

BALANCE DE ENTRADAS/SALIDAS DE CATIONES EN UNA PEQUEÑA CUENCA FORESTAL DE *PINUS SYLVESTRIS* EN LA SIERRA DE GUADARRAMA

M. R. GONZÁLEZ CASCÓN¹, M. LÓPEZ ARIAS¹, M. SERRANO JÁTTIVA¹ y M. T. MINAYA GALLEGO¹

RESUMEN

Se presentan los resultados de balance de entradas y salidas de cationes en una cuenca experimental, durante 1992. La cubierta forestal es una masa adulta de *Pinus sylvestris*, con abundante repoblado, que se desarrolla sobre un suelo pardo sobre neis. Está situada en la vertiente norte de la Sierra de Guadarrama, en el pinar de Valsaín (Segovia). La entrada atmosférica es moderada de acuerdo con las condiciones climáticas de carácter continental, precipitación anual a cielo abierto de 765 mm, y escasa influencia de la contaminación atmosférica. La deposición seca tiene una contribución importante en la entrada de cationes con la trascolación.

INTRODUCCION

Dentro de un proyecto cuyos objetivos generales consisten en el estudio funcional de un ecosistema forestal integrado por un pinar de *Pinus sylvestris*, se incluye necesariamente la caracterización y cuantificación de los ciclos hidrológicos y de nutrientes. Al iniciar este estudio, en 1988, en un escenario de ambiente mediterráneo, se consideró la conveniencia de entrenar un equipo de investigación capaz de extender este tipo de análisis a otros ecosistemas de la zona central de la Península.

La cuenca experimental elegida satisface cumplidamente las exigencias de un sistema cerrado, para llevar a cabo balances globales de entrada-salida de materiales; el área ofrece además como característica destacable un alejamiento de las zonas de influencia de emisiones de contaminantes atmosféricos, pudiendo servir por ello, como término de referencia de otras investigaciones de esta naturaleza.

El dispositivo de campo desplegado hasta la fecha permite evaluar los flujos de entrada y salida de nutrientes a través del vector hídrico. Este

dispositivo se ha ido perfeccionando a lo largo de cinco años para asegurar la recogida permanente de muestras y la medición de flujos.

En este artículo presentamos los resultados de las mediciones y análisis correspondientes al segundo año de toma de muestras en dos de las 16 parcelas permanentes instaladas bajo cubierta arbórea dentro de la cuenca y en otras tres situadas en lugares despejados adyacentes. Estos resultados se comparan con los flujos de salida de toda la cuenca a través del desagüe de fondo situado en la cota inferior de su sistema de drenaje.

SITUACION Y CARACTERISTICAS DEL AREA DE ESTUDIO

Se sitúa en la vertiente norte de la Sierra de Guadarrama, en el pinar de Valsaín, provincia de Segovia. Abarca una superficie de 64 ha, dentro de límites hidrográficos bastante bien definidos. El arroyo de los Acebos, que da nombre a la cuenca, es el eje central de la red interior de drenaje y discurre por su seno según una orientación sureste-noroeste salvando el desnivel existente entre las cotas extremas de 1.600 a 1.200 m, a lo largo de 1.500 m de curso.

La vegetación arbórea dominante es una masa adulta de *P. sylvestris* de hasta 120 años de edad, que deja espacio discontinuo a un repoblado de

¹ Área de Conservación del Medio Natural. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Apartado 8.111; 28080 Madrid. España.

amplio intervalo de edades. La regeneración natural del pinar se produce con facilidad a «golpes» o en bosquetes cuando se abre el vuelo y permite la entrada de luz, y se desarrolla con vigor aun bajo una presión de pastoreo bastante intensa. La densidad media del arbolado adulto dominante oscila alrededor de 220 pies por hectárea de media, alcanzando una altura de 30 metros en la parte más baja de la cuenca. Una presencia escasa de «rebollo» (*Quercus pyrenaica*) se localiza por debajo de la cota de 1350 m, y apenas llega a 400 árboles en toda la superficie.

La vegetación arbustiva está compuesta principalmente por *Citissus scoparius* (L.) Link, *Genista florida* L., *Juniperus communis* L. (spps. *communis* L. y *nana* Willd.), *Rosa pouzinii* Tratt y *Rubus ulmifolius* Schott con abundante matorrall heliófilo invasor de helecho (*Pteridium aquilinum* L.) y áreas empradizadas con herbáceas comunes (GARCÍA DEL BARRIO *et al.*, 1993).

Los estudios palinológicos recientemente desarrollados por RUIZ DEL CASTILLO (1994), permiten incluir esta zona de estudio dentro del área de avances y retrocesos que por razones climáticas experimentó la cubierta de *P. sylvestris* a lo largo del holoceno. Existen por otra parte referencias escritas de la presencia de pinares en la Sierra de Guadarrama que datan del siglo XI y concretamente de la zona de Valsaín desde el XIV (ROJO, 1994).

