

ESTRUCTURA Y FUNCIONALISMO DE UN ENCINAR MONTANO EN EL MONTSENY .

III. CONTENIDO DE SODIO, POTASIO, CALCIO Y MAGNESIO EN LAS AGUAS DE LLUVIA¹ .

Por

F.RODA², LL.FERRES², A.M.C.VERDU³ y J.TERRADAS²

INTRODUCCION

La circulación de los elementos nutritivos en el seno de los ecosistemas, y de los ecosistemas forestales en particular, está parcialmente acoplada a la circulación del agua, por ser ésta un eficaz vehículo de transporte de sustancias disueltas y particuladas .

La composición química de las precipitaciones atmosféricas ha sido estudiada durante más de un siglo (cf. Hutchinson, 1957) y existe una extensa bibliografía revisada por Eiriksson (1952) y por Egnér *et al.* (1955-1960), aunque pocos o ninguno de los trabajos anteriores a 1960 se enfocaron desde el punto de vista de la nutrición vegetal . Posteriormente han proliferado estudios sobre los ciclos biogeoquímicos en ecosistemas terrestres que incluyen en el balance de nutrientes los aportes en el agua de lluvia (p.ej. Carlisle *et al.*, 1966, 1967; Denaeyer-De Smet, 1966, 1969; Allen *et al.*, 1968; Gore, 1968; Rapp, 1969; Eaton *et al.*, 1973; Lemée, 1974; Henderson *et al.*, 1977) . En los últimos tiempos, los posibles efectos ecológicos de las lluvias ácidas han avivado el interés por el tema (Likens y Bormann, 1974; Braekke, 1976; Dochinger y Seliga, 1976) .

-
1. Este trabajo ha disfrutado de una Ayuda de Investigación Cooperativa Hispano-Norteamericana .
 2. Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra (Barcelona) .
 3. Departamento de Botánica, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra (Barcelona) .

Del agua de lluvia que llega a la superficie de las copas de los árboles (precipitación incidente) una parte es interceptada por la vegetación y se evapora sin alcanzar el suelo (pérdidas por intercepción). La lluvia restante puede llegar al suelo por dos vías distintas : 1) por penetración directa o goteando desde las copas (trascolación, *throughfall*); 2) resbalando por los troncos (escorrentía cortical, *stemflow*). Los aportes de cada nutriente por unidad de superficie y de tiempo se calculan multiplicando el flujo de agua por la concentración del nutriente en el agua considerada . Podemos distinguir tres categorías de aportes de nutrientes : aportes en la precipitación incidente; aportes totales que llegan al suelo (= aportes por trascolación + aportes por escorrentía cortical); y aportes netos, que resultan de restar los incidentes a los totales y que son los nutrientes transferidos desde las copas al suelo en el agua de lluvia .

Los aportes incidentes son en su casi totalidad nutrientes importados por el ecosistema, especialmente en terrenos forestales bajo clima húmedo . Por el contrario, los aportes netos son una mezcla poco menos que inseparable de nutrientes importados en forma de deposición seca (polvo y aerosoles retenidos por la vegetación cuando no llueve) y de nutrientes reciclados dentro del ecosistema mediante el lavado de copas y troncos (Likens *et al.*, 1977) .

Los aportes incidentes de elementos en las precipitaciones atmosféricas varían mucho de un lugar a otro y de una lluvia a otra en el mismo lugar, tendiendo a aumentar con el grado de influencia marítima, con el contenido de polvo del aire y con la concentración de contaminantes atmosféricos . En general, las máximas concentraciones se observan en lluvias escasas después de un período seco, y las mínimas en lluvias abundantes después de un período lluvioso .

Debido al lavado de las copas, la precipitación dentro del bosque es mucho más concentrada y tiene diferente composición química que la precipitación incidente . Los aportes netos de nutrientes varían según las especies forestales (Denaeyer-De Smet, 1966, 1969; Comerford y White, 1977; Henderson *et al.*, 1977), la densidad

y edad de los árboles (Lemée, 1974), la naturaleza de la roca y del suelo (Astrup y Bülow-Olsen, 1979) y la época del año (Denaeyer-De Smet, 1966, 1969; Henderson *et al.* 1977) .

