

## INTERCEPCION Y CALIDAD DEL AGUA DE LLUVIA BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE CUBIERTA VEGETAL

MARTA GONZÁLEZ DE TÁNAGO<sup>1</sup>, MARÍA JESÚS GARCÍA<sup>1</sup>, LOURDES ORTEGA, G. PARDILLO<sup>1</sup>  
y MARÍA TOURNÉ<sup>1</sup>

### RESUMEN

En este trabajo se analizan las cantidades de agua de lluvia interceptadas por una cubierta de cedros (*Cedrus atlantica*) y otra de chopos (*Populus alba*), relacionándolas con el agua de lluvia recogida en una zona abierta sin vegetación, procedentes de tres parcelas experimentales situadas en la Ciudad Universitaria de Madrid durante 1987. Asimismo, se estudian el pH y la conductividad de las aguas de lluvia en las mencionadas parcelas.

La intercepción es siempre mayor en la cubierta de cedros que en la de chopos y alcanza el 47 y el 41% de las precipitaciones anuales, respectivamente. En la cubierta de chopos aumenta significativamente la intercepción durante su período vegetativo.

La cubierta de cedros es la que produce, en general, lluvias más ácidas, si bien, en la mayoría de los casos, se trata de aguas neutras, con valores de pH muy próximos a 7. La conductividad de las aguas de lluvia es muy variable a lo largo del año, aumentando considerablemente durante los meses más cálidos en la zona abierta y durante los meses de invierno bajo la cubierta de cedros, la cual es capaz de concentrar la contaminación atmosférica de esta época, produciéndose una situación intermedia bajo la cubierta de chopos.

### INTRODUCCION

De todos es conocido el efecto beneficioso de la vegetación en la regulación hídrica de las cuencas vertientes y en la protección del suelo. La cubierta vegetal mejora las condiciones de infiltración y retención de agua en el suelo a través de su sistema radical y materia orgánica que aporta, y evita el golpeteo de la lluvia y el arrastre de las partículas disminuyendo considerablemente la erosión (HEWLETT y DOSS, 1984).

La formación de escorrentía superficial por falta de capacidad de infiltración del suelo es generalmente inapreciable en las cuencas forestales cubiertas de vegetación (PIERCE, 1967) y la cantidad de sólidos en suspensión que llevan las aguas de los cauces bajo dicha cubierta es insignificante, en relación con lo que sucede en cuencas similares desforestadas (PATRIC *et al.*, 1984).

Un efecto también importante de la vegetación, aunque, en general, menos tratado en la bibliografía, es el de la intercepción de las precipitaciones, que en forma de lluvia, granizo, nieve, etcétera, quedan parcialmente retenidas por las hojas, ramas, ramillas, tronco, etcétera, de la cubierta vegetal y de ahí se evaporan nuevamente a la atmósfera o caen al suelo, pero ya con diferentes características a las del agua atmosférica antes de atravesar dicha cubierta.

Este fenómeno de la intercepción también tiene, en ocasiones, gran importancia en el balance hídrico de las cuencas, en especial cuando las precipitaciones son pequeñas y poco intensas y el porcentaje interceptado y evaporado puede superar el 30% de la lluvia caída (SZABO, 1975; RAPP e IBRAHIM, 1978), estando, a su vez, en relación con la especie, edad, cobertura, etcétera, de la masa vegetal (AUSSENAC, 1969; BRECHTEL, 1976).

<sup>1</sup> Laboratorio de Hidrología, ETS de Ingenieros de Montes, Ciudad Universitaria. 28040 Madrid.

La intercepción ha sido considerada por diferentes autores como una causa de «pérdida de agua»

en la cuenca (ZINKE, 1967), si bien en muchos casos esta disminución de los recursos hídricos que llegan al suelo se ve compensada por una reducción de las pérdidas de agua del suelo por evapotranspiración (AUSSENAC, 1981).

La parte aérea de la vegetación no sólo juega un papel notable en la «cantidad neta» de agua que recibe el suelo, sino que también influye en la calidad de este agua. Al atravesar la cubierta vegetal las aguas de lluvia o nieve efectúan un lavado de las partes aéreas de la vegetación, disolviendo y arrastrando partículas y compuestos depositados en las hojas, ramillas, troncos, etcétera, de la atmósfera circundante, y así, en condiciones naturales, las aguas de lluvia, después de atravesar una cubierta arbórea se enriquecen, entre otros compuestos, de calcio, potasio, nitrógeno, azufre (sulfatos) y carbono orgánico (LIKENS *et al.*, 1977; GARCÍA BELLIDO *et al.*, 1981; RODA *et al.*, 1983; KELLY, 1984). Y este fenómeno de lavado de las partículas captadas por la vegetación tiene una especial importancia en el fenómeno comúnmente conocido por «lluvia ácida», donde la vegetación, especialmente la arbórea o de copas más altas, aparece como un agente activo en la concentración de partículas contaminantes de la atmósfera, que posteriormente son disueltas y arrastradas al suelo por las aguas de lluvia, siendo a la vez la principal víctima del mismo.

Los bosques han dejado de ser, en muchos países, las zonas que suministran las aguas de mejor calidad, antes bien las aguas de lluvia bajo esta cubierta arbórea presentan en muchos casos una concentración de sulfatos y compuestos nitrogenados y carbonados mucho más elevada que la recogida en zonas descubiertas o con una vegetación de pequeña altura sobre el suelo (BRECHTEL *et al.*, 1986; HANEWALD, 1986).

Son las copas de los árboles de mayor altura, y en especial los de mayor densidad o superficie foliar (coníferas) las más afectadas, en general, por este mecanismo (HESSISCHE LANDESFORSTVERWALTUNG, 1986), al quedar expuestas a los vientos de altura capaces de transportar las partículas contaminantes a largas distancias desde las ciudades o regiones más industrializadas hasta las zonas del bosque.

