (v.g. viento, distribución diaria de lluvias), puesto que una vez que el follaje se satura de agua, su capacidad de interceptación disminuye drásticamente; Rapp y Romane (1968) estiman que las diferencias de porcentaje de pluviolavado entre una especie y otra son principalmente función de la intensidad y duración de las lluvias incidentes, dando un valor medio de 78.5% en *P. halepensis*; un valor algo inferior a éste encontraron Will (1959) en *P. radiata* (71%) y Rapp y Ibrahim (1978) en *P. pinea* (70%). De los 1.021 mm de precipitación total de este segundo ciclo, 110 mm escurren a lo largo de ramas y tronco (tabla 2), que equivale a un porcentaje medio del 11%, oscilando entre el 8 al 21% en un mismo mes (octubre de 1986), probablemente también dependiendo

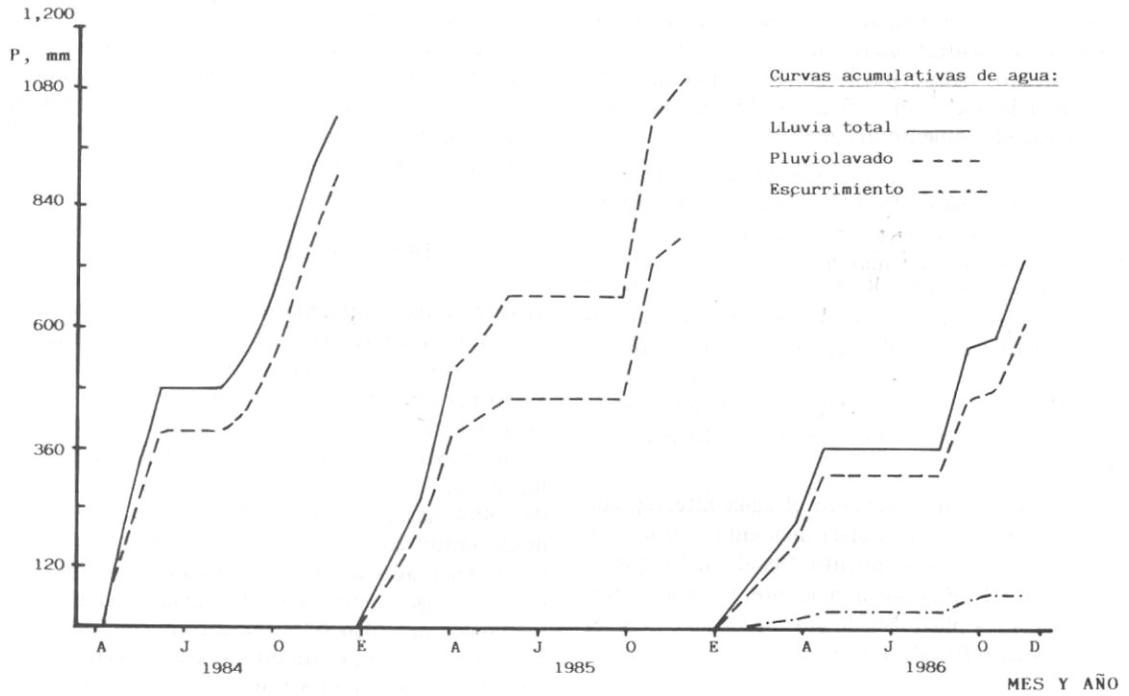


Fig. 1. Pluviometría, pluviolavado y escurrimiento fustal observados durante el tiempo de experimentación (en  $1/m^2$ , acumulativos).

Rainwater, throughfall and stemflow during the time of the experiment (accumulate  $1/m^2$ ).