En este artículo se presentan resultados preliminares sobre los aportes de sodio, potasio, calcio y magnesio disueltos en las precipitaciones atmosféricas recogidas fuera y dentro del encinar montano de La Castanya (Montseny, Barcelona) .

MATERIAL Y METODOS

Las características del área de estudio han sido descritas en el primer artículo de esta serie (Terradas *et al.*, 1980).

La precipitación incidente se mide con dos pluviómetros colocados en sendos claros que distan unos 100 m entre sí y unos 300 m de la parcela experimental del encinar montano de La Castanya . La trascolación se mide con 4 pluviómetros colocados al azar en un cuadrado de 10 x 10 m en el centro de la parcela experimental, bajo cobertura densa de encinas arbóreas . Cada pluviómetro consta de un embudo de polietileno de 19 cm de diámetro colocado a 1.1 m del suelo y unido por un tubo de plástico a un depósito de 6 l enterrado en el suelo . Para evitar la evaporación se añaden 50 ml de aceite a cada depósito .

La composición química de las precipitaciones se estudia mediante 2 colectores de lluvia para análisis - fuera del bosque, junto a los pluviómetros exteriores, y con 8 colectores dentro del bosque . Los colectores constan de un embudo igual al de los pluviómetros, colocado a 1.1 m del suelo y unido por un tubo de cloruro de polivinilo a una botella de polietileno de 1 l enterrada en el suelo . El embudo lleva encima un capuchón cónico de malla de plástico de 2 mm de abertura para evitar la entrada de hojas, insectos, etc. En el cuello del embudo se coloca un trozo de algodón para excluir las partículas menores . La botella receptora lleva 2-3 cristales

de timol para retardar el crecimiento de los microorganismos .

El material de los colectores se lava en el laboratorio: los embudos y botellas con HCl diluido y abundante agua destilada; los capuchones y el algodón sólo con agua destilada .

Aproximadamente cada dos semanas se mide el volumen de agua recogida en los pluviómetros y se cambian los colectores por otros limpios (excepto los tubos, que se limpian *in situ* con agua destilada) . Las posiciones de los pluviómetros y de los colectores son fijas. En el laboratorio se miden el pH y la conductividad de la lluvia recogida en los colectores y se congelan las muestras a -20°C . Na y K se analizan por fotometría de llama, añadiendo HNO_3 1% a blancos, patrones y muestras. Ca y Mg se analizan por absorción atómica en el Servicio de Espectroscopía de la Universidad de Barcelona, añadiendo HNO_3 1% y La 400 ppm a blancos, patrones y muestras .

Se ha analizado sólo la fracción soluble de los cuatro metales considerados y, hasta el momento, no se ha medido ni analizado la escorrentía cortical . Los datos del presente artículo se refieren al período comprendido entre el 24 junio 1978 y el 30 junio 1979 .

RESULTADOS Y DISCUSION

La varianza de los dos pluviómetros exteriores es pequeña : en cada período de recogida, la diferencia entre ambos suele ser menor del 10% y a menudo es menor del 5% . La variabilidad entre los 4 pluviómetros dentro del bosque es lógicamente mayor: el porcentaje del error estandar respecto a la media del volumen recogido, varía de 0.9 a 14.9, y acostumbra a ser bajo en los períodos más lluviosos .

El total de las precipitaciones incidentes recogidas durante el año (372 días) de estudio es de 969 mm. Durante este mismo período, la estación meteorológica - del Turó de l'Home (en la cima del macizo del Montseny,

a 1712 m s.n.m. y a 7 km de la parcela) recogió 933 mm, equivalentes a 916 mm año⁻¹. Las precipitaciones en el Turó de l'Home, contadas de 1 julio a 30 junio, presentan una media de 1063 mm anuales y una mediana de 985 mm (34 años). Por lo tanto, el período de estudio ha resultado ser, en el Turó de l'Home, bastante normal respecto a la cuantía de la precipitación aunque con cierto déficit (14%) frente a la media.