Atendiendo a esta problemática, y con el fin de ir

obteniendo datos sobre la importancia de la intercepción en nuestro clima y la composición química de las aguas de lluvia bajo diferente cubierta vegetal, se ha realizado el presente estudio, donde se analiza la cantidad de agua de lluvia retenida por la vegetación (intercepción) a lo largo del año, y la conductividad y pH de las aguas bajo diferentes cubiertas, como parámetros representativos de su calidad.

## METODOLOGIA Y ZONA DE ESTUDIO

La zona en que se ha realizado este estudio pertenece al recinto de la ETS de Ingenieros de Montes, en la Ciudad Universitaria de Madrid, a una altitud aproximada de 600 m, con una precipitación media anual correspondiente a Madrid-Retiro) de 453 mm y una temperatura media anual de 14, 1° C (ALMAZARA, 1984).

En dicho recinto se establecieron tres parcelas de experimentación donde se recogieron diariamente las aguas de lluvia a lo largo de 1987 bajo diferentes condiciones de cubierta vegetal. La primera parcela se estableció en una zona con cedros (*Cedrus atlantica*) de altura media 20-25 m y fracción de cubierta cubierta del 95%, de 45 años de edad. La segunda parcela se estableció bajo una chopera de álamo blanco (*Populus alba*) formada por pies de 30-35 m de altura, con fracción de cubierta cubierta del 65% y edad 35 años. La tercera parcela se situó en una zona abierta sin ningún tipo de cubierta arbórea. Esta última se tomó como referencia para comparar la incidencia de la vegetación en la cantidad de agua de lluvia que llega al suelo (disminuida por la intercepción) y en las características químicas de ese agua estimadas a través de su pH y su conductividad.

Para analizar la influencia de la presencia de hojas en la especie frondosa sobre los procesos hidrológicos considerados se ha seguido el crecimiento y desarrollo de su sistema foliar, habiendo considerado un período vegetativo, correspondiente al año de estudio, desde mediados de abril hasta mediados de octubre, considerando el resto del año como período durmiente para esta especie.

Las botellas de recogida de agua se dispusieron, aproximadamente, a 1 m del suelo, sujetas por porciones de tubería colocadas verticalmente, siguiendo el procedimiento descrito por BRECHTEL *et al.*

TABLA I

VALORES MEDIOS DIARIOS Y ANUALES, DE ALTURAS DE LLUVIA (p) E INTERCEPCION (i), EN mm, PARA CADA MES, OBTENIDOS EN LA ZONA DE ESTUDIO DURANTE 1987

Meses	N.º días lluvia	Zona abierta		Zona con cedros			Zona con chopos				
		p/día	p/día	p/día	i/día	% i (1)	p/día	i/día	% i (2)		
Enero .....	10	9,15	9,69	5,19	8,37	4,85	53,1	5,70	6,48	3,45	37,3*
Febrero .....	8	5,37	2,74	2,02	1,12	3,35	62,4	2,96	1,70	2,41	44,9*
Marzo .....	3	1,78	1,88	0,65	1,02	1,12	63,0	1,04	1,07	0,74	41,6
Abril .....	6	8,88	5,75	4,91	5,83	3,97	44,7	5,15	4,14	3,73	42,0
Mayo .....	3	14,02	12,90	8,04	7,75	5,98	42,6	7,96	7,49	6,06	43,2
Junio .....	1	3,82	—	1,17	—	2,65	69,4	1,65	—	2,17	56,8
Julio .....	3	11,41	5,80	4,83	4,27	6,58	57,7	5,00	3,84	6,41	56,2
Agosto .....	1	17,87	—	10,10	—	7,77	43,5	10,14	—	7,73	43,2
Septiembre .....	2	4,15	3,83	0,81	1,15	3,34	80,5	1,52	1,43	2,63	63,4
Octubre .....	8	7,38	6,34	3,24	4,15	4,14	56,1	3,66	4,02	3,72	50,4
Noviembre .....	5	12,98	22,87	8,47	17,55	4,51	34,7	8,07	15,63	4,91	37,8
Diciembre .....	5	19,25	18,54	11,53	14,41	7,72	40,1	13,11	13,50	6,14	31,9
		P anual	P anual		I anual	%		P anual	I anual	%	
Total recogido .....	55	519,60	273,70		245,80	47,3		303,60	216,00	41,6	

\* Meses en que las diferencias entre columnas (1) y (2) son significativas según la *t* de student para un nivel de 0,05.

(1986). Los recipientes fueron dispuestos en la intersección de una malla de 5 × 4 m con su lado mayor en el sentido de la pendiente de la ladera, habiéndose colocado en la parcela de cedros 7 recipientes, 10 en la de chopos y 3 en la zona abierta.

La lluvia se recogió durante las primeras horas de la mañana, refiriéndose a las precipitaciones caídas durante las 24 horas precedentes. Para la medición del pH hemos utilizado un pHmetro de laboratorio Orion, de estimación de centésimas, y la conductividad la medimos con un conductímetro de campo Instran 10. Problemas en la disponibilidad de estos aparatos de medida hicieron que no se pudieran empezar las mediciones hasta unas semanas después de iniciarse el estudio, el cual continúa desarrollándose en la actualidad con el fin de calibrar con un año más de datos los resultados obtenidos hasta la fecha.

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos en esta primera fase de nuestro estudio aparecen expuestos en las tablas y figuras correspondientes, habiéndose analizado a través del tiempo, por meses del año, y según la cantidad de agua caída diariamente.

### Intercepción a lo largo del año

La Tabla I recoge el número de días de lluvia de

cada mes y las precipitaciones totales y medias por día recogidas a lo largo del año, bajo las diferentes condiciones estudiadas.

El número de días de lluvia es muy variable según los meses, reflejando un período de lluvias de octubre a abril y un período más seco de mayo a septiembre, como corresponde a un clima mediterráneo, con gran variabilidad interanual. Dentro de cada mes las lluvias diarias oscilan considerablemente, presentando todos los datos, en general, una gran dispersión en torno a la media, con una dispersión aún mayor en los meses de mayor precipitación donde se incluyen fuertes aguaceros diarios (meses de noviembre, diciembre, enero y mayo, principalmente).