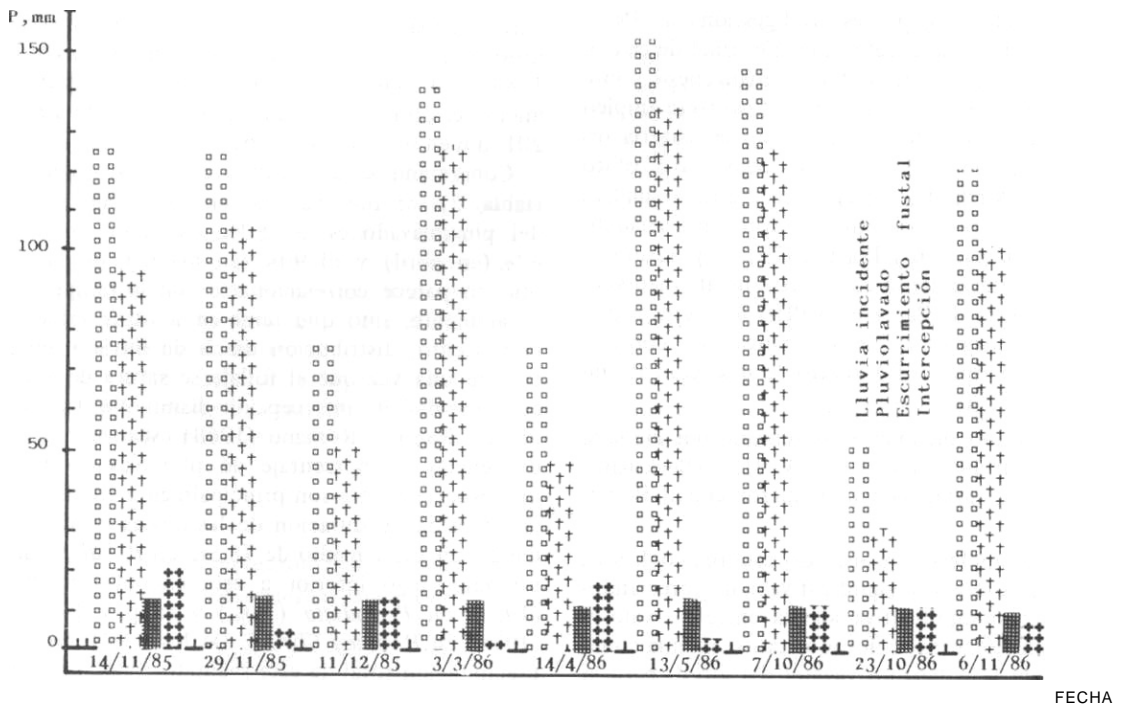


Fig. 2. Repartición del agua estimada durante el último ciclo ( $1/m^2$ ).

Water distribution during the last cycle ( $1/m^2$ ).

TABLA 2

Porcentaje del agua de pluviolavado, escurrimiento fustal e intercepción, con respecto a la lluvia incidente total.

Percentages of interception water, throughfall and stemflow in relation with total rain water.

Fecha	Lluvia incidente P(mm)	Pluviolavado % T	Escurrimiento fustal %F	Intercepción (calculada) %I
14-11-1985	126.2	74,3	9.7	16.0
29-11-1985	124.0	85.0	10.7	4.3
11-12-1985	76.9	65.5	16.7	17.8
03-03-1986	141.0	89.9	9.6	0.6
14-04-1986	76.2	63.1	14.4	22.4
13-05-1986	154.4	88.8	8.9	2.3
07-10-1986	148.9	84.4	7.9	7.7
23-10-1986	52.6	58.4	20.5	21.1
06-11-1986	120.8	85.0	8.6	6.4
	= 1.021.0	X = 77,2	X = 11,9	X = 11.0

del régimen de lluvias. Estas grandes variaciones son también encontradas en la bibliografía; así, Aussenac (1968) en pinos y abetos encuentra valores de escurrimiento fustal muy bajos (1 al 2% ); Ford y Deans (1978) lo cifran en un 27% en *Picea sitchensis*, mientras que Rapp y Ibrahim (1978) en *Pinus pinea*, tan sólo en un 2-3%; por tanto, la morfología, edad, manejo, etc., del bosque influye grandemente en estos valores.