La trascolación anual totaliza 617 mm, lo que representa un 64% de la precipitación incidente. El resto, un 36%, corresponde a pérdidas por intercepción y a escorrentía cortical. En dos encinares cercanos a Montpelier (Rapp y Romane, 1968), la trascolación anual es un 68-72% de la precipitación incidente.

La distribución de las precipitaciones incidentes a lo largo del año estudiado puede verse en la fig. 1 a. Destacan: el período seco durante el otoño de 1978; las lluvias extraordinarias de diciembre-enero (400 mm, el 41% del total anual, en mes y medio); y la sequedad general entre febrero y mayo de 1979.

Las concentraciones de Na, K, Ca y Mg en el agua de lluvia de La Castanya son muy variables tanto fuera como dentro del bosque (figs. 1 y 2). Los cuatro cationes están bastante correlacionados entre sí. Las lluvias de primavera-verano tienden a ser más concentradas que las invernales, y las lluvias escasas más que las copiosas. Los intervalos de concentraciones observados (mg l⁻¹) son, fuera del bosque: Na 0.2-3.2, K 0.03-1.1, Ca 0.4-8.7, Mg 0.07-0.8; y dentro del bosque: Na 0.3-10.6, K 0.4-17.0, Ca 1.0-14.4, Mg 0.2-2.1.

En la tabla 1 se presentan las concentraciones medias, ponderadas por volumen, en la precipitación fuera y dentro del bosque. Se observa en La Castanya una concentración relativamente alta de Ca en la lluvia incidente, hecho que parece ser típico de gran parte de Europa Occidental y que algunos autores han atribuido al uso de fertilizantes agrícolas (Allen *et al.*, 1968). En La Castanya, parte de este Ca podría venir de las extracciones de áridos, movimientos de tierra, canteras y fábricas de cemento que abundan en la vecina Depresión Prelitoral Catalana sobre terrenos ricos en Ca.

Figura 1 . Volumen y composición química de la precipitación incidente en el encinar montano de La Castanya (Montseny, Barcelona), desde 24 junio 1978 a 30 junio 1979 .

Amount and chemistry of incident precipitation in the evergreen-oak wood at La Castanya (Montseny, Barcelona) during 24 June 1978 to 30 June 1979 .

