BALANCE DE NUTRIENTES EN PEQUEÑAS CUENCAS DEL ENCINAR

I. SELECCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO E INSTALACIÓN DE INSTRUMENTOS PARA LA RECOGIDA DE DATOS.

Por A. Escarré¹, J. Bellot¹, M. J. Lledó¹, J. Hervás², E. Pujalte¹, y P. Garrido³

INTRODUCCIÓN

Cuando juntamente con los departamentos de Ecología de las Universidades de Barcelona y Autónoma de Barcelona, se solicitó una beca hispano-norteamericana para trabajar de forma cooperativa con la School of Forestry and Environmental Studies de la Universidad de Yale, se pretendía llevar a cabo un estudio integrado sobre los ciclos de nutrientes en el encinar mediterráneo, un tipo de vegetación notablemente olvidada en la fase de máximo esplendor de las estimas energéticas de la vegetación emprendidas en el marco del Programa Biológico Internacional, y que sólo contó con las aportaciones del RAPP (1970), SUSMEL *et al.* (1976) y LOSSAINT y RAPP (1978), en el contexto de trabajos destinados a estimar algunos de los compartimientos y flujos de materia en ecosistemas forestales.

1.—Departamento de Biología de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Alicante.

2.—Aguas Municipalizadas. Alicante.

3.—Instituto Nacional de Bachillerato Sant Andrés. Barcelona.

Desde el inicio del proyecto se pensó en combinar la clásica técnica del estudio en parcelas utilizada desde OVERTON y MADWICK (1959) y demás estudios recopilados en RODIN y BAZILEVICH (1967), hasta DUVIGNEAUD *et al.* (1971) con la técnica de las pequeñas cuencas con substrato impermeable desarrollada, entre otras, por la entidad cooperante en el Hubbard Brook Ecosystem Study (LIKENS *et al.* 1977).

Mientras que los departamentos de las Universidades de Barcelona iniciaban en la zona de la Castanya, en el Montseny, los trabajos cuyos resultados iniciales figuran en TERRADAS (1980), TERRADAS *et al.* (1980), FERRES *et al.* (1980), RODA *et al.* (1980) y VERDÚ *et al.* (1980), el departamento de Biología de la Universidad de Alicante comenzaba un proceso de búsqueda de la zona más idónea para abordar el proyecto con la técnica de la cuenca impermeable de pequeña extensión.

Algo más de dos décadas después de iniciado el estudio del complejo de cuencas de Hubbard Brook resulta apreciable una mayor aceptación de esta metodología por parte de los ecólogos norteamericanos, que la están desarrollando también en otras zonas como por ejemplo Coweeta, Tesuque, Shenandoah y El Verde (Puerto Rico), mientras que en Europa sólo ha tenido aplicaciones esporádicas en países escandinavos.

En una reciente reunión de la European Science Foundation sobre dinámica forestal resultó curioso el que por una parte se plantease sin mucho convencimiento la disyuntiva del uso de pequeñas cuencas, mientras que por otra se presentaba a P. Vitousek como exponente relevante de las teorías más generales del ciclado de nutrientes en bosques, y cuya principal hipótesis (VITOUSEK y REINERS, 1975) fue concebida precisamente con resultados obtenidos en cuencas instrumentadas.

La discusión sobre el interés o no de estudiar ecosistemas forestales en unidades cuenca se considera tan poco útil como plantear de forma disyuntiva el uso de microscopía óptica o electrónica. La posibilidad de obtener medidas de evapotranspiración, balances de nutrientes y tasas de meteorización con el simple control de entradas, salidas y retención en algún compartimento, confieren a la mencionada técnica un especial atractivo por su eficacia ya que su uso no incrementa apenas la complejidad inherente a cualquier estudio del ecosistema bosque.

ESTRATEGIA INICIAL DE LA SELECCIÓN

La zona ideal para la puesta en marcha de estudios sobre balances de nutrientes en unidades cuenca, debía reunir los siguientes requisitos: 1) condiciones topográficas que permitiesen la precisa delimitación de cuencas hidrológicas con extensiones comprendidas entre 10 y 150 Ha; 2) existencia de un sustrato impermeable continuo; 3) presencia de cubiertas vegetales de tipo bosque o matorral, pero homogéneas, y 4) que se tratase de zonas de propiedad estatal o consorciadas en las que en cualquier caso estuviese garantizado el mantenimiento de una red de instrumentos de medida.

Ya que la condición ideal de la cuarta premisa se cumple en los montes pertenecientes a ICONA, se contactó con la Sección de Hidrología que proporcionó información sobre las grandes zonas que juzgaba más interesante para la prospección detallada, en función de sus propiedades y consorcios.

La prospección se inició sobre cuatro grandes unidades geológicas que presentan rocas impermeables: la meseta, la zona bética, el sistema ibérico y las catalánides.

Se efectuaron un total de ocho itinerarios y en cada ocasión se contactó con las delegaciones provinciales de ICONA que facilitaron la localización de lugares presuntamente aptos.

Entre las zonas visitadas e inspeccionadas con cierto detalle en lo referente a topografía, geología y vegetación, y dentro del sistema mesetario, se encuentran las siguientes: Herrumblar, en el extremo SW de la provincia de Albacete, Almuradiel, SE de la provincia de Ciudad Real, Posadas en el NW de la provincia de Córdoba, el Cerro del Sordo, al N de la provincia de Córdoba, el complejo de monte Almiruete en el NW de la provincia de Guadalajara y el complejo de Fuencaliente, al S de la provincia de Ciudad Real. En la misma área otros puntos de posible interés aparecieron entre Marmolejo y Cardeña, entre Villanueva de Córdoba y Obejo, en Santa Olalla, San Pedro de Alcántara, Cúllar de Baza, Ojuelos, Garganta del Pozuelo, Montes de San Pablo, el Molinillo, Los Yébenes y la finca de Quintos de Mora.