Los porcentajes de precipitación interceptada son en todos los casos, excepto en noviembre, mayores en la cubierta de cedros que en la de chopos, alcanzando los valores máximos en los meses más cálidos por efecto de la temperatura (mayor evaporación) y menor intensidad de las lluvias caídas. (El valor del mes de agosto no sigue esta tendencia, si bien se trata de un solo dato correspondiente a un aguacero de fuerte intensidad.)

Se observa un mayor incremento de la intercepción de los chopos durante su período vegetativo o con presencia de hojas, meses de abril a noviembre, en que los valores interceptados por esta cu-

bierta se aproximan considerablemente a los correspondientes a los cedros, de hoja permanente y son significativamente mayores para un nivel de 0,01, que los correspondientes a la época durmiente.

Un análisis posterior de los porcentajes de intercepción mensuales de cada cubierta, a través de la *t* de Student, indica que las diferencias entre condiciones de vegetación no son significativas para un nivel de 0,05, excepto en los meses de enero y febrero en que es mayor el número de aguaceros analizados.

Por último, comparando los valores totales de las precipitaciones recogidas a lo largo del año 1987 en cada caso se obtiene un porcentaje medio anual de intercepción del 47% para los cedros y del 41,5% para los chopos, valores en ambos casos equivalentes a los suministrados por la bibliografía en condiciones similares.

SZABO (1975) calcula pérdidas por intercepción en robledales (*Quercetum petrae-cerris*) de Hungría siempre superiores al 16% de las precipitaciones, llegando, en ocasiones, al 50-66% según la duración e intensidad de los aguaceros, con un valor medio anual del 20% de la precipitación. PEARCE y ROWE (1979) comentan la importancia de la intercepción en los días o climas más secos, estimando niveles de evaporación del agua interceptada tres o cuatro veces superiores a los niveles diarios de evapotranspiración, debido a la escasa resistencia a la difusión del vapor de agua contenido en una cubierta aerodinámica y muy rugosa, como es la del bosque húmedo (CALDER, 1982). En otros trabajos, PEARCE *et al.* (1982) dan valores de intercepción media mensual entre 19 y 51%, con una media anual de 31% para un bosque neozelandés mixto, de hoja permanente, con una precipitación media anual en torno de 1.480 mm y una temperatura media anual de 10,4° C, oscilando entre una media mensual de 4,6° C en julio y 15,8° C en febrero.

En todos los casos se observa la importancia que tiene el fenómeno de la intercepción a lo largo del año en la cantidad de agua disponible, y la necesidad de considerar las posibilidades que ofrece la vegetación en la gestión hidrológica de las cuencas vertientes, especialmente en los climas mediterráneos donde en algunos meses son tan escasos los recursos hídricos.

### Intercepción según intensidad de los aguaceros

Para analizar la relación entre el porcentaje de lluvia interceptado y la intensidad del aguacero (en nuestro caso estimada a través de la altura de agua caída en 24 horas), se han agrupado los datos de lluvia en clases según alturas y analizado el porcentaje de intercepción, para cada tipo de cubierta, como aparece en la Tabla II.

Para una misma intensidad del aguacero se observan porcentajes de intercepción siempre mayores en la cubierta de cedros que en la de chopos (excepto en el aguacero de mayor intensidad que por tratarse de un solo valor consideramos poco representativo). La presencia de las hojas de los chopos aumenta notablemente su porcentaje de intercepción, llegando a tomar valores muy próximos a los de los cedros en los meses de período vegetativo (abril a octubre en nuestro caso).

En los aguaceros más pequeños la cantidad de agua interceptada puede alcanzar prácticamente la totalidad del agua caída, quedando retenida entre las copas y troncos de donde se evapora directamente a la atmósfera sin llegar nunca al suelo. Según aumenta la cantidad de agua caída también va siendo mayor la lluvia interceptada hasta alcanzar un valor máximo a partir del cual la cantidad interceptada se hace más o menos constante, sin aumentar con la precipitación, disminuyendo gradualmente el porcentaje interceptado respecto a la lluvia total.

Los valores de la lluvia interceptada respecto a la precipitación, en mm, se pueden ajustar a una parábola como la propuesta por BULTOT *et al.* (1972) con los resultados siguientes:

Zona de cedros:

$$I = 0,61952007P - 0,0076842056P^2$$

$$SS_{res.} = 3,6922$$

$$\text{Coef. determ. } r^2 = 0,7086.$$

Zona de chopos (período vegetativo):

$$I = 0,60941319P - 0,0066385744P^2$$

$$SS_{res.} = 0,7196$$

$$\text{Coef. determ. } r^2 = 0,9332.$$

TABLA II

ALTURAS DE LLUVIA Y VALORES DE INTERCEPCIÓN, EN mm, SEGUN INTENSIDAD DE LAS TORMENTAS (Pmm EN 24 HORAS) PARA LAS CONDICIONES DE CUBIERTA VEGETAL ANALIZADAS. PV: PERIODO VEGETATIVO. RV: PERIODO VEGETATIVO. RV: PERIODO VEGETATIVO

Pmm	Abierto			Cedros			Chopos (RV)			Chopos (PV)						
	P	i	%	P	i	%	P	i	%	P	i	%				
0-2	1,03	0,50	0,07	0,17	0,95	92,0	10	0,46	0,28	0,65	60,0	3	0,22	0,40	0,69	79,7
2-4	3,31	0,59	0,92	0,75	2,40	72,0	3	1,74	0,83	1,84	51,0	4	1,03	0,54	2,08	67,0
4-6	4,74	0,61	1,85	0,85	2,89	61,0	6	2,57	0,48	2,00	43,7	1	2,77	—	3,53	60,8*
6-8	7,00	0,43	2,22	0,41	4,78	68,0	4	3,96	0,30	3,07	43,0	1	2,53	—	4,33	63,1*
8-10	8,95	0,51	2,98	0,24	5,97	67,0	4	5,13	0,37	3,87	43,0	1	3,63	—	5,13	58,6*
10-12	10,97	0,67	4,67	2,84	6,30	57,0	4	5,76	0,62	5,02	46,6	2	5,49	3,09	5,85	51,6
12-16	12,38	0,42	5,00	0,17	7,40	59,7	1	7,34	—	4,75	39,3	1	5,21	—	7,47	58,9
16-20	17,44	0,62	10,63	3,56	6,82	39,0	3	11,40	1,30	5,59	34,4	2	9,77	0,53	7,86	44,6
20-30	27,94	—	15,54	—	12,40	44,4	—	—	—	—	—	1	15,58	—	12,36	44,3
30-40	33,52	1,22	22,30	6,55	11,22	33,5	2	23,30	2,04	10,17	30,3	—	—	—	—	—
40-50	43,69	—	34,21	—	9,48	21,7	1	30,47	—	13,22	30,2	—	—	—	—	—
50-60	53,59	—	39,80	—	13,80	25,7	1	35,90	—	17,69	33,0	—	—	—	—	—