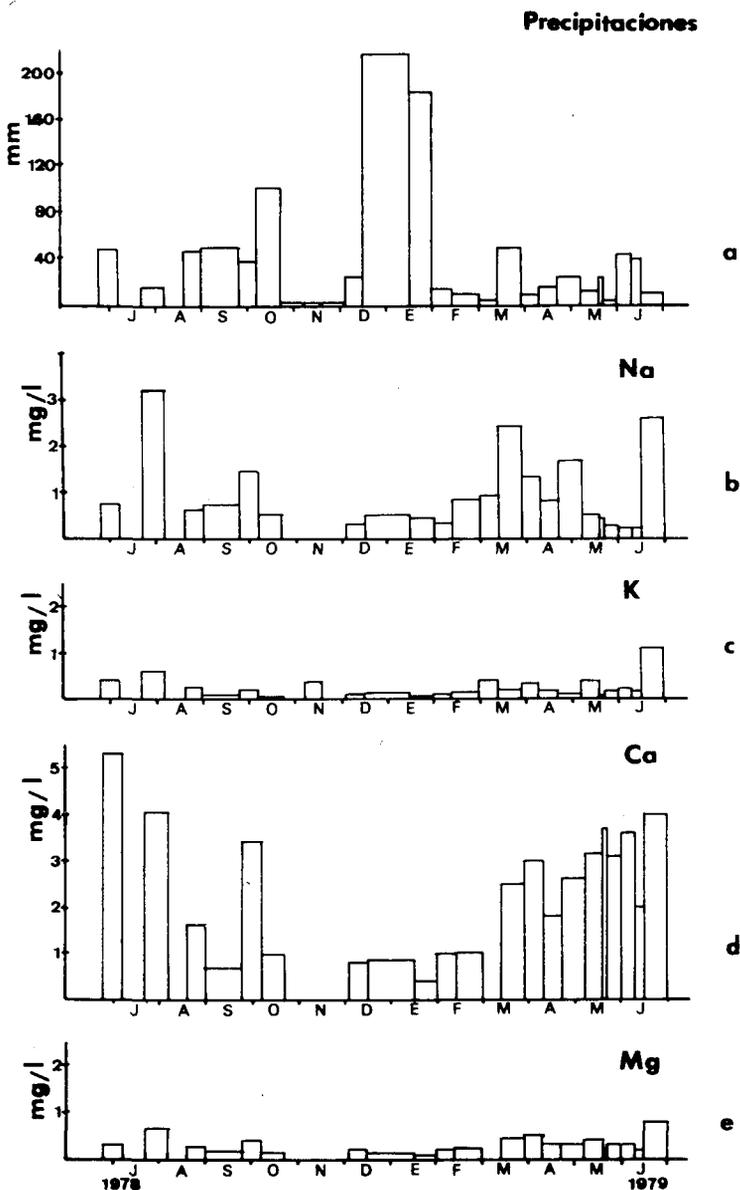


Figura 2 . a Volumen de la precipitación incidente y b-e composición química de la trascolación en el encinar montano de La Castanya (Montseny, Barcelona), desde 24 junio 1978 a 30 junio 1979 .

a Amount of incident precipitation and b-e chemistry of throughfall in the evergreen-oak wood at La Castanya (Montseny, Barcelona) during 24 June 1978 to 30 June 1979 .

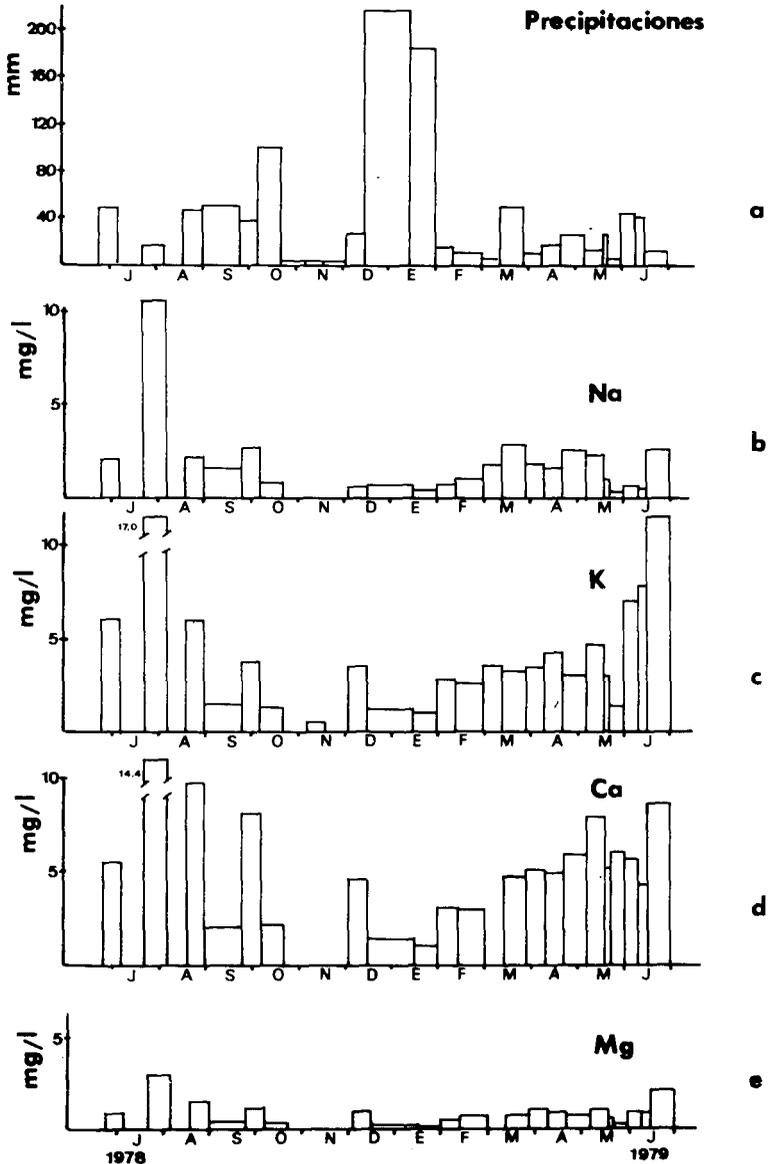


Tabla 1.