En la zona bética se prospectó detalladamente el monte de Laujar

de Andarax situado al W de la provincia de Almería y más superficialmente algunas cuencas de Ohanes y Fiñana.

En el sistema Ibérico el lugar más prometedor lo constituía un sistema de tres cuencas de encinar próximo a Aguarón, pero también se consideraron la sierra de la Virgen (entre Aranda y Jarque) la del puerto de Paniza, el alto del Puerto entre Acered y Cubel, Cucalón y los montes entre Daroca y Ateca.

Por último en las Catalánides se prospectó únicamente el monte Poblet, situado en la sierra de Prades y en el que resulta posible delimitar hasta diez pequeñas cuencas.

CARACTERÍSTICAS DE LAS PRIMERAS ZONAS SELECCIONADAS.

Tras la primera etapa de prospección se planificó un estudio más detallado de aspectos estructurales de las consideradas mejores cuencas, juntamente con la realización de unos primeros análisis químicos de sus aguas de avenamiento. Se seleccionaron doce cuencas agrupadas en cuatro complejos: tres en el área del Monte Almiruete (Guadalajara), dos en la zona de Aguarón (Zaragoza), cuatro en Fuencaliente (Ciudad Real) y tres en Monte Poblet (Tarragona). En esta fase algunas de las cuencas elegidas presentaban problemas de cierta heterogeneidad de su cubierta vegetal, muchas veces ligada a la presencia de cuarcitas que representaban un problema hidrogeológico adicional al poder permitir transferencias laterales de agua entre cuencas.

En el complejo de cuencas del monte Almiruete, la numerada como 1, entre 1.200 a 1.700 m. s.n.m., con pendientes entre 14 y 40%, corresponde a la ladera E del monte público de Almiruete, tiene una extensión aproximada de 166 Ha, el substrato en su mayor parte está formado por pizarras silúricas pero presenta dos bandas cuarcíticas en su parte superior. En la vegetación domina un bosque de rebollo (*Quercus pyrenaica*) con una altura media de 5-6 m., que no sobrepasa los 30 años de edad y que proviene de rebrotes de un antiguo robledal. Como estrato arbustivo y como única cubierta en cerca de un 15% de la cuenca abundan especialmente *Cistus laurifolius*, *Erica scoparia*, *Calluna vulgaris* y *Arctostaphylos uva-ursi*.

La cuenca número 2 cubre la parte S del pico Mojones en el término de Almiruete, entre 1.180 y 1.622 m. s.n.m., con pendientes que varían entre 18 y 33% y una extensión de 275 Ha. El substrato está también formado por pizarras silúricas y un pequeño afloramiento de cuarcitas. La vegetación está constituida en su totalidad por un matorral uniforme de *Cistus laurifolius* y *Erica scoparia*.

La cuenca número 3 está situada en el término municipal de Valverde de los Arroyos entre 1.300 y 1.900 m. s.n.m., tiene una extensión aproximada de 875 Ha y un substrato de pizarras silúricas y cuarcitas en la parte superior. La cubierta vegetal está constituida por una repoblación muy joven de *Pinus sylvestris*.

En el complejo de Aguarón, en el área aragonesa, se consideraron la cuenca del Plogar (n.º 1) y la de Valdecerezos (n.º 2). La primera de ellas tiene una extensión de 298 Ha, está comprendida entre las cotas de 800 y 1.100 m. s.n.m. y presenta pendientes entre 13 y 40%, con un substrato de pizarras silúricas. la vegetación es bastante homogénea, constituida por un encinar de *Quercus ilex* ssp. *rotundifolia* acompañado de un matorral con *Calluna vulgaris*, *Arctostaphylos uva-ursi* y *Ruscus aculeatus* entre otras.

La cuenca del Barranco de Valdecerezos tiene una extensión entre el 20 y el 50% y está situada entre los 760 y 1.100 m. s.n.m. El substrato es de pizarras silúricas y la vegetación está compuesta principalmente por un encinar de *Quercus ilex* ssp. *rotundifolia* y algunos ejemplares de *Quercus faginea*.

El complejo de cuencas del término municipal de Fuencaliente está constituido en primer lugar por la de la Cereceda (n.º 1) que tiene una extensión aproximada de 21 Ha y se sitúa entre los 840 y 1.240 m. de altitud, presenta pendientes bastante abruptas, un substrato pizarroso en toda su extensión excepto la parte culminal en que aparecen cuarcitas, y soporta un robledal maduro de *Quecus pyrenaica*.

En segundo lugar está la cuenca de Arrayanes (n.º 2) que se sitúa en la ladera SW del pico del mismo nombre, tiene una extensión de 3 Ha y está situada entre los 800 y 900 m., con pendientes del 28%, una roca madre también pizarrosa y la vegetación formada por un denso matorral de *Myrtus communis* con algún ejemplar de rebollo.

La tercera cuenca del complejo es la del Robledo de las Ollas situada en la ladera NE de dicho barranco, con rangos de altitud desde 1.000 a 1.200 m. Las pendientes oscilan entre 26 y 60% y el substrato lo forman pizarras silúricas con cierto grado de alternación, junto con capas de cuarcitas. La cubierta vegetal no es homogénea, un 60% lo constituye un robledal bien desarrollado de *Quercus pyrenaica* y *Quercus faginea* y el resto son claros con matorral dominado por *Cistus ladaniferus*.