El agua de intercepción calculada durante el segundo ciclo (tabla 2) alcanza un porcentaje medio del 9%, oscilando inversamente el agua de pluviolavado (desde tan sólo un 0.6% en marzo hasta un 22% en abril de 1986); esta gran variación se observa también en la bibliografía, y así Huber y Oyarzún (1983) estiman valores entre el 4 y el 53% en bosques de *Pinus radiata*, aunque el valor medio no llega al 10% cuando la precipitación continua es superior a 40 mm; por otra parte, Aussenac (1968) estima que la intercepción es importante en coníferas, ya que encuentra valores del 30% en *P. sylvestris*, del 34% en *Picea abies* y del 42% en *Abies grandis*, dando valores más bajos para caducifolios, por causa de su morfología.

Correlacionando P (pluviometría), I (intercepción), resulta la ecuación de regresión siguiente, significativa (p = 0.99):

$$I = 33.6 - 0.2P (r = 0.86; n = 9)$$

lo cual confirma que a menor intensidad de lluvia, mayor intercepción.

b) *Propiedades fisicoquímicas del agua de lluvia.* Se ha determinado el pH del agua de lluvia que incide sobre el pinar, así como de la que percuera a

través del dosel arbóreo, desde el comienzo de la experimentación (abril de 1984) hasta el final (noviembre de 1986); también se determinó el pH del agua de escurrimiento fustal durante el citado segundo ciclo. Todos los datos se representan en la figura 3.

Se han observado diferencias significativas entre el pH del agua incidente y el agua de pluviolavado, así como también entre el agua incidente, pluviolavado e intercepción en el citado segundo ciclo (1985-86). Obviamente, el agua que trascuela se carga de bioelementos, lo que ocasiona una elevación de pH, pasando de un valor medio de 5.3 de agua de lluvia (algo menor al considerarlo como "pH neutro" —5.7— por Barret y Brodin, 1955) a otro medio de 5.6; en ningún caso, como cabía esperar, se puede considerar la existencia de lluvias ácidas (ausencia de zonas industriales al oeste de la Sierra de Béjar); por otra parte, la oscilación del pH del agua translocada es notable (desde 5.1 en primavera hasta 6.2 en otoño, en el mismo año 1984); en otoño el aumento de pH puede ser mayor dado que no se lavan ácidos orgánicos. El pH del agua de escurrimiento fustal, por el contrario, es más bajo, siendo la media de 4.8, variando exactamente (entre 4.6 y 5.1); es de suponer que el arrastre de aniones (principalmente NO<sub>3</sub>) corticales, y la poca cesión de cationes, es responsable de este aumento de acidez.

c) *Composición del agua de lluvia.* En la tabla 3 se exponen los resultados de la composición química media del agua recogida durante el invierno de 1986. Se observa que el carbono orgánico es el bioelemento más abundante, enriqueciéndose significativamente las aguas de pluviolavado, aunque sólo