\* Niveles de precipitación en que las diferencias de porcentajes de intercepción entre diferentes cubiertas son significativas según la F de Snedecor para un nivel de 0,05.

Zona de chopos (reposo vegetativo):

$$I = 0,40990582P - 0,002031234P^2$$

$$SS_{res.} = 0,4927.$$

$$\text{Coef. determ. } r^2 = 0,9635.$$

BULTOT *et al.* establecen el valor máximo de precipitación *P* a partir del cual la cantidad interceptada *I* se hace más o menos constante, ajustando la parábola únicamente a los datos de precipitación inferiores a dicho valor y no considerando la rama descendente de la curva, que no tiene sentido físico en el proceso.

En nuestro caso hemos optado por ajustar nuestros datos a expresiones del tipo  $I = P/aP + b$  (recíproca de la hipérbola), donde los valores de *I* (mm) van creciendo con los de *P* gradualmente, acercándose a un valor asintótico siendo cada vez menor el incremento de *I* respecto a *P*. Creemos que un ajuste de este tipo puede resultar adecuado para modelizar el fenómeno de la intercepción, y permite directamente el ajuste gráfico de la relación entre el porcentaje de intercepción y la precipitación, sin más que sustituir en la primera la variable *I* por  $100I/P$ , resultando curvas del tipo  $y = 1/a + bx$  (recíproca de la recta) donde el porcentaje de intercepción (*y*) alcanza valores muy próximos al 100% cuando la precipitación (*x*) es muy pequeña, y disminuye progresivamente según va aumentando esta última (Fig. 1).

Los resultados obtenidos ajustando nuestros datos a las funciones descritas son los siguientes:

Zona de cedros:

$$I = \frac{P}{0,070627P + 1,165527}$$

$$SS_{res.} = 2,6176.$$

$$SS_{total} = 33,1247$$

$$\text{Coef. determ. } r = 0,9209785$$

$$\% I = \frac{100}{0,070627P + 1,165527}$$

Zona de chopos (período vegetativo):

$$I = \frac{P}{0,114307P + 0,990340}$$

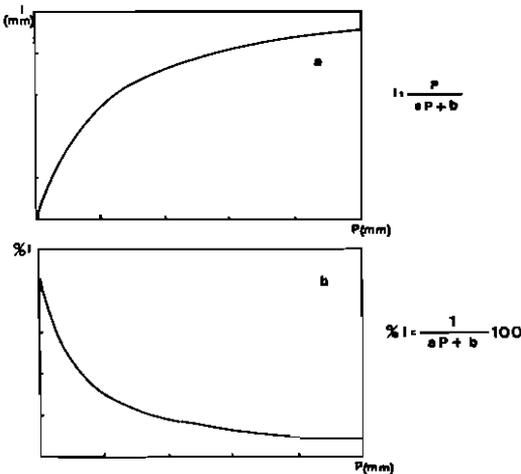


Fig. 1. Curvas de ajuste utilizadas. a: Recíproca de la hipérbola relacionando la interceptación I en mm con la precipitación caída P en mm. b: Recíproca de la recta relacionando el porcentaje de precipitación interceptada %I con la precipitación caída P en mm.

SSres. = 0,1187  
 SStotal = 5,9292  
 Coef. determ. r = 0,9799875

$$% I = \frac{100}{0,114307P + 0,990340}$$

Zona de chopos (reposo vegetativo):

$$I = \frac{P}{0,165846P + 1,377825}$$

SSres. = 4,1384  
 SStotal = 18,8350  
 Coef. determ. r = 0,7802828

$$% I = \frac{100}{0,165846P + 1,377825}$$

Los ajustes obtenidos con estas funciones son aún mejores que con las parábolas iniciales y su obtención resulta más sencilla al no necesitar del procedimiento iterativo para establecer el valor máximo de P para el cual la interceptación se hace constante ajustándose a una recta, en la primera fase del análisis,

obteniéndose directamente las funciones del porcentaje de interceptación.

Comparando los resultados de los tres tipos de cubierta analizados, y las curvas resultantes, se observa que la cantidad de agua interceptada es siempre mayor bajo la cubierta de cedros que bajo la de chopos, si bien existe menor diferencia entre las condiciones presentadas por la primera y la cubierta de chopos con hojas, que entre las dos condiciones vegetativas de la especie frondosa. No obstante, las diferencias obtenidas para cada tipo de cubierta vegetal, según alturas de lluvia no son estadísticamente significativas para un nivel de 0,05, salvo en las clases consideradas entre 6 y 10 mm, quizá debido, fundamentalmente, al reducido número de datos disponibles hasta la fecha de algunas de estas clases.

**Calidad de las aguas de lluvia**

Los valores de pH y conductividad de las aguas de lluvia bajo diferente cubierta vegetal aparecen expuestos en las Tablas III a V.