La cuenca n.º 4 comprende un área de 75 Ha, totalmente cubierta por una repoblación de *Pinus pinaster* de 33 años, tiene también como roca madre, pizarras y sus altitudes oscilan entre 770 y 1.070 m. s.n.m. con pendientes moderadas.

En el Monte Poblet se eligieron inicialmente tres cuencas que son las de L'Avic, Els Carrasclets y Els Castelletts, que tienen respectivamente extensiones de 55, 140 y 264 Ha, presentan substratos de pizarras la primera, pizarra y granito la segunda y únicamente granitos la última de las tres. La cubierta vegetal es muy homogénea en L'Avic constituida por encinar, mientras que en las otras dos tienen importancia el pino silvestre (*Pinus sylvestris*) y distintas especies de robles.

Los primeros muestreos de aguas de avenamiento se realizaron durante el otoño de 1979 y el invierno de 1980. Los resultados obtenidos en los análisis de las aguas filtradas a 0.4 μ . aparecen en la tabla n.º 1. Ni entre complejos de cuencas, ni entre cuencas de un mismo complejo se detectan diferencias claras directamente atribuibles a la cubierta vegetal; aparentemente buena parte de la variación se debe a diferencias en el substrato geológico.

El complejo del monte Poblet aparece como el de aguas más concentradas, si bien con grandes diferencias entre las tres cuencas que se ordenan según un gradiente de conductividad decreciente y que se corresponde con la roca madre pirrosa, mezcla de pizarra, granito y granítica. Las fechas de muestreo abarcan sólo un pequeño período del año, pero permiten apreciar un fuerte efecto de dilución en los arroyos del complejo del monte Almiruete, que se observa también aunque mucho más atenuado en los de Aguarón. En las cuencas del Monte Poblet se observa un descenso invernal de la conductividad en el Barranc de L'Avic, que presenta en octubre un valor anormalmente alto de sulfatos, y que no es coincidente con el incremento de conductividad que se produce

Zona Fecha	MONTE ALMIRUETE			AGUARON		FUENCALIENTE			MONTE POBLET			
	7-11-79			6-11-79		15-11-79			27-10-79			
Cuenca	1	2	3	1	2	1	2	3	4	1	2	3
N.º Total	0.48	0.66	0.38	0.01	0.91	0.01	0.42	0.20	0.29	0.03	0.14	0.22
SO ₄ ²⁻	1.19	0.84	1.65	11.70	6.24	1.88	3.50	1.24	2.76	94.00	18.00	10.00
Cl ⁻	2.04	1.60	—	10.03	4.40	3.86	3.80	3.14	3.09	25.00	15.00	10.00
SiO ₂	5.40	7.00	2.80	16.00	11.00	6.43	4.87	7.06	5.50	29.00	21.50	10.50
Mg ⁺⁺	0.29	0.31	0.26	8.13	5.84	1.15	0.91	1.82	0.60	14.70	7.30	3.70
Na ⁺	1.69	1.57	0.97	6.97	3.15	2.83	2.06	4.80	1.88	23.40	12.40	6.98
K ⁺	0.39	0.41	0.28	0.77	0.37	0.44	0.19	0.53	0.31	2.30	1.50	1.10
pH	6.1	6.3	6.0	6.7	7.0	6.2	6.0	6.9	6.0	7.1	6.8	6.8
conductividad	178	125	177	184	138	34	34	46	34	690	280	169

Fecha Cuenca	2-12-79			6-12-79		29-1-80			14-12-79			
	1	2	3	1	2	1	2	3	4	1	2	3
N.º total	0.13	0.05	0.06	0.15	0.02	0.44	0.23	0.15	0.23	0.15	—	0.16
SO ₄ ²⁻	1.65	1.84	1.39	9.30	4.57	1.10	2.58	0.84	2.66	38.00	23.50	18.00
Cl ⁻	0.75	1.47	—	7.52	5.44	3.24	3.81	3.09	3.30	15.00	20.00	10.00
SiO ₂	2.95	6.25	2.77	—	—	4.80	4.72	20.40	4.32	28.80	14.40	13.10
Mg ⁺⁺	0.39	0.44	0.28	—	—	1.50	0.95	1.90	0.55	11.90	11.70	6.20
Na ⁺	1.24	1.37	0.99	4.59	2.90	2.56	2.50	4.60	1.70	8.50	8.25	6.40
K ⁺	0.39	0.37	0.40	0.83	0.44	0.43	0.26	0.45	0.15	1.85	1.71	1.04
pH	6.4	6.6	6.5	6.7	7.0	6.2	4.8	5.2	6.2	7.1	7.0	7.1
conductividad	25	18	12	165	103	36	32	47	22	495	350	240

TABLA N.º 1.— Concentraciones (mg.l⁻¹) de las diferentes sustancias disueltas analizadas y valores de conductividad (μ mhos • cm⁻¹) en las aguas procedentes de los dos muestreos realizados en las 12 cuencas, de los 4 complejos

en Els Carrasclets y Els Castellets. En la zona de Fuencaliente las diferencias de composición de las aguas entre las dos fechas de muestreo son mínimas.

CARACTERÍSTICAS DEL COMPLEJO DE CUENCAS DE MONTE POBLET: PRIMEROS RESULTADOS E INSTALACIONES.

Después de las visitas de asesoramiento realizadas a todos los complejos de cuencas por R. Pierce del U. S. Forest Service, y por K. Beven y R. Clapp de la Universidad de Virginia a la zona de la sierra de Prades, y tras confrontar nuestros puntos de vista con las opiniones emitidas por estos investigadores en sus informes técnicos, se eligió como zona de trabajo el complejo de cuencas de Monte Poblet.