Concentraciones medias, ponderadas por volumen, de Na, K, Ca y Mg en la precipitación incidente y en la trascolación en el encinar montano de La Castanya (Montseny) desde 24 junio 1978 a 30 junio 1979 (mg l⁻¹).

Volum-weighted mean concentrations of Na, K, Ca and Mg in bulk precipitation and throughfall in the evergreen-oak forest at La Castanya (Montseny) during 24 June 1978 to 30 June 1979 (mg l⁻¹).

ELEMENTO	PRECIPITACION INCIDENTE (1)	TRASCOLACION (2)	DIFERENCIA (2) - (1)	RELACION (2)/(1)
Na	0.70	1.34	0.64	1.91
K	0.15	3.20	3.05	21.33
Ca	1.49	3.74	2.25	2.51
Mg	0.20	0.63	0.43	3.15

En la precipitación incidente, Na y Mg se consideran fundamentalmente de origen marino, mientras que K y Ca se consideran fundamentalmente de origen continental . Se han utilizado las proporciones Na/K y Mg/Ca como indicadores del grado de influencia marítima en el quimismo de las precipitaciones (Gore, 1968; Eaton *et al.* 1973) . Estas proporciones, en equivalentes, valen en el agua de mar Na/K = 47.0 y Mg/Ca = 5.6 según datos de Goldberg (1963) . En lugares muy oceánicos las proporciones iónicas de la lluvia se acercan a estos valores, mientras que en lugares continentales son mucho más bajas (Gore, 1968) . En La Castanya, las medias ponderadas por volumen de estas relaciones son (entre paréntesis - los extremos observados) : Na/K = 8.0 (1.6-23.4), Mg/Ca = 0.2 (0.06-0.4) . El cociente Na/K obtenido podría indicar una influencia marítima débil o moderada, quizá menor de la esperable si tenemos en cuenta que la distancia al mar es tan sólo de 27 km, y que el eje Riera de La Castanya-Alto Tordera, encarado a mar, debe ser una vía de penetración del aire marítimo . El bajo cociente Mg/Ca reflejaría el enriquecimiento en Ca ya comentado.

El agua de trascolación está enriquecida en los cuatro elementos (fig.2, tabla 1) . El enriquecimiento es máximo para el K, intermedio para el Ca y Mg, y mínimo para el Na . Este orden de enriquecimiento diferencial es casi una constante en todos los trabajos sobre el tema y refleja el origen y la movilidad de cada ión. El K es escaso en la lluvia incidente y en la deposición seca, pero abunda en los tejidos vegetales, en los que, por no tener función estructural, es un elemento muy móvil y fácilmente lixiviable; esto explica el gran aumento de K dentro del bosque . El Ca es abundante en la precipitación incidente, en la deposición seca y en los tejidos vegetales, con una movilidad moderada en estos últimos, por lo que resulta una concentración alta dentro del bosque, pero un enriquecimiento relativo menor que el K . El Mg es escaso en la lluvia incidente y en la deposición seca y no muy abundante y poco móvil en los tejidos vegetales, por lo que experimenta un enriquecimiento moderado . El Na es relativamente abundante en la lluvia incidente pero muy escaso en los órganos vegetales, resultando un enriquecimiento mínimo dentro del bosque.

En la tabla 2 figuran los aportes anuales de Na,

Tabla 2.

Aportes anuales en la precipitación incidente, en la trascolación, y aportes netos de Na, K, Ca y Mg en el encinar montano de La Castanya (Montseny) desde 24 junio 1978 a 30 junio 1979 (kg ha⁻¹ año⁻¹).

Na, K, Ca, and Mg fluxes in bulk precipitation and throughfall, and amount of nutrients removed from the canopy in throughfall in the evergreen-oak forest at La Castanya (Montseny) during 24 June 1978 to 30 June 1979 (kg ha⁻¹ year⁻¹).