**pH**

La cubierta de cedros es la que produce lluvias más «ácidas», si bien durante gran parte del año las aguas son prácticamente neutras en las tres condiciones analizadas (Tabla III). Existen diferencias significativas del pH, a un nivel de 0,05, entre las tres condiciones analizadas durante los meses de diciembre a abril, ambos incluidos, época en que la contaminación atmosférica es mayor por efecto de las calefacciones y es más aparente la mayor capacidad de captación y acumulación de partículas contaminantes de la atmósfera por parte de las acículas de los cedros. Fuera de estos meses las diferencias de pH entre cubiertas no son significativas, oscilando en todos los casos alrededor de un pH neutro (Fig. 2).

En relación con la cantidad de lluvia caída (Tabla IV) no se observa ninguna relación entre este factor y el pH de las aguas y no existen, en este caso, diferencias significativas del mismo entre las distintas cubiertas vegetales para una misma altura de agua, ni entre las diferentes alturas bajo una misma cubierta.

La mera presencia de una cubierta arbórea influye en el proceso de acidificación, provocando una deposición seca de partículas y gases que posteriormente son lavados y arrastrados al suelo por el agua

TABLA III

VALORES DEL pH DE LAS AGUAS RECOGIDAS BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE CUBIERTA VEGETAL, POR MESES DEL AÑO 1987

Meses	Abierto		Cedros		Chopos	
Enero .....	5,76	1,06	4,69	0,99	6,11	0,91*
Febrero .....	5,86	0,64	4,44	0,65	6,48	0,38*
Marzo .....	7,05	0,24	6,12	1,67	6,88	0,22*
Abril .....	6,89	0,29	5,55	0,82	6,74	0,30*
Mayo .....	7,52	0,18	6,38	0,97	7,09	0,58
Junio .....	7,77	—	6,49	—	7,68	—
Julio .....	7,57	0,12	7,35	0,47	7,59	0,42
Agosto .....	7,50	—	7,00	—	7,20	—
Septiembre .....	7,68	0,35	7,63	—	7,99	0,08
Octubre .....	7,83	0,43	7,85	0,46	7,87	0,40
Noviembre .....	7,63	0,26	7,05	0,20	7,67	0,26
Diciembre .....	7,35	0,25	6,36	0,77	7,38	0,33*

\* Meses en que las diferencias del pH entre las distintas condiciones de cubierta vegetal son significativas según la F de Schnedecor para un nivel de 0,05.

TABLA IV

VALORES MEDIOS DEL pH DE LAS AGUAS RECOGIDAS BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE CUBIERTA VEGETAL, SEGUN ALTURA DE AGUA TOTAL RECOGIDA EN 14 HORAS. RV: REPOSO VEGETATIVO. PV: PERIODO VEGETATIVO

Pmm 24 h.	Abierto		Cedros		Chopos (RV)		Chopos (PV)	
0-2	7,24	0,78	7,02	1,16	7,13	0,41	7,93	—
2-4	7,55	0,50	6,58	1,47	7,02	0,42	7,81	0,33
4-6	6,50	0,84	5,48	1,47	6,41	0,96	7,82	—
6-8	6,11	1,48	5,91	1,64	6,87	0,76	8,05	—
8-10	6,16	0,82	5,43	1,12	6,12	0,62	6,81	—
10-12	7,20	0,60	6,84	0,92	7,30	0,44	7,84	0,42
12-16	6,84	1,27	6,20	2,86	6,00	—	—	—
16-20	6,95	0,95	5,90	1,70	6,65	0,89	7,16	0,08
20-30	7,32	—	5,71	—	—	—	6,42	—
30-40	5,77	1,77	4,67	1,46	6,18	1,34	—	—
40-50	7,15	—	5,30	—	6,96	—	—	—
50-60	7,97	—	6,90	—	7,43	—	—	—

TABLA V

VALORES MEDIOS DE CONDUCTIVIDAD DE LAS AGUAS ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) RECOGIDAS BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE CUBIERTA VEGETAL, EN LOS MESES DE 1987

Meses	Abierto		Cedros		Chopos	
Enero .....	—	—	—	—	—	—
Febrero .....	—	—	—	—	—	—
Marzo .....	32,00	—	506,0	—	172,0	—
Abril .....	57,00	39,40	209,0	—	156,2	—
Mayo .....	118,00	141,00	174,0	28,3	306,3	—
Junio .....	117,00	—	352,0	—	277,0	—
Julio .....	77,30	63,80	181,6	122,1	312,6	293,90
Agosto .....	—	—	—	—	—	—
Septiembre .....	224,00	152,70	507,0	—	518,5	146,40
Octubre .....	203,40	—	510,8	239,4	376,7	157,00
Noviembre .....	56,10	26,20	332,5	115,1	165,8	58,48
Diciembre .....	54,11	36,81	337,8	114,6	122,2	41,30