Los motivos fundamentales de tal decisión fueron el que en dicha zona, las características geológicas, topográficas, botánicas e hidrológicas, permitían elegir al menos unas diez cuencas que reunieran condiciones adecuadas para desarrollar el programa; además, dicha zona disponía de una buena comunicación con las Universidades de Alicante y Barcelona.

Por el momento, y debido a limitaciones económicas sólo se ha iniciado el estudio de cuatro cuencas: Barranc de L'Avic, Barranc de la Teula, Barranc del Saucar y Barranc de Castellfullit, y de forma más intensiva sólo en L'Avic.

VEGETACIÓN

La vegetación dominante en el área de Monte Poblet es el encinar, perteneciente a tres grandes tipos: *Quercetum ilicis galloprovinciale*, *Quercetum mediterraneo-montanum*, y *Quercetum rotundifoliae* (FOLCH y VELASCO, 1974). El encinar montano o las comunidades de degradación correspondientes definen en lo esencial el paisaje de nuestra área de estudio. Existen, no obstante, extensas manchas de rebollo (*Quercus pyrenaica*) que alcanzan las partes más altas del monte, junto con masas importantes de pinares (*Pinus sylvestris*, *Pinus nigra* y *Pinus pinaster*).

En las cuatro cuencas elegidas, la vegetación es relativamente homogénea. En l'Avic domina la encina acompañada del madroño (*Arbutus unedo*) y del labiérnago (*Phillyrea media*). en las otras cuencas, además de la encina tiene importancia la presencia de *Pinus sylvestris* en el Barranc de la Teula, y *P. sylvestris* y *Q. pyrenaica* en el Barranc de Castellfullit. Finalmente, en la cuenca del Saucar hallamos mayor diversidad de especies arbóreas, al aparecer junto a los cauces tilos, avellanos, tejos y otros. El resto de la superficie se reparte entre un 20% de encinar, un 20% de robledal y un 50% de pino silvestre.

SUBSTRATO

Las formaciones geológicas presentes en la zona pertenecen a la cordillera Prelitoral Catalana. Existen formaciones metasedimentarias, pertenecientes al Carbonífero, presentes en los barrancos de L'Avic, Saucar y Teula; y rocas granitoideas del Postcarbonífero, presentes en el Barranc de Castellfullit (SOLÉ SABARIS *et al.* 1972).

La mayor parte del sustrato geológico de las cuencas seleccionadas (L'Avic, Saucar y Teula) está formado por pizarras y areniscas pizarrosas alternantes, a las que a veces acompañan niveles de conglomerados. En los niveles detríticos puede verse una estratificación cruzada y graduada, y es muy importante la presencia de niveles masivos de areniscas silíceas. En realidad, todo el conjunto descrito se asimila a una serie previamente sedimentaria, compuesta por minerales de arcilla y granos de cuarzo en diferentes proporciones, según el nivel estratigráfico. El efecto ejercido por el metamorfismo regional ha removilizado el material transformando algunos de sus minerales, y ejerciendo una acción impermeabilizadora en los conglomerados y areniscas al aportarles una matriz aglutinadora de granos.

Además de estos materiales antes descritos, existen otros que fueron afectados por un metamorfismo de contacto y que se presentan en pequeños enclaves. Estos materiales se caracterizan por la presencia de rocas corneanas silíceas con biotita, plagioclasas y corderita, clorita, pizarras bituminosas y grafitosas con andalucita, y cuarcitas con recristalización total de cuarzo.

Un tercer grupo de materiales son dioríticos de origen plutónico (cuarzo, plagioclasas y biotita), acompañados de filones porfirídicos de

TABLA N.º 2.—Contenidos de óxidos (%) en las pizarras silúricas del Barranc de L'Avic.

ÓXIDOS	Muestra 4	Muestra 5
P ₂ O ₅	0.10	0.10
SiO ₂	70.00	81.30
Al ₂ O ₃	14.00	7.96
S ₂ O ₃	4.31	2.56
Mn ₃ O ₄	0.05	0.03
MgO	1.62	0.92
CaO	trazas	trazas
Na ₂ O	1.72	1.61
K ₂ O	1.99	0.92

igual composición. En general estos materiales afectan a casi todo el Barranc de Castellfullit.

En una primera aproximación a la composición química de este substrato, se realizaron análisis de dos muestras de pizarra del Barranc de L'Avic, cuyos resultados se dan en la tabla 2. Cabe resaltar el gran predominio de los óxidos de silicio (SiO₂) con un valor medio del 75.6% del total, y de los óxidos de aluminio (Al₂O₃) con un 10.9%, y el escaso contenido en óxidos de calcio (CaO), del que sólo se han detectado trazas.

SUELOS

El tipo de suelo, procedente del substrato descrito es el mismo para toda la cuenca de L'Avic, con la única diferencia de que a veces se desarrolla directamente sobre la roca madre, y otras sobre una capa de coluvión de espesor variable. Se pueden calificar como suelos pardo-ácidos según la clasificación francesa, y como xerochrept, según la clasificación americana.

La profundidad del suelo se ha estimado por métodos de prospección microgeosísmica, y se considera que el espesor varía entre 70 cm. en la parte alta del barranco, y 1.5 m. en la parte baja y cauce. El espesor se reparte, por lo general, en un horizonte A_{00} de materia orgánica no descompuesta (2-5 cm.); un A_0 de 1-2 cm.; un A_1 de 5 cm.; un horizonte B de alteración, de 25-30 cm., y un horizonte C de pizarras o coluvión.

Los análisis granulométricos indican que la textura del suelo es franco-limosa, aunque en ocasiones pueden darse desviaciones hacia texturas limo-arenosas o limo-arcillosas.