ELEMENTO	PRECIPITACION INCIDENTE	TRASCOLACION	APORTES NETOS
Na	6.7	8.3	1.5
K	1.4	19.7	18.3
Ca	14.4	23.1	8.7
Mg	2.0	3.9	1.9

K, Ca y Mg fuera y dentro del bosque, así como los aportes anuales netos en las aguas de lluvia . A falta de la escorrentia cortical, los aportes netos quedan subestimados . Los aportes incidentes de K y Mg son bajos y es difícil que tengan mucha significación en el funcionamiento del bosque . Los aportes incidentes de Na son mayores, pero el Na no es un elemento indispensable para las plantas, y los pequeños requerimientos de los animales deben ser más que satisfechos por la meteorización de los esquistos que, según datos propios no publicados, libera gran cantidad de Na . Los aportes incidentes de Ca podrían tener alguna influencia en el bosque .

En los aportes por trascolación (tabla 2) destacan mucho el K y el Ca, elementos para los cuales, al igual que para el Na, una fracción importante del retomo al suelo se realiza en las aguas de lluvia (cf. Verdú *et al.*, 1980) . Los resultados de Rapp (1969) en dos encinares cercanos a Montpellier son ($\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$): a) aportes por trascolación, Na 25-62, K 21-52, Ca 26-48, Mg 3-8; b) aportes netos, Na 9-20, K 19-38, Ca 16-23, Mg 1-5. Estos aportes son, en conjunto, bastante más elevados que los obtenidos en La Castanya . Los dos encinares estudiados por Rapp están a menor altitud, sobre terrenos calcáreos y tienen aparentemente mayor influencia marítima que La Castanya, todo lo cual tiende a aumentar los aportes de nutrientes en las aguas de lluvia .

SUMMARY

Volume and dissolved nutrient content (Na, K, Ca, and Mg) of incident precipitation and throughfall are under study in a montane-mediterranean evergreen-oak (*Quercus ilex* L.) forest at La Castanya (Montseny, Barcelona) .

Amount of precipitation is measured with 4 (within) and 2 (outside the forest) polyethylene gauges with 19 cm funnels . Precipitation chemistry is monitored through 8 (within) and 2 (outside the forest) acid-washed, continuously-open polyethylene rain collectors with the funnels covered by a hood made of 2 mm plastic mesh to exclude insects and coarse debris . Rain collectors are changed by clean ones on a biweekly basis and the precipitation samples deep frozen until chemical analyses .

This paper reports preliminary results from the first year of study : 24 June 1978 to 30 June 1979 . As judged through the records of a nearby weather station, this year proved to be a normal one as for total rainfall, although an abnormal one as for monthly distribution of precipitations .

Total incident precipitation and throughfall amounted to 969 and 617 mm, respectively . Concentrations of the four analysed cations were highly variable along the year (figs. 1-2), being generally higher in spring-summer than in autumn-winter rains both within and outside the forest . Volume-weighted mean concentrations are given in table 1, and nutrient fluxes in table 2. On the average, incident precipitation at La Castanya is relatively high in Ca (1.5 mg l^{-1}), medium in Na (0.7), and low in K (0.2) and Mg (0.2) . Throughfall is enriched - in all four elements with respect to incident precipitation: K 21 times, Mg 3 times, Ca 2.5 times, and Na 2 times .