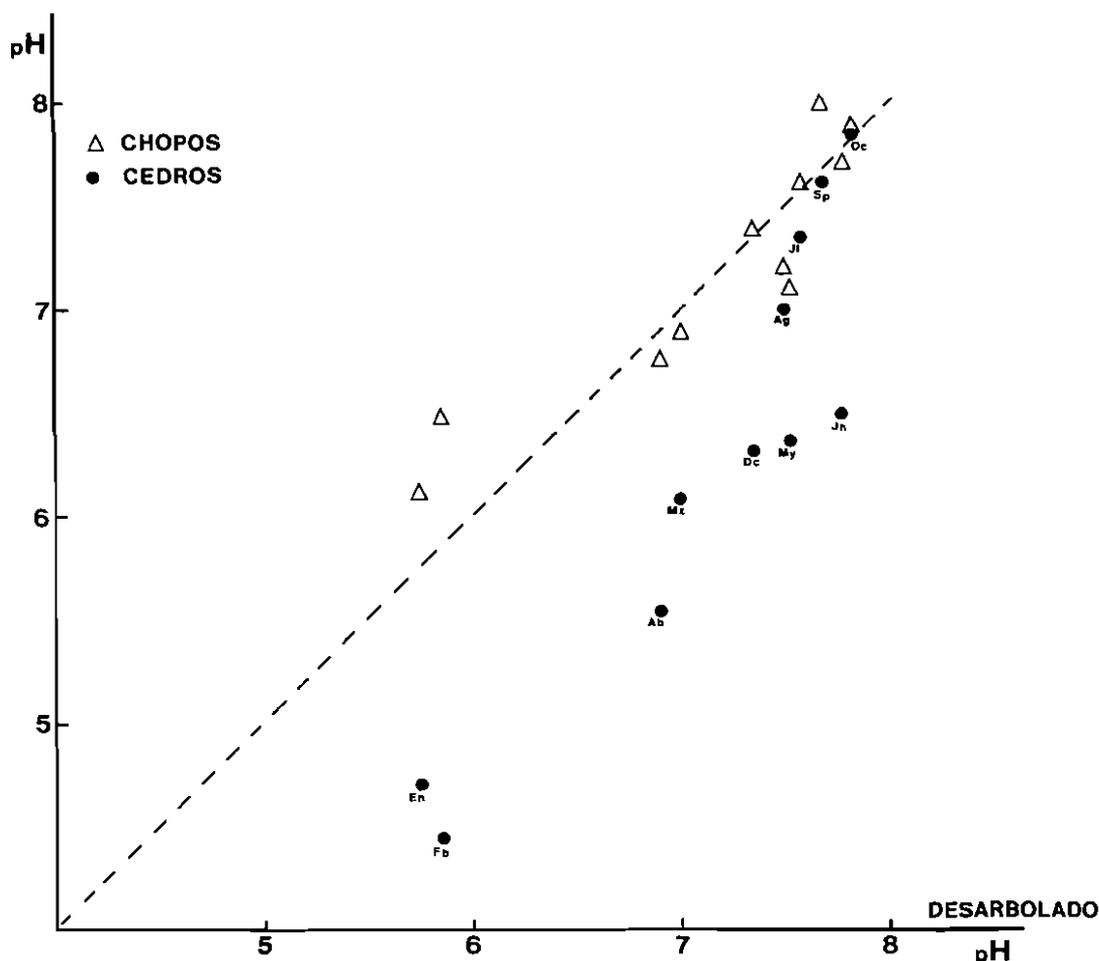


Fig. 2. Valores medios mensuales del pH de las aguas recogidas bajo diferente cubierta vegetal. Las coordenadas de cada punto corresponden en abscisas al valor del pH de las aguas en zona abierta y en ordenadas al de las aguas en zona arbolada, para cada mes del año de estudio.

de lluvia. En este proceso, un bosque de coníferas generalmente recibe mayores entradas de iones en forma de «deposición seca» que otro de frondosas, debido principalmente a su cubierta foliar permanente, y, en la mayoría de los casos, a su mayor superficie foliar (HOFKEN, 1983; MATZNER, 1983).

Este proceso de retención de partículas contaminantes de la atmósfera entre las copas de los árboles está muy ligado al de la intercepción. MATZNER (1986) ha estudiado la fuerte influencia del tipo de copa o cubierta aérea de la vegetación en la

cantidad de compuestos depositados, siendo significativamente mayor la deposición por intercepción (adsorción de gases, aerosoles y gotas) expresada en kg/Ha/año, de numerosos iones, especialmente H, Al, Mg y  $\text{SO}_4$ , en la cubierta de píceas que en la de hayas, debido a la mayor superficie específica que actúa de filtro en el caso de las coníferas, especialmente durante el invierno.

#### Conductividad

Respecto a la conductividad de las aguas, como medida de la cantidad de sales disueltas que contiene,