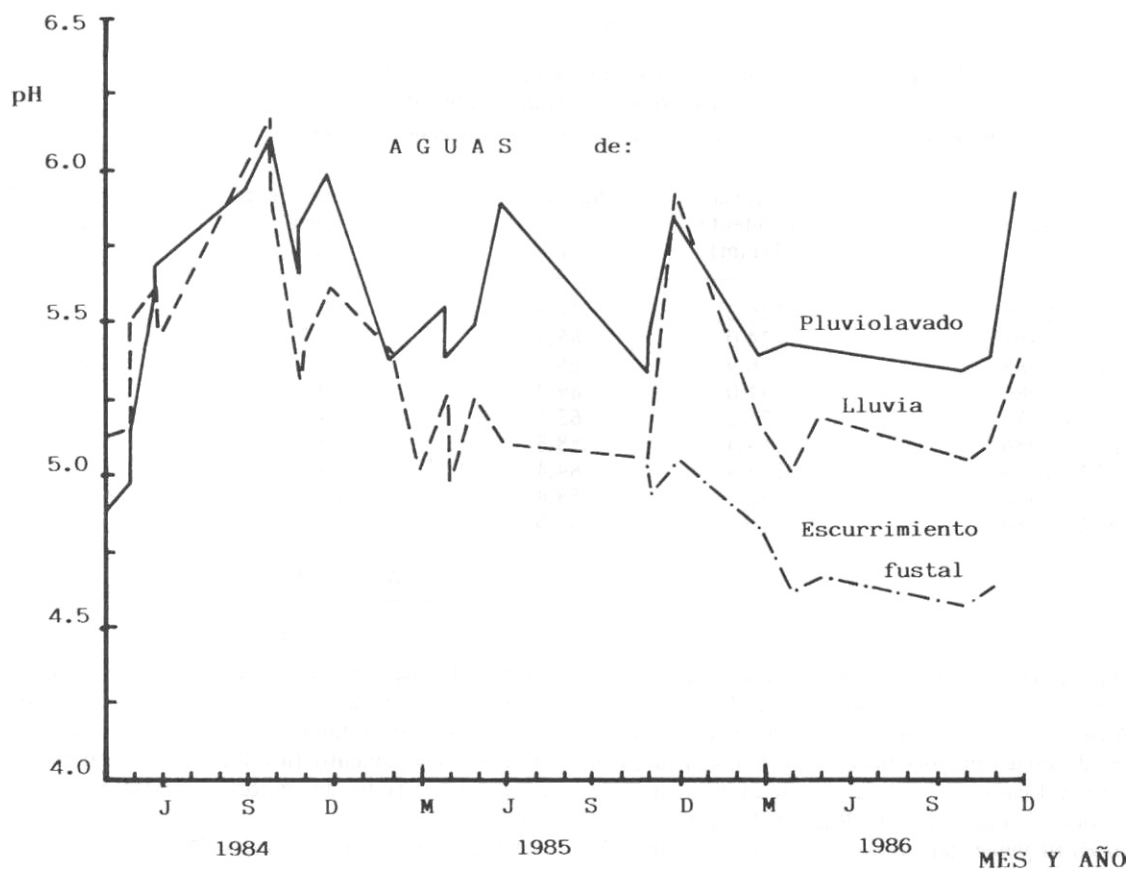


Fig. 3. Evolución del pH del agua durante los años 1984, 1985 y 1986 (pluviolavado, escurrimiento fustal y agua de lluvia incidente).

pH changes in water during 1984, 1985 and 1986 (rainwater, throughfall and stemflow).

TABLA 3

Composición química del agua de lluvia (invierno de 1986).

Chemical composition of the rainwater (winter, 1986).

Elementos (mg/kg)	C	N	Ca	Mg	p	K	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	C/N
Lluvia incidente	6.75	0.72	0.18	0.10	0.012	0.10	0.05	0.01	0.01	0.0006	0.10	9.3
Pluviolavado	12.80	1.60	0.30	0.11	0.035	0.70	0.09	0.04	0.08	0.0006	0.20	8.0
Escurrimiento fustal	8.10	0.95	0.34	0.16	0.020	0.76	0.12	0.15	0.27	0.0071	0.11	8.5

se llegan a alcanzar 13 mg/kg. Algo similar sucede con el nitrógeno total, alcanzando en las aguas de translocación el valor de 1.6 mg/kg.

El potasio, originalmente en pequeñas concentraciones (0.10 mg/kg), incrementa su valor siete veces más al atravesar el dosel arbóreo, dada su alta solubilidad; de forma análoga sucede con el calcio, en menor intensidad, ya que casi duplica su

concentración al atravesar la cobertura vegetal; por el contrario, el magnesio prácticamente no aumenta su concentración inicial (0.10 mg/kg); en situación intermedia se encuentra el zinc, que sólo duplica su concentración inicial (0.10 mg/kg) en las aguas de pluviolavado.