El tratamiento selvícola actual se reduce casi exclusivamente a la extracción de pies secos por ataque del hongo *Heterobasidion annosum* que afecta a los individuos añosos de todo el pinar.

La presencia de ganado mayor, vacuno y equino, es un factor que influye en el desarrollo del tapiz herbáceo y de la cubierta arbustiva y cuya incidencia en el ciclo de nutrientes habrá que considerar en estudios futuros.

Las condiciones climáticas corresponden al piso supramediterráneo medio, con una precipitación media anual de 877 mm. Las temperaturas

medias máximas y mínimas alcanzan los 15,3 y 2,2 °C respectivamente. La intensidad de las precipitaciones en forma de nieve es muy irregular, su duración puede llegar hasta 5 meses, alternando con lluvias y heladas, y ser prácticamente nulas. La intensidad de las precipitaciones tiene máximos en primavera y otoño. En verano las precipitaciones son casi todas de origen tormentoso. Como zona de transición del ambiente serrano a la estepa segoviana tiene un clima de carácter «visitante» (ALLUÉ ANDRADE).

En el subsuelo la roca madre dominante es neis, ortoneis glandulares (INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO, 1991). Los suelos desarrollados sobre este sustrato son suelos pardos, con ranker en las zonas más abruptas. Su pH es moderadamente ácido, alrededor de 5,5 en H₂O a lo largo de todo el perfil, con un humus de tipo mull ácido. La potencia del horizonte orgánico oscila entre los 25 y 60 cm dependiendo de las condiciones de humedad y topografía. Tiene un porcentaje de saturación de bases intermedio en los horizontes organominerales que disminuye al descender en profundidad.

El estado nutritivo de *Pinus sylvestris* se puede considerar como bueno, si se toma como referencia los datos de la amplia revisión para esta especie efectuada por FIEDLER *et al.* (1973), no existiendo deficiencias acusadas de ningún elemento. En la Tabla I figuran los valores medios de los contenidos de nutrientes de muestras tomadas en otoño de 1991, cuyos resultados están pendientes de publicar, y que corresponden a acículas del último año del primer verticilo o la guía terminal de una muestra de 30 árboles.

MÉTODOS

1. Instalaciones permanentes e instrumentación de campo

Los dispositivos de recogida de muestras son del tipo de los instalados en los proyectos precursor-

TABLA I

CONTENIDO MEDIO DE NUTRIENTES EN LAS ACÍCULAS DEL ÚLTIMO AÑO EN OCTUBRE DE 1991

N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu
mg/g (65° C)						µg/g (65° C)			
12,3	1,4	7,3	1,9	1,2	1,06	63	169	35	7

res, especialmente en el proyecto Solling (MEIWES *et al.*, 1984) en el que están inspirados algunos equipos, y que son análogos a los de otros proyectos europeos y nacionales.

La distribución espacial de los dispositivos se extiende a toda la superficie de la cuenca concentrándose en los nodos de una malla de 16 puntos en su interior. En cada uno de estos nodos se ha instalado una parcela cercada para proteger los instrumentos. Otras cuatro parcelas análogas se distribuyen en el entorno situadas en claros de bosque o zonas desarboladas para captar la precipitación a cielo abierto. Esta distribución requiere un mayor número de dispositivos que la habitual concentración en una zona de la cuenca experimental. La irregularidad de la cubierta queda compensada por esta intensificación del muestreo que permite además un análisis de la variabilidad espacial de la que son responsables otros factores topográficos y fisiográficos. En la Figura 1 puede verse la localización de estas parcelas.

La recogida de muestras de agua de trascolación se lleva a cabo mediante 48 acumuladores que constan de embudo colector y botella-depósito. El embudo tiene 12,5 cm de diámetro y 24 cm de altura, colocándose su boca a 1,3 m sobre el suelo. La botella está protegida por un cilindro opaco de PVC que, además de sustentarla, minimiza la evaporación y la alteración de la muestra por la luz y el calor. Los acumuladores se distribuyen aleatoriamente dentro de cada parcela. La cantidad de precipitación se mide en 50 pluviómetros Hellmann análogamente distribuidos.

Para la recogida de muestras y para la medición de la precipitación de nieve se dispone de 11 cubos de 100 l de capacidad y 45 cm de diámetro repartidos en 7 parcelas. La reducción del número de puntos de toma de muestras en período de nieves obedece a las dificultades de acceso. La alternancia de lluvias y nevadas con heladas obliga a mantener los dos tipos de muestreadores (acumuladores y cubos) durante el período invernal, extrayendo la muestra de uno u otro según convenga.

Para la recogida de muestras de precipitación a cielo abierto se dispone de los mismos equipos situados en tres parcelas exteriores a la cuenca, y a cotas de 1.000, 1.200 y 1.630 m. Para obtener un valor promedio de la precipitación, se añade,

a los situados en el exterior, un pluviómetro interior en zona desarbolada.