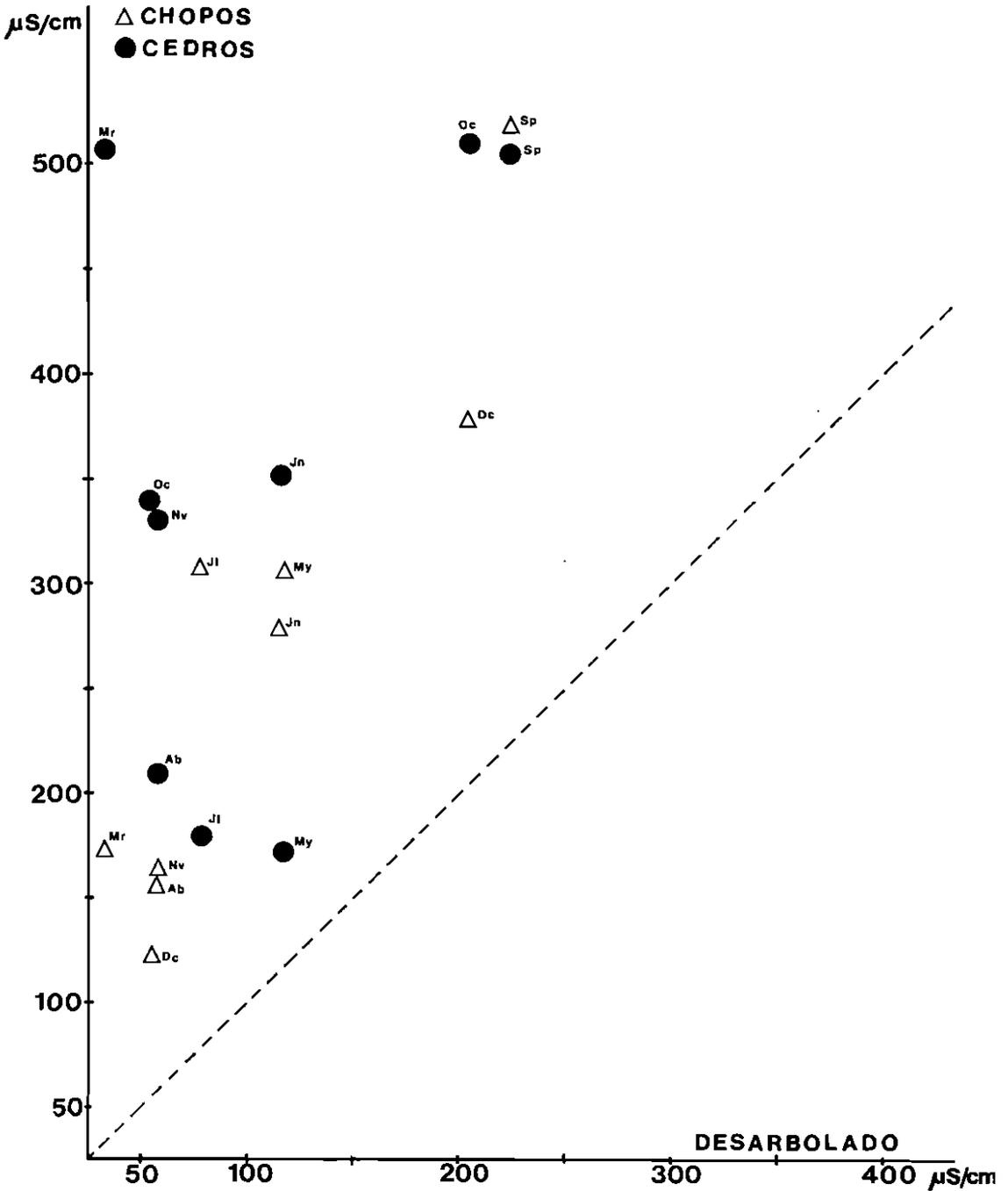


Fig. 3. Valores medios mensuales de la conductividad de las aguas recogidas bajo diferente cubierta vegetal. Las coordenadas de cada punto corresponden en abscisas al valor de la conductividad de las aguas en zona abierta y en ordenadas al de las aguas en zona arbolada, para cada mes del año de estudio.

indicadora de su «calidad», se observa según los datos presentados en la Tabla V valores relativamente bajos en las lluvias recogidas en la zona sin vegetación, y siempre inferiores a los de las parcelas con cubierta vegetal, siendo significativamente diferentes entre las tres condiciones estudiadas para un nivel de 0,01 (Fig. 3).

Las aguas de lluvia recogidas en la zona abierta son de relativa «buena calidad» atendiendo a su grado de mineralización, el cual se hace mínimo durante la época de mayores lluvias en que es mayor el factor de dilución de la contaminación atmosférica y, a su vez, éstas tienen un origen ciclónico dominante, y alcanza los mayores valores durante los meses más cálidos, con lluvias principalmente convectivas y donde la temperatura puede aumentar su capacidad de disolución.

En las zonas con vegetación ocurre un proceso inverso, dándose en la zona de cedros los valores de conductividad más altos durante el invierno, como consecuencia de la función de filtro que ejercen las acículas sobre las masas de aire con partículas contaminantes, de mayor concentración en esta época, y las conductividades más bajas durante los meses más cálidos en que se aproximan a las de la zona abierta, resultando un caso intermedio bajo la cubierta de chopos, debido a la caducidad de su sistema foliar.

No obstante, los valores de conductividad obtenidos presentan una fuerte dispersión, y en ello también influye el efecto de que se hayan producido lluvias en el día precedente al considerado que hayan limpiado la atmósfera previamente o, por el contrario, que hayan pasado varios días sin llover. Con nuestros datos no ha sido posible establecer una relación clara entre el número de días sin lluvia anteriores al considerado y la diferencia de conductividad de las aguas del último día y el siguiente, si bien en algunos casos este efecto es muy notable aumentando con ello la dispersión de los datos. Por otra parte, la presencia no controlada de pequeñas partículas procedentes del mismo bosque en los dispositivos de recogida de agua hace que este parámetro se altere con mucha frecuencia, por causas ajenas a las de la experimentación.

## CONCLUSIONES

A la vista de los resultados obtenidos en esta pri-

mera etapa del estudio, podemos enunciar las siguientes conclusiones, las cuales será necesario comprobar posteriormente con un mayor número de datos disponibles:

1. El fenómeno de la intercepción supone en nuestra zona de estudio una disminución de la cantidad de agua que llega al suelo prácticamente en todos los casos superior al 35% de las precipitaciones caídas, siendo mayor la cantidad de agua interceptada por los cedros que por los chopos. En la especie frondosa se produce un aumento significativo de la intercepción durante el período vegetativo, aproximándose entonces a los valores correspondientes a los cedros.

2. Existe una estrecha relación entre la cantidad de agua caída y la intercepción, habiéndose definido curvas de ajuste a la relación entre la cantidad de agua interceptada y la precipitación (recíproca de la hipérbola) y entre el porcentaje de intercepción y la precipitación (recíproca de la recta), con coeficientes de determinación muy elevados.

3. La cubierta de cedros es la que produce lluvias más ácidas en la zona de estudio, si bien las aguas recogidas se mantienen con niveles prácticamente neutros durante todo el año. Han resultado significativamente diferentes los valores de pH de las aguas de lluvia según los diferentes meses del año, apreciándose niveles más ácidos durante la época de mayor contaminación atmosférica relacionada con las calefacciones.

4. La conductividad de las aguas de lluvia es muy variable, dependiendo de numerosos factores ambientales, siendo significativamente inferior en la zona sin vegetación. El paso del agua a través de una cubierta vegetal supone un enriquecimiento en sales que multiplica hasta cinco o seis veces su grado de mineralización. De acuerdo con la mayor superficie foliar específica de los cedros, la conductividad de las aguas es, generalmente, mayor en este tipo de cubierta que en la de chopos, aumentando durante los meses de otoño e invierno en que las acículas acumulan y concentran en mayor medida la contaminación atmosférica.

5. En las repoblaciones y tratamientos de mejora de la cubierta vegetal se deben considerar, a la hora de elegir la especie arbórea dominante, los procesos hidrológicos analizados, atendiendo a las posibilidades e influencia que tiene el manejo de la

cubierta vegetal en la cantidad y calidad de los recursos hídricos resultantes.

rada al estudio de Jesús Redondo Mazarracín, quien ha realizado el ajuste de las curvas presentadas, y la ayuda de Angela Rodríguez Gironés y Celia Sánchez Mayoral en la recogida de lluvias y su posterior análisis.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la valiosa colaboración apor-

### SUMMARY

The intercepted rainfall by different vegetation cover (*Cedrus atlantica*, *Populus alba* and open field) are studied and compared in three experimental plots sited in the University Campus of Madrid, during 1987. Also the pH and conductivity values of the rainfall are analyzed under the same conditions.