Con ya menor concentración se encuentra el fósforo (tan sólo 12 mg/tm), aunque incrementa

algo el contenido al atravesar el dosel arbóreo; el hierro, sin embargo, aumenta su proporción en el escurrimiento fustal (hasta 150 mg/tm), y más notablemente el manganeso.

El cobre se encuentra en cantidades mínimas (0.6 mg/tm), por lo que el contacto con el latón que recoge el agua de escurrimiento fustal puede justificar el incremento observado en ésta.

d) *Aporte de bioelementos por las precipitaciones.* El aporte medio de elementos minerales por las precipitaciones al suelo estimado se indica en la tabla 4; hay que tener en cuenta que la cantidad de agua en los dos ciclos considerados es semejante, por lo que se podría considerar la media; en cuanto al escurrimiento fustal suponemos que, al ser un bosque denso con las copas arbóreas en contacto, no hace falta corregirlo al considerarse toda la cobertura de la copa, según se dijo antes. En todo caso, dada la dificultad de estudio, los valores de la tabla 4 deben considerarse aproximados, aunque señalan el orden de "inputs" de bioelementos por agua de lluvia que debe considerarse en el ecosistema forestal estudiado.

El aporte de carbono orgánico por el agua de lluvia se estima en 70 kg/há y de 107 kg/há por pluviolavados (tabla 4); también el incremento de nitrógeno total es importante, 7.5 kg/há por lluvia directa, y 13.3 kg/há por pluviolavados (tan sólo 1 kg/há por escurrimiento).

El suelo del pinar se beneficia por medio de las aguas de lluvia en 1.9 kg/há de calcio, algo más alto para pluviolavado (2.5 kg/há) y con 0.4 kg/há gracias al escurrimiento fustal (tabla 4); según Rapp (1971), las raíces absorben gran cantidad de este calcio móvil, siendo el resto perdido hacia capas subyacentes en condiciones naturales.

En cuanto al magnesio, no hay enriquecimiento significativo del agua de pluviolavado respecto al agua de lluvia (alrededor de 1 kg/há), aunque nuestros valores son más bajos que los encontrados en otros bosques de coníferas (Aussenac *et al.*, 1972).

Son muy escasas las cantidades de fósforo que retornan al suelo del bosque, ya por agua de lluvia o pluviolavado (entre 0.1 kg/há y 0.3 kg/há, respectivamente), lo cual fue constatado por Aussenac *et al.* (1972) en bosques de coníferas.

Muy diferente es el comportamiento del potasio, del que sólo se aportan 0.8 kg/há por agua de lluvia, mientras que su cantidad se eleva a casi 6 kg/há por pluviolavado (tabla 4), sin duda debido a la secreción foliar; sin embargo, hay que esperar, que dada su solubilidad, pase en su mayoría rápidamente a través del perfil del suelo hacia las capas freáticas.

En cuanto al sodio se observa poco enriquecimiento en el pluviolavado respecto a la lluvia (tabla 4), debido a las bajas concentraciones de este elemento en el dosel arbóreo.

TABLA 4

Aportes de bioelementos al suelo por el agua (kg/há).  
Bioelement contribution of the rainwater, throughfall and stemflow.