Las muestras del flujo de salida se toman aguas arriba del depósito de sedimentos que precede al vertedero en V para medición de caudales de salida. El caudal de salida se mide mediante una célula de carga que envía una señal de la altura de la lámina a un pequeño *data logger*.

En las parcelas de muestreo se han instalado 32 cerros para la recogida de muestras de agua de escorrentía. Los resultados no se presentan en este trabajo porque la contribución de esta fracción de agua al balance global en la cuenca es muy pequeña.

La frecuencia de recogida de las muestras es semanal.

2. Análisis

Las muestras se transportan en neveras al laboratorio y en un período no superior a 24 h se mide su conductividad y pH. A continuación se filtran con filtros de membrana de 0,45 μm y se conservan en nevera para su posterior análisis. Las técnicas analíticas utilizadas son:

- Ca, Mg, Fe y Mn por espectroscopía de absorción atómica
- Na y K por espectroscopía de emisión.
- NH_4 colorimétricamente por el método de azul de indofenol, utilizando un equipo automatizado.
- aniones (F, Cl, NO_3 , PO_4 , SO_4) por cromatografía iónica.

La metodología para el análisis de amonio se ha puesto a punto más tarde, por lo que los primeros resultados disponibles de estas muestras son los del mes de septiembre. Los datos incluidos en este balance se han obtenido sólo a partir de las muestras de este período.

RESULTADOS

En este trabajo presentamos los resultados de los análisis de parte de las muestras del año 1992. Hemos seleccionado los datos de dos parcelas extremas en altitud, exposición y topografía en la cuenca: la 13 situada en el borde superior de la cuenca, a 1.600 m en una zona de cumbre