The interception is always more important in the coniferous trees than in the poplar trees, reaching an annual level of 47% and 41% of total precipitation, respectively. Under poplar trees the percentage of interception is significantly higher during the vegetative than during the dormant season.

The lower values of pH correspond to the coniferous cover, but nearly all the time the water rain remains about neutral conditions. The conductivity has resulted very changeable, being relatively low in the open field during the rain season when the dilution factor of atmospheric pollution is bigger. Under cedar cover this process works inversely, producing water with higher conductivity in winter, when the pollution increases and is accumulated among the needles, resulting an intermedium case under the poplar trees.

### BIBLIOGRAFIA

- ALMARZA, C., 1984: *Fichas hídricas normalizadas y otros parámetros hidrometeorológicos*. Publ. Inst. Nac. Meteorología. Madrid.
- AUSSENAC, G., 1969: «Influences du couvert forestier sur les précipitations». *Rev. Forestière Française* XXI (7): 631-635.
- AUSSENAC, G., 1981: «L'interception des précipitations par les peuplements forestiers». *La Houille Blanche* 7/8: 531-536.
- BRECHTEL, H. M., 1976: «Influence of species and age of forest stands on evapotranspiration and ground water recharge in the Rhine-Main valley». *XVI IUFRO World Congress*, Oslo, Div. Forest Environment and Silviculture.
- BRECHTEL, H. M.; SONNEBORN, M., y LEHNRARDT, F., 1986: «Precipitation input of inorganic chemicals in the open field and in forest stands. Results of investigation in the State of Hesse». En: *Atmospheric Pollutants in Forest Areas. Their Deposition and Interception*. H. W. Georgii (ed.), 47-68, Reidel, Dordrecht.
- BULTOT, F.; DUPRIEZ, G. L., y BODEUX, A., 1972: «Interception de la pluie par la végétation forestière. Estimation de l'interception journalière a l'aide d'un modèle mathématique». *J. Hydrol.*, 17: 193-223.
- CALDER, I. R., 1982: «Forest Evaporation». *Proc. Can. Hydrol. Symp. Natl. Res. Council. Can.*, Ottawa, Ont., 173-194.
- GARCÍA BELLIDO, I.; GARCÍA CRIADO, B., y ESCUDERO BERIAN, A., 1981: «Aporte de bioelementos al suelo por la precipitación atmosférica y el lavado de *Quercus rotundifolia* Lam. y *Quercus pyrenaica* Willd». *An. Centr. Edafol. y Biol. Aplic.*, 9: 165-185. Salamanca.
- HESSISCHE LANDESFORSTVERWALTUNG, 1986: *Waldschadenserhebung 1986*. Hessische Forstliche Versuchsanstalt, Hann. Münden.
- HEWLETT, J. D., y DOSS, R., 1984: «Forests, Floods and Erosion: A watershed experiment in the Southern Piedmont». *Forest Sci.*, 30 (2): 424-434.

- HOFKEN, K. D., 1983: «Input of Acidifiers and Heavy Metals to a German Forest Area Due to Wet and Dry Deposition». En: *Effects of Accumulation of Air Pollutants on Forest Ecosystems*, B. Ulrich y J. Pankrath (eds.), 57-64, Reidel, Boston.
- KELLY, J. M., 1984: «Power Plant influences on bulk precipitation, throughfall and stemflow nutrient inputs». *J. Environ. Qual.*, 13 (3): 405-409.
- LIKENS, G. E.; BORMAN, F. H.; PIERCE, R. S.; EATON, J. S., y JOHNSON, N. M., 1977: *Biogeochemistry of a Forested Ecosystem*. Springer Verlag, New York.
- MATZNER, E., 1983: «Balance of element fluxes within different Ecosystems impacted by acid rain». En: *Effects of Accumulation of air Pollutants on Forest Ecosystems*, B. Ulrich y J. Pankrath (eds.), 147-155, Reidel, Boston.
- MATZNER, E., 1986: «Deposition canopy interactions in two forest ecosystems of Northwest Germany». En: *Atmospheric Pollutants in Forest Areas. Their deposition and interception*. H. W. Georgii (ed.), 247-262, Reidel, Dordrecht.
- PATRIC, J. H.; EVANS, J. O., y HELVEY, J. D., 1984: «Summary of sediment yield data from forested land in the United States». *J. Forestry* 82 (2): 101-104.
- PEARCE, A. J., y ROWE, L. K., 1979: «Forest management effects on interception, evaporation and water yield». *J. Hydrol. (NZ)* 18: 73-89.
- PEARCE, A. J.; ROWE, L. K., y O'LUGHLIN, C. L., 1982: «Hydrologic regime of undisturbed mixed evergreen forests, South Nelson, New Zeland». *J. Hydrol. (NZ)* 21 (2): 98-116.
- PIERCE, R. S., 1967: «Evidence of overland flow on Forest Watersheds». En: *Forest Hydrology*. W. E. Sopper y H. W. Lull (eds.), 247-251, Pergamon Press.
- RAPP, M., e IBRAHIM, M., 1978: «Egouttement, écoulement et interception des précipitations par un peuplement de *Pinus pinea* L.». *Oecol. Plant.* 13 (4): 321-330.
- RODA, F., AVILA, A., y BELILLAS, C., 1983: «Nitrate movement in forest and heathland ecosystems in a mediterranean mountain». En: *Land use impacts on aquatic Systems*. G. Jolankai y G. roberts (eds.), 338-356. Programme MAB, Proy. 5, Budapest.
- SZABO, M., 1975: «Net precipitation in a Hungarian oak forest ecosystem». *Acta Botanica Academiae Scientiarum Hungaricae*. 21: 151-165.
- ZINKE, P. J., 1967: «Forest Interception studies in the United States». En: *Forest Hydrology*. W. E. Sopper y H. W. Lull (eds.), 137-159, Pergamon Press.