BIBLIOGRAFIA

- ALLEN, S.E., CARLISLE, A., WHITE, E.J. y EVANS, C.C. 1968 . The plant nutrient content of rainwater . *J.Ecol.*, 56:497-504 .
- ASTRUP, M. y BULOW-OLSEN, A. 1979 . Nutrient cycling in two Danish beech forests growing on different soil types . *Holarctic Ecology*, 2:125-9 .
- BRAEKKE, F.H. (ed.) 1976 . *Impact of Acid Precipitation on Forest and Freshwater Ecosystems in Norway* . Research Report FR 6/76, 111 pp., Oslo .
- CARLISLE, A., BROWN, A.H.F. y WHITE, E.J. 1966 . The organic matter and nutrient elements in the precipitation beneath a sessile oak (*Quercus petraea*) canopy . *J.Ecol.*, 54:87-98 .
- CARLISLE, A., BROWN, A.H.F. y WHITE, E.J. 1967 . The nutrient content of tree stemflow and ground flora litter and leachates in a sessile oak (*Quercus petraea*) woodland . *J.Ecol.*, 55:615-627 .
- COMERFORD, N.B. y WHITE, E.H. 1977 . Nutrient content of throughfall in paper birch and red pine stands in northern Minnesota. *Can. J.For.Res.*, 7:536-561 .
- DENAËYER-DE SMET, S. 1966 . Bilan annuel des apports d'éléments minéraux par les eaux de précipitation sous couvert forestier dans la forêt mélangée caducifoliée de Blaimont (Virelles-Chimay) . *Bull.Soc.Roy.Bot.Belg.*, 99:345-375 .
- DENAËYER-DE SMET, S. 1969 . Apports d'éléments minéraux par les eaux de précipitations, d'égouttement sous couvert forestier et d'écoulement le long des troncs (1965, 1966, 1967) . *Bull.Soc.Roy.Bot.Belg.*, 102:355-372 .
- DOCHINGER, L.S. y SELIGA, T.A. (eds.) 1976 . *Proceedings of the First International Symposium on Acid Precipitation and the Forest Ecosystem* . USDA For.Serv.Gen.Tech. Rep. NE-23 .
- EATON, J.S., LIKENS, G.E. y BORMANN, F.H. 1973 . Throughfall and stemflow chemistry in a northern hardwood forest . *J.Ecol.* 61: 495-508 .
- EGNER, H., ERIKSSON, E. y BRODIN, G. 1955-1960 . Current data on the chemical composition of air and precipitation. *Tellus*, 7-12
- ERIKSSON, E., 1952 . Composition of atmospheric precipitation. II. Sulfur, chloride, iodine compounds . Bibliography . *Tellus*, 4: 280-303 .

- GOLDBERG, E.D. 1963 . The Oceans as Chemical Systems . En M.N. - Hill (ed.) *The sea*, vol.2, pp.3-25 . Interscience Publishers , New York .
- GORE, A.J.P. 1968 . The supply of six elements by rain to an upland peat area . *J.Ecol.*, 56:483-495 .
- HENDERSON, G.S., HARRIS, W.F., TODD Jr.D.E. y GRIZZARD, T. 1977 . Quantity and chemistry of throughfall as influenced by forest-type and season . *J.Ecol.*, 65:365-374 .
- HUTCHINSON, G.E. 1957 . *A Treatise on Limnology* . Vol.1, Wiley, - New York .
- LEMEE, G. 1974 . Recherches sur les écosystèmes des réserves biologiques de la forêt de Fontainebleau . IV. Entrées d'éléments minéraux par les précipitations et transfert au sol par le pluviollessivage . *Oecol.Plant.*, 9:187-200 .
- LIKENS, G.E. y BORMANN, F.H. 1974 . Acid rain : a serious regional environmental problem . *Science*, 184:1176-1179 .
- LIKENS, G.E., BORMANN, F.H., PIERCE, R.S., EATON, J.S. y JOHNSON, N.M. 1977 . *Biogeochemistry of a Forested Ecosystem* . Springer-Verlag, New York .
- RAPP, M. 1969 . Apport d'éléments minéraux au sol par les eaux de pluviollessivage sous des peuplements de *Quercus ilex*, *Quercus lanuginosa* et *Pinus halepensis* . *Oecol.Plant.*, 4:71-92 .
- RAPP, M. y 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 .
- TERRADAS, J., FERRES, LL., LOPEZ-SORIA, L., RODA, F. y VERDU, A.M.C. 1980 . Estructura y funcionalismo de un encinar montano en el Montseny . I. Objetivos generales y descripción del área de estudio . *Mediterránea*, 4
- VERDU, A.M.C., FERRES, Ll. y RODA, F. 1980 . Estructura y funcionalismo de un encinar montano en el Montseny . IV. Producción de hojarasca . *Mediterránea*, 4 .