CUENCA V Ø2: Arroyo Acebos

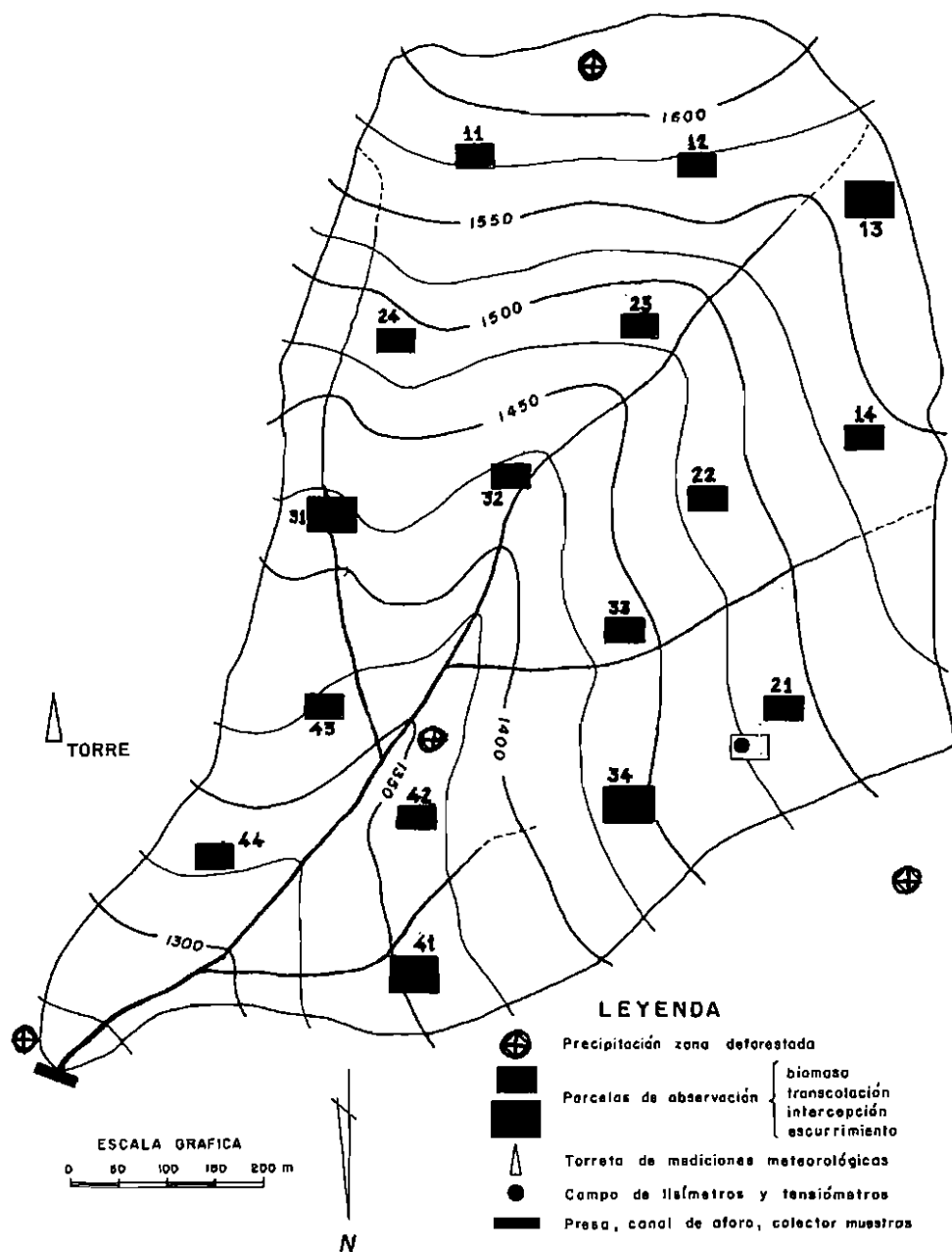


Fig. 1. Distribución de las parcelas de toma de datos en la cuenca de los Acebos.

expuesta al viento y de acusada pendiente, y la 41, próxima a la presa a unos 1.350 m, en una zona bastante llana, muy protegida por toda la masa arbórea que la rodea.

En todos los gráficos aparece, en el eje de abscisas, la fecha final del período al que corresponden los datos, de forma que cada punto representa la cantidad caída o la concentración entre la fecha anterior y la fecha correspondiente a la abscisa del punto.

1. Cantidad de precipitación

En la Figura 2 aparecen las entradas mensuales de precipitación y trascolación para las dos parcelas por separado. En la Fig. 3 se presenta el caudal diario salido de la presa en este mismo período. La precipitación total de este año ha sido de 765 mm. Comparándola con la media de la zona (877 mm) corresponde a un año poco lluvioso. La distribución de las precipitaciones ha sido similar a otros años. Únicamente en el mes de junio, en el que ha caído una media de 124 l/m², han sido más intensas de lo normal.

Como en otros años, la época más lluviosa ha sido el otoño y comienzos del invierno. Dentro de la cuenca han caído una media de 693 en la parte alta (1600 m) y 617 l/m² en la baja, valores esperables debido a la intercepción y a las diferencias de altitud entre las dos áreas de toma de muestra. La distribución de las lluvias dentro de la cuenca es lógicamente similar a la de la precipitación incidente. El período de nieves alternando con lluvias abarca desde comienzo de año hasta principios de abril y desde finales de octubre a diciembre.

Por la presa salieron un total de 58.200 m³ en el año 1992. A principios de año, con precipitaciones poco intensas y regulares, el caudal se mantiene prácticamente constante. Aparece un máximo en abril paralelo al aumento de las precipitaciones. En esta época en la que el suelo está aun húmedo, el exceso de agua caída sale de nuevo por el desagüe de la cuenca. Sin embargo en otoño existe un retardo del máximo de caudal de salida respecto al comienzo de las lluvias en la primera semana de septiembre. Este desfase refleja el proceso de recuperación de la humedad del suelo y de la vegetación después de la sequía estival y llega hasta principios de noviembre.

2. Variación a lo largo del año de la concentración de elementos en las diferentes fracciones de agua

2.1. Precipitación incidente (a cielo abierto) y trascolación

La variación anual de las concentraciones de cationes en la precipitación incidente y en la trascolación se muestran en la Fig 4. La precipitación ofrece concentraciones más bajas en todos los elementos. Las concentraciones en la zona más alta de la cuenca son mayores que en la parte baja como norma general. Este efecto se observa sobre todo en el calcio, elemento cuya fuente principal es la deposición de polvo sobre la cubierta arbórea (HORNUNG *et al*, 1991). El aporte de elementos por deposición seca será mayor en las cotas superiores de la cuenca, desprotegidas y azotadas por el viento, que en la parte baja de la ladera donde se encuentra la segunda parcela de estudio, como confirman los resultados de los análisis de las muestras de agua de estas dos zonas.

Los máximos de las concentraciones se observan, en todos los casos, en las primeras precipitaciones después del período seco, como consecuencia del lavado de las copas de los árboles después del verano. La deposición seca representa una contribución importante en la entrada de bioelementos con el agua de trascolación. Este efecto fue ya constatado en el otoño del año 90 (GONZÁLEZ CASCÓN *et al.*, 1993).

En la Tabla II se refleja el pH, y las medias aritméticas anuales de los elementos analizados en las muestras de agua de la precipitación y la trascolación. Como puede apreciarse el pH del agua de lluvia es moderadamente ácido; al atravesar las copas de los árboles se acidifica ligeramente y se produce un aumento de su conductividad, por el enriquecimiento en la concentración de todos los cationes analizados, sobre todo de potasio.