Los análisis químicos muestran pH variables entre 5.15 y 6.30, ligeramente ácidos y una capacidad de intercambio catiónico entre 12.11 y 35.43 meq/100 g. En cuanto a los cationes, el orden de abundancia es $Ca^{**} \gg Mg^{**} > Na^{+} > K^{+}$, con claro predominio del primero en contraste con lo encontrado en el análisis de roca madre.

Desde el punto de vista hidrogeológico, los materiales de la roca madre son totalmente impermeables, y sólo en sus primeros metros de afloramiento, cuando se asocian fenómenos de diaclasamiento, reptación y distensión, podría existir una cierta permeabilidad secundaria. Para los materiales procedentes de este substrato, hay una permeabilidad baja pero homogénea, circulando agua entre los granos componentes, a muy baja velocidad, ello hace que pueda encontrarse agua bastante tiempo después de las lluvias y que a los arroyos llegue agua de modo pausado y progresivo.

RESULTADOS QUÍMICOS PRELIMINARES

Antes de iniciar la instalación definitiva de las construcciones y aparatos de muestreo, se desarrolló un plan de análisis químico de aguas de entrada y salida a las cuencas, para poder conocer sus características y diferencias más importantes, así como si éstas estaban influenciadas de modo significativo por la vegetación.

Durante este período que transcurrió desde Junio de 1980 a Octubre de 1981, se analizaron aguas de avenamiento de las cuencas seleccionadas, y aguas procedentes de las lluvias, y de la trascolación de ésta por diversas especies vegetales como la encina (*Quercus ilex*), madroño

(*A. unedo*), brezo (*Erica arborea*), pino silvestre (*P. sylvestris*), y rebollo (*Q. pyrenaica*).

Los resultados de estos análisis se dan en las tablas 3 y 4 y en la figura 1. Para el avenamiento, cabe destacar los valores de la concentración de hidrogeniones, que corresponden a pH mayores o muy próximos a 7, lo que sitúa a estas cuencas entre las más básicas de las citadas en la bibliografía para Europa y América (LEWIS y GRANT, (1979); VERSTRATEN (1977), LIKENS *et al.* (*op. cit*) y KRAUSKOPF (1979)). En cuanto a los iones, dominan calcio y sulfato, seguidos de la sílice, aunque en la Teula este último elemento tiene más importancia que el sulfato. Son también considerables las concentraciones de sodio, magnesio y cloruro, aunque el orden de magnitud varía de una cuenca a otra.

En general, se deduce, tanto de las concentraciones medias de los iones, como de la medida sintética de las mismas que es la conductividad, que las cuatro cuencas tienen aguas muy concentradas, sobre todo L'Avic y la Teula, con valores que están muy por encima de los encontrados en otras cuencas estudiadas (RODA (1983), LIKENS *et al.* (*op. cit*) LEWIS y GRANT (*op. cit*) y VERSTRATEN (*op. cit*).

La variación temporal del agua de avenamiento (fig. 1) sugiere que el ión amonio es más variable que el pH y la conductividad, aunque los tres parámetros sufren una brusca oscilación en los meses de Abril y Mayo de 1981, posiblemente debida a las precipitaciones, que provocan una acidificación y dilución del agua de avenamiento, junto con un aumento de la concentración de amonio.

Las características de la deposición global (tabla 4) sugieren un agua ácida con una concentración de hidrogeniones elevada ($\text{pH} = 4.4$), poco cargada de iones, y en la que dominan el calcio, amonio y sulfato. Comparando estos valores a los de un estudio cercano en Cataluña (RODA, *op. cit*) se observa la mayor acidez de nuestras aguas, mientras que el resto de los iones mantienen órdenes de magnitud similares. En cuanto a una comparación bibliográfica más general, observamos que nuestros valores de pH, están tanto por arriba como por abajo del de zonas más industrializadas, 4.07 en Alemania (MATZNER *et al.*, 1982), 4.3 en Suecia (GRANAT, 1978), 4.14 en New Hampshire (U.S.A.) (LIKENS *et al.*, *op. cit*), y 5.0 en California (U.S.A.) (McCOLL y BUSH, 1978).

	L'AVIC	LA TEULA	CASTELLFOLLIT	EL SAUCAR
NH ₄	0.09±0.01	0.08±0.01	0.07±0.01	0.06±0.01
SO ₄	46.46±4.43	20.44±1.33	21.44±0.30	13.47±0.40
Cl	10.57±0.20	10.62±1.07	10.57±0.25	8.04±0.89
F	0.36±0.01	0.33±0.01	0.37±0.03	0.13±0.08
SiO ₂	32.68±1.67	36.1 ±1.26	15.55±0.75	12.3 ±0.32
Mg	11.95±0.41	8.93±0.46	6.54±0.41	5.01±0.32
Na	15.39±0.91	12.09±0.45	9.86±0.62	5.52±0.36
K	1.83±0.09	1.75±0.09	1.73±0.12	1.01±0.09
Ca	47.7 ±5.69	41.67±1.61	20.27±1.44	13.12±1.51
H ⁺	6.3x10 ⁻⁸ ±0.6x10 ⁻⁸	4.6x10 ⁻⁸ ±1.01x10 ⁻⁸	1.06x10 ⁻⁷ ±0.22x10 ⁻⁷	1.11x10 ⁻⁷ ±0.21x10 ⁻⁷
Conductivitat	481±20	313±26	241±17	133±11
CO ₃ H ⁻	224±13	148.6 ±14.6	113.6 ±20.8	49.14±5.35

TABLA N.º 3.— Concentraciones medias y error estandar, de las sustancias disueltas, analizadas en las cuatro cuencas elegidas en el complejo de Monte Poblet, durante el periodo de Junio de 1980 a Julio de 1981. Las concentraciones se expresan en mg.l⁻¹ y la conductividad en μ mhos • cm⁻¹