Tiempo	Reparto	C	N	Ca	Mg	P	K	Na	Mn	Fe	Cu	Zn
Desde 16-11-1984	Lluvia incidente (1.052 mm)	71.0	7.6	1.9	1.1	0.13	1.1	0.53	0.11	0.11	6.3 x 10 <sup>-3</sup>	1.1
a 04-11-1985	Pluviolavado (835 mm)	106.9	13.4	2.5	0.9	0.30	5.8	0.75	0.67	0.33	5.0x 10 <sup>-3</sup>	1.7
	Lluvia incidente (1.021 mm)	68.9	7.4	1.8	1.0	0.12	1.0	0.51	0.10	0.10	6.1 x 10 <sup>-3</sup>	1.0
Desde 14-11-1985	Pluviolavado (824 mm)	105.5	13.2	2.5	0.9	0.29	5.80	0.74	0.66	0.33	4.9 x 10 <sup>-3</sup>	1.6
	%	92	93	86	82	94	87	85	69	67	39	94
a 06-11-1986	Escurrimiento fustal (110 mm)	8.9	1.0	0.4	0.2	0.02	0.83	0.13	0.30	0.16	7.8 x 10 <sup>-3</sup>	0.1
	%	8	7	14	18	6	13	15	31	33	61	6
	Total aportado al suelo	114	14.2	2.9	1.1	0.31	6.63	0.87	0.96	0.49	0.013	1.7

Son escasas las cantidades de oligoelementos que son aportados por el agua de lluvia, aunque el zinc llega a ser importante en el pluviolavado, debido a las secreciones cuticulares promovido por la relativa abundancia de este bioelemento en el roquedo original (Santa Regina, 1987) que puede impregnar las hojas a través del polvo atmosférico; por ejemplo, la contribución de cobre puede considerarse prácticamente nula (tabla 4).

## CONCLUSIONES

1. De la precipitación total anual que incide sobre la zona de estudio, un 80% corresponde al agua de pluviolavado, un 11% al escurrimiento fustal y un 9% al agua interceptada.

2. Se han establecido diferencias significativas entre el pH del agua incidente, de pluviolavado y de intercepción, siendo mayor la de pluviolavado y más ácida las de escurrimiento fustal, debido al arrastre de ácidos orgánicos al paso del agua por los órganos aéreos del árbol, no compensado por un enriquecimiento de bases.

3. En la determinación analítica del agua se observa un mayor contenido de carbono total, nitrógeno, potasio y calcio, y un contenido importante de zinc en las aguas de lluvia y pluviolavado.

4. Se ha estimado que cada año el suelo del bosque se enriquece en varios kg/há de macroelementos (principalmente nitrógeno, potasio y calcio) procedentes del pluviolavado y escurrimiento fustal. En cuanto a los oligoelementos, los aportes por el agua de lluvia (que incluye el polvo atmosférico más o menos disuelto) pueden ser importantes, por lo que los incrementos en el pluviolavado son poco notables, salvo para el manganeso.

5. Fundamentalmente, se aportan por pluviolavado (más del 80% del total que accede al suelo) el carbono, nitrógeno, calcio, magnesio, fósforo, potasio, sodio y zinc; en su mayor parte (entre el 60% y el 80%) el manganeso y el hierro, aunque hay que considerar, por ser significativo, el escurrimiento fustal; por el contrario, el cobre, dada su bajísima concentración (del orden de 5 g/há), parece incrementar algo por el escurrimiento fustal, aunque puede tratarse de la propia contaminación del dispositivo recolector.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento por el apoyo económico a la Junta de Castilla y León, y por la ayuda técnica a D<sup>o</sup>. C. Pérez y D.J. Bustos (*In Memoriam*).