2.2. Salidas

En la Figura 5 aparecen las concentraciones de las muestras de agua que entra en la presa durante este año. Las concentraciones muestran poca variación a lo largo del año, excepto en la época estival, y son independientes de la entrada atmosférica. La de sodio oscila alrededor de 3-4 mg/l, la

de calcio entre 2 y 3 mg/l, la de potasio está por debajo de un 1 mg/l, la de Mg alrededor de 1,5 y el amonio debido al pH de las muestras es prácticamente nulo. Es llamativa la elevada concentración de sodio comparándola con la de este elemento en el agua de lluvia. Podría suceder que este elemento proceda del feldespato sódico del material originario. Un efecto semejante han encontrado Zottl y col. en las cuencas del proyecto ARINUS (FEGER *et al.*, 1991), entre otros. Las concentraciones de esta fracción indicarían un movimiento del agua de escorrentía principalmente vertical dentro de la cuenca y un tiempo de

3. Balance anual de entradas/salidas de cationes

3.1. Flujo de entrada de elementos a través de la deposición atmosférica

El entrada anual atmosférica de cationes se muestra en la Tabla III. Se han calculado a partir de las concentraciones medias ponderadas de cada elemento y la cantidad de precipitación medida con los pluviómetros Hellmann. Como precipitación sobre las copas se considera el valor medio de las dos estaciones situadas a 1.600 y 1.200 m. La trascolación se ha calculado como el valor medio

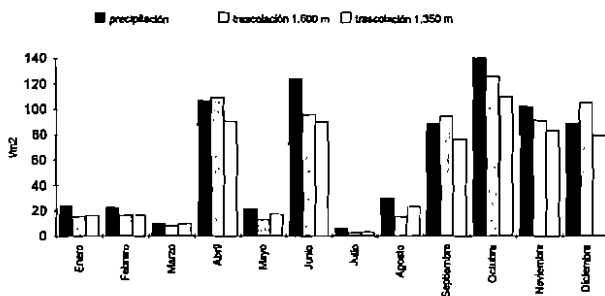


Fig. 2. Valores mensuales de la precipitación neta y trascolación durante el año 92.

permanencia largo en el suelo y subsuelo para poder enriquecerse con estos elementos. En las épocas en las que existe un superávit de agua en la cuenca y en las que el tiempo de retención dentro de ella disminuye (las épocas de puntos máximos de caudal de salida en la presa), se reducen paralelamente las concentraciones de todos los elementos. Por la misma razón las concentraciones en épocas de sequía, con tiempos de retención elevados, son las máximas de todo el año.

de las dos parcelas a 1.600 y 1.350 m.

La entrada de elementos a través de la precipitación tiene los valores habituales en una zona continental, alejada de influencias marítimas y de focos de contaminación atmosférica. Comparado con datos de 35 cuencas experimentales en Europa (HORNUNG *et al.* 1990), el flujo de sodio en la cuenca de los Acebos (3,2 kg/ha/a), es de una magnitud muy semejante a las del interior del continente: Villingen en la Selva Negra (Alema-

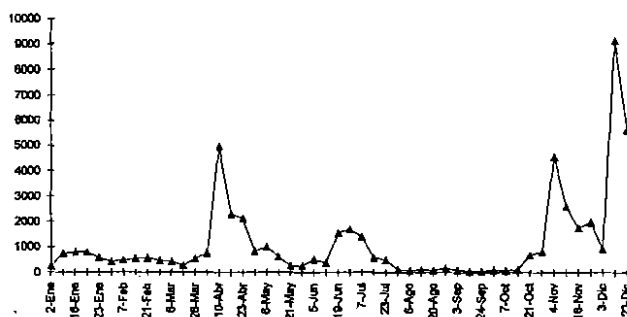


Fig. 3. Valores semanales acumulados del volumen (l) de agua que sale por la presa en el año 92.