Precipitación	T R A S C O L A C I Ó N				
	ROBLE	MADROÑO	BREZO	PINO	ENCINA
Global					
Conduct. 24.7	16	25.5	11.8	50.3	62.1
H ⁺ 0.039	-0.007	-0.026	-0.017	-0.009	-0.029
NH ₄ ⁺ 1.31	1.22	2.15	0.37	2.22	3.30
NO ₃ ⁻ 0.77	1.62	3.46	2.51	7.12	6.62
N.º total 1.19	1.31	2.44	0.85	3.32	4.05
SO ₄ ⁼ 1.02	2.68	9.18	1.68	0.11	14.98
Ca ⁺⁺ 1.65	0.53	3.81	1.10	0.43	0.83
Mg ⁺⁺ 0.10	0.41	0.92	0.43	0.50	1.03
Na ⁺ 0.39	0.58	0.92	0.89	0.76	0.94
K ⁺ 0.16	2.37	2.09	1.49	1.02	2.26

TABLA N.º 4. — Concentración media (mg.l⁻¹) de diferentes sustancias disueltas en el agua de precipitación, y valores del enriquecimiento relativo del agua de trascolación en diferentes especies del bosque

Respecto al agua de trascolación, hemos preferido presentar en la tabla 4, el valor del enriquecimiento relativo que sufre el agua de lluvia al atravesar las copas de las especies arbóreas. De esta comparación se deduce que la encina es la especie que más cambia el agua, junto con el madroño, y para algunos elementos (N total) junto con el pino, que sin embargo para otras sustancias disueltas (K^+ y $SO_4^{=}$) este último es el que menor alteración produce.

El efecto modificador de la acidez del agua de lluvia por la vegetación, ha sido puesto de manifiesto por diversos autores, NIHLGARD (1970), MATZNER *et al.* (*op. cit.*), ABRAHAMSEN *et al.* (1975), etc., y en nuestro caso observamos que en general todas las especies tienen un efecto neutralizador, pues elevan el pH del agua de trascolación. En líneas generales cabe destacar la mayor neutralización sufrida por las aguas de encina y madroño, y el reducido cambio que se produce en roble y pino.

INSTALACIONES EXPERIMENTALES

Para obtener estimas válidas sobre el balance de nutrientes en la cuenca del Barranco de L'Avic, se ha desarrollado un dispositivo experimental para controlar el flujo hidrológico de la cuenca (entradas y salidas), los flujos de agua en el interior del bosque (trascolación y escorrentía cortical), junto con la puesta a punto de técnicas para el análisis químico de las aguas. Además se han colocado trampas para captar el desplazamiento horizontal de las hojas en el bosque, y la caída de las mismas.

Las entradas globales de agua a la cuenca, se estiman en dos estaciones a diferente altitud (700 y 950 m.) y que contienen cada una 5 recolectores graduados para medir volúmenes y 4 recolectores para captar agua para análisis químico. Asimismo se dispone en la base de la cuenca de un pluviógrafo, de registro continuo, que permite estimar la intensidad y duración de las precipitaciones.

La evaluación de la importancia cuantitativa de las vías de trascolación y escorrentía cortical, seguidas por el agua de lluvia, para llegar al suelo, se efectúa de forma diferencial para las tres especies más abundantes en la cuenca (*Q. ilex*, *A. unedo* y *Ph. media*). Debido a que *Q. ilex* representa el 60% de los individuos de la cuenca, *A. unedo* el 16%

y *Ph. media* el 11%, la mayor parte de las instalaciones se han dirigido alrededor de la encina.

Trascolación

Los intereses se han dirigido en captar las diferencias en la cantidad de agua de lluvia que atraviesa la bóveda forestal por distintos puntos de la misma, y de los cambios químicos que sufre ésta, en dicho paso. Ambos aspectos están directamente relacionados con la densidad de follaje de la cubierta vegetal, por lo que en una primera fase, se hicieron estimas del (índice foliar) en toda la cuenca.

Se utilizó un método puesto a punto en el Departamento de Ecología de la Universidad de Barcelona, que relacionaba dicho índice con la extinción de la luz al atravesar la vegetación. Se tomaron unos 200 puntos y se calculó la distribución de frecuencias de los índices foliares de la cubierta forestal de L'Avic, y en función de esta distribución se eligió una parcela de encinar, cuya frecuencia de índices foliares era representativa del total.

La parcela experimental tiene una extensión de 32 x 28 metros, y tomando como base las frecuencias de los índices foliares se distribuyeron proporcionalmente a ellas 50 recolectores de agua de trascolación, eligiendo cada punto por su índice foliar.

Más recientemente, se ha instalado un segundo pluviógrafo de registro continuo en el interior del encinar, cuya superficie de captación es una canal de 2 m. de largo, 16 cm. de ancho y 8 cm. de profundidad. Las posibilidades que ofrece esta instalación para estudiar la intercepción y tiempo de respuesta de la trascolación son manifiestas.

Para las otras especies, *A. unedo* y *Ph. media*, el muestreo de trascolación es menos exhaustivo, y en total se dispone de 4 recolectores debajo de ellas.

El control de los cambios químicos sufridos por el agua al trascolar, se efectúa tomando muestras de 8 recolectores en el encinar, y de los 4 recolectores, debajo de las otras especies.

Escorrentía cortical

Para cuantificar el agua que transcurre por los troncos de los árboles se han colocado un total de 20 anillos adheridos a los mismos, 10 en *Q. ilex*, y 5 en cada una de las especies *A. unedo* y *Ph. media*.