## BIBLIOGRAFIA

- AUSSENAC, G. 1968. "Interception des précipitations par le couvert forestier", *Ann. Sci. Forest.* 25: 135-156.
- AUSSENAC, G.; BONNEAU, M.; LE TACON, F. 1972. "Restitution des éléments minéraux au sol par l'intermédiaire de la litière et des précipitations dans quatre peuplements forestiers de l'est de la France", *Oecol. Plant.* 7: 1-21.
- BARRETT, E.; BRODIN, G. 1955. "The acidity of Scandinavian precipitation", *Tellus* 7: 251-257.
- CARLISLE, A.; BROWN, A.H.F.; WHITE, E.J. 1966. "The organic matter and nutrient elements in the precipitations beneath a sessile oak Canopy", *J. Ecol.* 54: 87-98.
- CHAPMAN, H.D.; PRATT, P.F. 1979. *Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas*. Trillas, México, 195 pp.
- FORD, E.D.; DEANS, J.D. 1978. "The effects of Canopy structure on stemflow, throughfall and interception loss in a young sitka spruce plantation", *J. Appl. Ecol.* 15: 905-917.
- HUBER, A.; OYARZUN, C. 1983. "Factores reguladores de la intercepción en un bosque adulto de *Pinus radiata* (D. Don)", *Bosque* 21: 59-64.
- LEMEE, G. 1974. "Recherches sur les écosystèmes des réserves biologiques de la forêt de Fontainebleau. IV. Entrées d'éléments minéraux par les précipitations et transfer au sol par le pluviolavage", *Oecol. Plant.* 9: 187-200.
- MINA, V.N. 1967. "Influence of stemflow on soil", *Sov. Soil Sci.* 10: 1321-1329.
- NIHLGARD, B. 1970. "Precipitation, its chemical composition and effect on soil water in a beech and a spruce forest in South Sweden", *Oikos* 21: 208-217.
- PATRIC, J.H. 1966. "Rainfall interception by mature coniferous forest of Southeast Alaska", *J. Soil and Water Conservation* 21: 229-231.
- PREBBLE, R.E.; STIRK, C.B. 1980. "Throughfall and stemflow on silverleaf iron bark (*Eucalyptus melanophoia*) trees", *Australian J. of Ecology* 51: 419-427.
- RAPP, M. 1971. *Cycle de la matière organique et des éléments minéraux dans quelques écosystèmes méditerranéens*. C.N.R.S., Paris, 1984 pp.
- RAPP, M.; IBRAHIM, M. 1978. "Egouttement, écoulement et interception des précipitations par un peuplement des *Pinus pinea* L.", *Oecol. Plant.* 13: 321-330.
- RAPP, M.; ROMANE, F. 1968. "Contribution a l'étude du bilan de l'eau dans les écosystèmes méditerranéens. I. Egouttement des précipitations sous des peuplements de *Quercus ilex* L. et de *Pinus halepensis*", *Mill. Oecol. Plant.* 3: 271-284.
- RUTTER, A.J. 1963. "Studies in the water relations of *Pinus sylvestris* in plantation conditions. I. Measurement of rainfall and interception", *Ecol.* 51: 191-204.
- SANTA REGINA, I. 1987. *Contribución al estudio de la dinámica de materia orgánica y bioelementos en bosques de la Sierra de Béjar*. Tesis doctoral, Univ. de Salamanca, 464 pp.
- SCHNOCK, G.; GALOUX, A. 1967. "Réception des précipitations et egouttement", *Bull. Inst. Sci. Nat. Belg.* 43, 1-30.
- SLATYER, R.O. 1962. "Measurement of precipitation interception by an arid zone plant community (*Acacia aneura* F. Muell.)", *Méthodologie en Eco-*



- Physiologie Végétale*. ECKARDT, F.E. (ed.). *Actes Colloque de Montpellier*, UNESCO, 181-192.
- SLAVIK, B. 1962. "Rain interception in deciduous forest. Recherches sur la zone aride". *Méthodologie en Eco-Physiologie Végétale*. ECKARDT, F.E. (ed.), 193-199. *Actes Colloque de Montpellier*.
- STANDARD METHODS 1980. For the examination of water and wastewater. APHA. AWWA-WPCF, 1134 pp. México.
- TUKEY, H.B. 1970. "The leaching of substances from plants", *A. Rev. Pl. Physiol.* 21: 305-324.
- VILLECOURT, P.; ROOSE, E. 1978. "Charge en azote et en éléments minéraux majeurs des eaux de pluie, de pluviolessivage et de drainage dans la Savanne de Lamto (Côte d' Ivoire)", *Rev. Ecol. Biol. Sol.* 15: 1-20.
- WILL, G.M. 1959. "Nutrient return in litter and rainfall under some exotic-conifer stands in New Zealand", *N.Z.J. Agr. Res.* 2: 719-734.