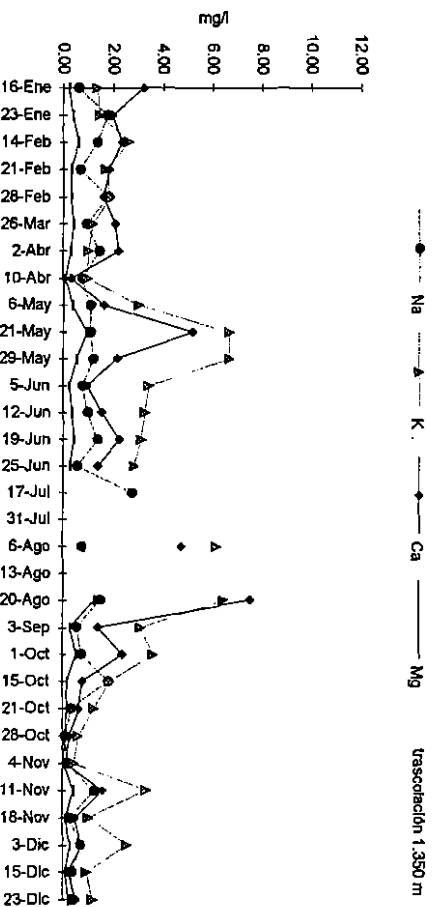
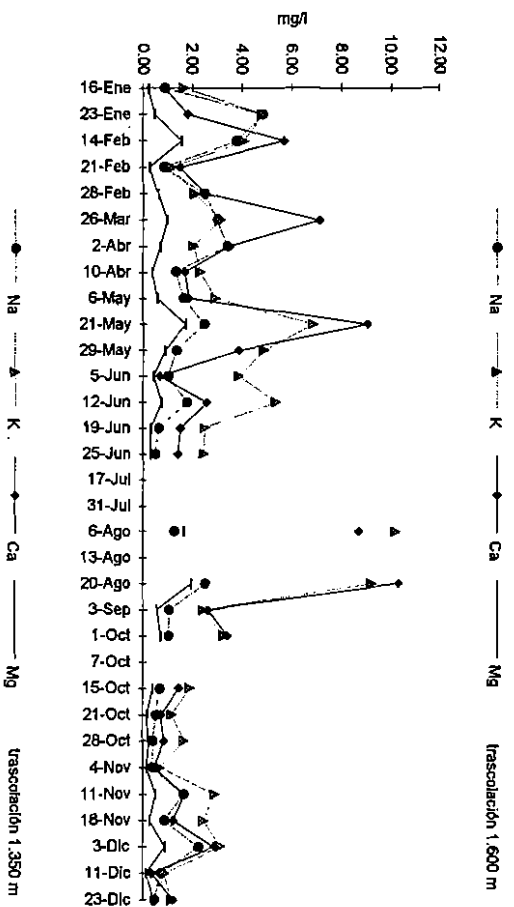
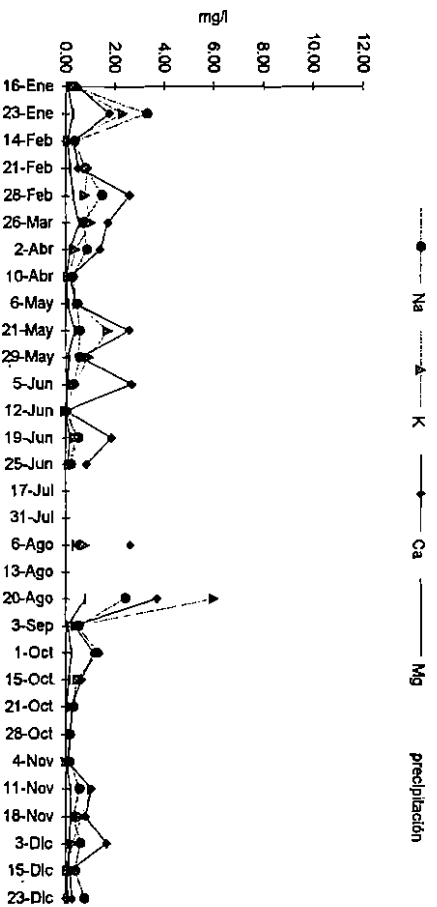


Fig. 4. Concentraciones de Na, K, Ca y Mg en el agua de trascolación y en la precipitación en el año 92.

TABLA II
pH, CONDUCTIVIDAD Y CONCENTRACIONES MEDIAS ANUALES DE LA PRECIPITACIÓN Y DE LA TRASCOLACIÓN

	pH	conducti. μS/cm	Na	K	Ca	Mg	Mn	Fe	NH4
			mg/l						
Precipitación	5,69	21	0,70	0,71	1,13	0,16	0,01	<0,01	0,06
Trascolación 1.600 m	5,35	41	1,47	3,35	2,53	0,59	0,08	0,01	0,08
Trascolación 1.350 m	5,53	34	1,05	2,62	1,62	0,34	0,02	0,01	0,12

nia), Vosges en el noreste de Francia y Alpral en Suiza. A diferencia de estas situaciones continentales, la entrada de Na en zonas próximas al mar, como las cuencas experimentales de la costa del Reino Unido, asciende a 96 kg/ha/año (cuenca Narrator). El magnesio, que es otro elemento de origen marino y que también se incorpora a la precipitación con el polvo, tiene un flujo de entrada bajo: 0,7 kg/ha/a. El calcio, con un valor de 4,6 kg/ha/a, presenta un nivel intermedio entre el de 1,2 de la Cuenca de Langtjern en Noruega, Podsol sobre granito/neis, y el de 33 de Karpenissi en Grecia cuyo material originario es calcáreo. Este valor resulta coherente con el tipo de roca madre de la zona de estudio y con el elevado porcentaje de deposición seca durante el

verano. El potasio tiene un flujo de entrada en nuestra zona de 2,6 kg/ha. En la revisión realizada por Hornung y colaboradores en 1990, si se exceptúan algunas localizaciones cercanas a la costa que presentan valores muy superiores, la entrada anual de este elemento en la práctica totalidad de los casos se encuentra entre 1 y 4,8 kg/ha. Los flujos de potasio comparados con algunos otros como el del sodio, varían poco entre las diferentes zonas de estudio europeas. Valsain se encuentra en una posición intermedia.