La elección de los árboles anillados, se realizó utilizando una distribución de clases diamétricas establecidas sobre un total de 171 árboles censados en toda la cuenca; el rango de diámetros anillados va de 2.5 cm. a 30 cm. en todas las especies.

El análisis químico del agua de escorrentía cortical, se realiza tomando muestras de todos los árboles anillados.

En la fotografía n.º 1, se observa una parte de la parcela experimental, con recolectores para trascolación y anillos adosados a los troncos para la escorrentía cortical.

Salidas

El control del agua de avenamiento, se realiza por ahora sólo en el Barranc de L'Avic. En éste se ha instalado una estación de aforo, dotada de un limnógrafo con registro continuo del nivel de agua (foto n.º 2).

El dique construido para el aforo, lleva un aliviadero de tipo «HS flume», de 30 cm. de altura, 31 cm. de profundidad y 1.5 de abertura. Ello significa una buena precisión para flujos de hasta 231 seg.⁻¹, aunque se pierda algo de capacidad para detectar caudales muy pequeños (del orden de 0.02 l. seg.⁻¹).

Unos metros antes de la estación de aforo se ha construido una trampa de sedimentos para recoger la materia particulada, tanto suspendida como de arrastre. Un pequeño muro canaliza el agua a un foso que, en la dirección del caudal, tiene 1 m. de longitud, y en su perpendicular 1.5. m., con una profundidad de 40 cm.

En el interior de este foso, se han dispuesto tres bandejas con mallas de diferente tamaño, que separan los sedimentos arrastrados en tres categorías: material mayor de 1.5 cm.; entre 1.5 y 0.5 cm. y un tercer grupo de tamaño comprendido entre 0.25 y 0.5 cm.

Toda el agua que rebasa la trampa y que arrastra materia particulada en suspensión, atraviesa además una malla de 1 mm., situada inmediatamente después del foso de sedimentos, separándose así todas las partículas superiores a este tamaño. La fracción más fina de esta materia particulada en suspensión, se recoge filtrando cantidades de agua, que oscilan entre 10 y 15 litros, tomadas después de esta última malla. Los filtros utilizados tienen un poro de 0.45μ .

En el resto de las cuencas (Saucar, Castellfullit y Teula) no se dispone todavía de estaciones de aforo, aunque en breve se iniciará su construcción, en colaboración con la Secció Territorial del Medi Natural.

El control químico de las aguas de avenamiento se efectúa en las 4 cuencas mediante la toma periódica de muestras del agua de sus arroyos.

Con el fin de detectar los cambios químicos del agua de avenamiento, tras eventos lluviosos más o menos peculiares, se dispone de un mes-treador automático, que permite la toma de muestras de agua a intervalos de tiempo graduables entre 3.5 min. y 24 horas, y que tiene una capacidad de hasta 24 muestras.

Finalmente, se han instalado 14 colectores para recolectar el desfronde y estimar el transporte lateral de la hojarasca en el encinar. Para el desfronde se utilizan 6 cuadrados de 0.25 m^2 , y 8 rectángulos de 0.75 m^2 , y para el transporte horizontal se utilizan trampas de deslizamiento con abertura a la pendiente máxima, y que cubren un frente de 12 m.

La periodicidad con que se vienen realizando estos muestreos varía según el tipo de muestras. En las aguas que entran a la cuenca (precipitación, trascolación y escorrentía cortical) el muestreo se realiza después de cada evento lluvioso.

En las aguas de salida (avenamiento) el muestreo es semanal, o en series de 24 muestras, después de fenómenos lluviosos interesantes. En cuato a la materia particulada de arrastre, se efectúan recogidas de las mallas del foso y de la red de 1 mm. cada mes, y del agua que pasa esta última red cada semana.

La caída de hojarasca y el desplazamiento horizontal de la misma se recoge quincenalmente, salvo escasas excepciones en que se hace mensualmente.

Para el análisis químico de las aguas, se han puesto a punto diferentes métodos de análisis, que son los utilizados en los resultados analíticos presentados.

—Conductividad: Determinación con Conductivímetro Crison, con compensación de temperaturas.

—pH — pHmetro: Radiometer PHM-82, con temperatura compensada.

—Alcalinidad: Método volumétrico, neutralización ácido-base.

—NH₄: Método colorimétrico, determinación con Espectrofotómetro DR/2 Hach, utilizando el reactivo de Nessler (ALLEN *et al.* 1974).

—Aniones: F, Cl, NO₃, NO₂, PO₄ y SO₄. Determinación por cromatografía iónica DIONEX-10.

—Cationes: Ca, Mg, Na, y K. Determinación por espectrofotometría de absorción atómica. Espectrofotómetro Perkin Elmer-373.

AGRADECIMIENTOS

Han sido muchas las personas que han contribuido a que este programa se pusiera en funcionamiento, y aunque posiblemente alguna de ellas pudiera quedar fuera de esta relación, en contra de nuestro deseo, queremos poner de manifiesto nuestro agradecimiento a las siguientes personas y entidades.

A D. Miguel Navarro, a D. Filiberto López Cadenas, y a D. Antonio Pérez Soba, quienes desde sus cargos directivos en I.C.O.N.A., contribuyeron desde el principio en la selección y asesoramiento técnico para la elección de las cuencas.

A D. Manuel de Tuero, a D. Cándido Martín, a D. Ramón Clopes, y a D. Antonio Martínez Artero, quienes desde los Servicios Provinciales nos ayudaron en el trabajo inicial de prospección y puesta en marcha de las primeras instalaciones de medida.

A las personas, que durante los años en que se inició este trabajo, ocuparon las Jefaturas Provinciales del I.C.O.N.A. en Ciudad Real, Guadalajara, Zaragoza, Almería y Tarragona.