La baja entrada de amonio y protones en los Acebos (0,3 y 0,03 kg/ha/a respectivamente) indica un nivel bajo de contaminación atmosférica en la zona. Este nivel es muy bajo si lo comparamos,

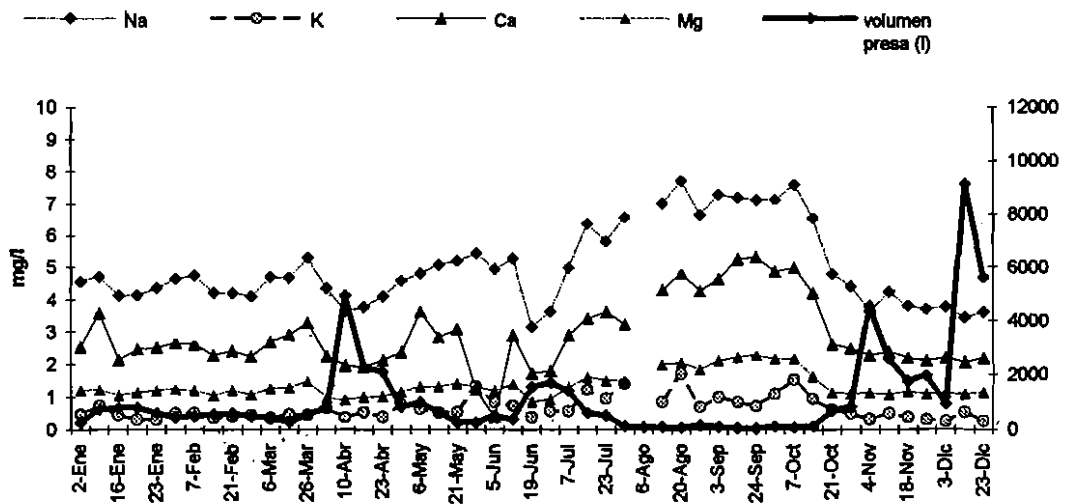


Fig. 5: Concentraciones de los elementos Na, K, Ca y Mg en el agua de desagüe de la cuenca durante el año 92 y volumen de agua de salida durante este periodo.

por ejemplo, con los 13,2 kg/ha de amonio en las montañas de Harz en el centro de Alemania o con los 11,6 del proyecto Solling también en Alemania Central (ELLENBERG *et al.*, 1986). El pH medio del agua de lluvia en la cuenca asciende a 5,7, muy semejante al considerado como pH de una lluvia natural: 5,6. La entrada anual de protones equivalente a este pH es de 0,03 kg/ha. En Solling, una zona claramente afectada por la contaminación atmosférica, asciende esta entrada a 0,8 kg/ha (valor medio de 14 años), un 96 % más que en Valsaín este año.

Por último la entrada de Fe y Mn en los Acebos es también baja, alcanza 0,07 y 0,03 kg/ha/a respectivamente.

3.2. Flujo de entrada de elementos en el agua de trascolación

Como puede comprobarse en la Tabla III el agua de trascolación se enriquece en todos los elementos analizados al atravesar el estrato arbóreo. La intensidad es máxima en el caso del potasio, con un flujo anual de 14,9 kg/ha frente a los 2,6 kg/ha que aporta la precipitación. Este efecto de concentración en el agua de trascolación ha sido constatado de forma regular en todos los estudios de balances de bioelementos. Se explica, fundamentalmente, por el proceso de lavado de nutrientes de las hojas, y por la disolución y arrastre de las partículas interceptadas por las copas de los árboles. El de lavado afecta principalmente al potasio y en menor cuantía al manganeso y al magnesio. El segundo proceso tiene una considerable importancia en la cuenca en estudio. A medida que avanza la sequía en la

época estival y va disminuyendo a su vez la vegetación del suelo, la tasa de erosión y, por tanto, la deposición de polvo en las copas de los árboles se intensifica. Este proceso se aprecia con más intensidad en las cotas más altas, que están más expuestas a la acción de los vientos y al «efecto borde». En la Tabla IV se pueden comprobar las diferencias de entradas de elementos con la trascolación entre las dos parcelas escogidas para este estudio. El flujo de elementos es, en todos casos, mayor a 1.600 m, y las diferencias máximas aparecen en el calcio, que es el elemento cuyo origen indiscutible es la deposición en forma de polvo.

3.3. Flujo de salida de elementos con el agua de desagüe

Comparando la entrada de elementos con la precipitación y la salida de los mismos con el agua de desagüe (Tabla III), se observa un equilibrio entre la entrada y salida de sodio en el ecosistema, una retención en la cuenca de potasio y calcio del orden de 2 kg/ha/a, y una pérdida de magnesio de 0,25 kg/ha/a. La escasa entrada de protones con la deposición atmosférica se compensa a su paso por la cuenca, de la misma forma que el reducido *input* atmosférico de Mn y Fe queda retenido. La tasa de salida de elementos en la cuenca es baja comparada con los valores recopilados en HORNUNG y colaboradores (1990).

Los datos presentados en este trabajo corresponden a un único año. La variabilidad entre años, como han demostrado proyectos como el de Solling que se desarrollan desde hace más de 20 años, puede ser muy grande y por eso las afirmaciones hechas en este artículo necesitan ser verificadas con los resultados de años venideros.

TABLA III

BALANCE ANUAL DE ENTRADAS/SALIDAS DE ELEMENTOS EN LA CUENCA DURANTE EL AÑO 1992

	mm	pH	H	Na	K	Ca	Mg	Mn	Fe	NH ₄
	kg/ha/año									
Precipitación incidente	765	5,69	0,03	3,23	2,63	4,60	0,72	0,07	0,03	0,32
Trascolación media	655	5,44	0,05	5,86	14,88	10,10	2,29	0,24	0,08	0,56
Salida		7,01	0,00	3,50	0,40	2,00	0,97	0,00	0,00	0,00

TABLA IV
DIFERENCIAS EN EL FLUJO DE ENTRADA DE ELEMENTOS CON LA TRASCOLACION ENTRE DOS
PARCELAS DE LA CUENCA

	mm	H	Na	K	Ca	Mg	Mn	Fe
		kg/ha/año						
Trascolación 1.600 m	693	0,07	7,19	16,28	12,52	3,02	0,36	0,10
Trascolación 1.350 m	617	0,03	4,52	13,48	7,68	1,56	0,11	0,05
Diferencias	76	0,04	2,67	2,80	4,84	1,46	0,25	0,05

SUMMARY

The cation input/output budget in a small forest catchment during 1992 is presented. The catchment is covered with scots pine over gneiss bedrock. It is located in "Sierra de Guadarrama" (Segovia). The atmospheric input is low, according with the continental climatic conditions, 765 mm of bulk precipitation, low influence of atmospheric pollution. Dry deposition has an important contribution to total cation input within troughfall.

BIBLIOGRAFÍA

- ALLUÉ ANDRADE, J.L.: Comunicación oral.
- ELLENBERG, H.; MAYER, R. & SCHAUERMAN, J., 1986: *Ökosystemforschung Ergebnisse des Solingsprojekts 1966-1986*. Ed. EUGEN-ULMER, Stuttgart, Alemania.
- FEGER, K. H.; BRAHMER, G. & ZÖTTL, H.W., 1990: «Element budgets of two contrasting catchments in the black forest (Federal Republic of Germany)». *Journal of Hydrology*, 116, 85-99.
- FIEDLER H. J.; NEBE, W. Y HOFFMANN, E., 1973: *Forstliche Pflanzenernährung und Düngung*. Ed. GUSTAV FISHER. Stuttgart. Alemania.
- GARCÍA DEL BARRIO, J. M.; LÓPEZ ARIAS, M. y PENALVA RODRÍGUEZ, F., 1993: «Biomasa y mineralomasa aérea arbustiva en una cuenca forestada de Pino silvestre en la Sierra de Guadarrama, Valsaín (Segovia)». *Actas del Congreso Forestal Español*, Vol. I: 323-327, Lourizán.
- GONZÁLEZ CASCÓN, M. R.; SERRANO JÁTIVA, M. y PENALVA RODRÍGUEZ, F., 1993: «Variabilidad de la concentración de nutrientes en el agua de trascolación dentro de una cuenca forestal». *Actas del Congreso Forestal Español*, Vol. I: 329-334, Lourizán.
- HORNUNG, M.; RODA, F & LANGAN, S.J., Ed. 1990: *A review of small catchment studies in western Europe producing hydrochemical budgets*. Air Pollution, Report 28. Commission of the European Communities, Directorate-Generale for Science, Research and Development, Environment Research Programme.
- INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO, 1991: Mapa geológico de España 1:50.000. Hoja 483.
- MEIWES, K.-J.; HAUS, M.; GERKE, H.; ASHE, N.; MATZNER, E. & LAMMERSDORF, N., 1984: «Die Erfassung des Stoffkreislaufs in Waldökosystemen - Konzept und Methodik». *Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben*, Vol. 7, 68-142.
- ROJO ALBORECA, A., 1994: *Crecimiento y producción de Pinus sylvestris L. en la Sierra de Guadarrama*. Tesis doctoral. E.T.S.I.Montes. Universidad Politécnica de Madrid.
- RUIZ DEL CASTILLO, J., 1994: *Análisis palinológico de nueve perfiles turbosos cuaternarios en el sector oriental del Sistema Central español*. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Geológicas.