A la Guardería del I.C.O.N.A. en general, que ha contribuido de forma muy significativa en este trabajo, y en especial nuestro agradecimiento a D. José Antonio Grau, a D. Isidoró López Lamata, y a D. Juan Díaz Vizcaíno.

A nuestros compañeros, componentes del Departamento de Geología de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Alicante, D. Carlos Auernheimer, y a D. José A. Pina, que en la fase inicial de este programa colaboraron en la prospección y selección de las cuencas.

A D. Vicente Hernandis, del Departamento de Química Analítica de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Alicante, que realizó los análisis de las pizarras, y a D. Antonio Esclapes del I.N.B. Virgen del Remedio de Alicante, quien nos aportó la información sobre los suelos de la zona.

A D. Carlos A. Gracia, del Departamento de Ecología de la Facultad de Biológicas, de la Universidad de Barcelona, que realizó el estudio y cálculo de los índices foliares de la zona, y a D. Ferrán Rodá, del Departamento de Ecología de la Universidad Autónoma de Barcelona, que nos asesoró en la puesta a punto de algunas de las instalaciones, y a D. Fernando Ciria, del Servicio de Conservación de Suelos del ICONA (Almería), por su colaboración en la planificación de la estación de aforo y en la elección del tipo de aliviadero.

Por último, nuestro agradecimiento a los compañeros del Departamento de Biología de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Alicante, D. Joaquín Martín, D. Eduardo Seva, D. Angel Clemente, D. Juan Rafael Sánchez y Doña Marisa López Lon, quienes han aportado su colaboración personal y científica desde el inicio y en el transcurso de este programa.

BIBLIOGRAFÍA

- ABRAHAMSEN, G., R. HORNTVEDT y B. TVEITE (1975). Impacts of acid precipitation on coniferous forest ecosystems. SNSF, Research Report FR 2, Oslo-As.
- ALLEN, S. E., H. M. GRIMSHAW, J. A. PARKINSON y CH. QUARMBY (1974). Chemical Analysis of Ecological Materials, Blackwell, 565 pp.
- DUVIGNEAUD, P., S. DENAEYER, P. AMBROES y J. TIMPERMAN (1971). Recherches sur l'écosystème forêt. Biomasse, productivité et cycle des polyéléments biogènes dans l'écosystème «chênaie caducifoliée». IRSN de Belgique, Mem. 164.
- FERRES, LL., F. RODA, A. M. C. VERDÚ y J. TERRADAS (1980). Estructura y funcionalismo de un encinar montano en el Montseny: II. Biomasa arbórea. Mediterránea 4: 23-36.
- FOLCH, R. y E. VELÁSCO (1974). Dades cartografiques per a l'estudi de la vegetació de les Muntanyes de Prades. XVIII Assemblea intercomarcal d'estudiosos. L'Espluga de Francolí.
- GRANAT, L. (1978). Sulfate in precipitation as observed by the European atmospheric chemistry network. Atmos. Environ. 12: 413-424.
- KRAUSKOPF, K. B. (1979). Introduction to Geochemistry. 2^a ed., McGraw-Hill, 617 pp.
- LEWIS, W. M. Jr y M. C. GRANT (1979). Changes in the output of ions from a watershed as a result of the acidification of precipitation. Ecology 60: 1.093-1.097.
- LIKENS, G. E., F. H. BORMANN, R. S. PIERCE, J. S. EATON y N. M. JOHNSON (1977). Biogeochemistry of a Forested Ecosystem. Springer-Verlag, 146 pp.

- LOSSAINT, P. y M. RAPP (1978). La forêt méditerranée de chênes verts (*Quercus ilex* L.), in M. Lamotte y F. Bourlière (eds.): Problèmes d'écologie structure et fonctionnement des écosystèmes terrestres. Masson, pp. 129-185.
- MATZNER, E., P. K. KHANNA, K. J. MEIWES, M. LINDHEIM, J. PRENZEL y B. ULRICH (1982). Elementflüsse in Waldökosystemen im Solling. Daterdokumentation. Göttinger Bodenkundliche Berichte 71: 1-267.
- McCOLL, J. G. y D. S. BUSH (1978). Precipitation and throughfall chemistry in the San Francisco Bay Area. J. Environ. Qual. 7: 352-357.
- NIHLGARD, B. (1970). Precipitation its chemical composition and effect on soil water in a beech and spruce forest in South Sweden. Oikos 21: 208-217.
- OVINGTON, J. D. y H. A. I. MADGWICK (1959). The growth and composition of natural stands of birch. I: Dry matter production. Plant and Soil 10: 271-283.
- RAPP, M. (1970). Cycle de la matière organique et des éléments minéraux dans quelques écosystèmes méditerranéés. CNRS Paris.
- RODA, F. (1983). Biogeoquímica de les aigües de pluja i de drenatge en alguns ecosistemes forestals del Montseny. Tesis Doctoral UAB.
- RODA, F., LL. FERRES, A. M. C. VERDÚ y J. TERRADAS (1980). Estructura y funcionalismo de un encinar montano en el Montseny: III. Contenido de sodio, potasio, calcio y magnesio en las aguas de lluvia. Mediterránea 4: 37-51.
- RODÍN, L. E. y N. I. BAZILEVICH (1967). Production and mineral cycling in terrestrial vegetation. Oliver and Boyds, 288 pp.
- SOLE SABARIS, L. (1972). Mapa Geológico de España (1:200.000): Hospitalet. Instituto geológico y minero de España. Madrid.

- SUSMEL, L., F. VIOLA y G. BASATO (1976). Ecología della lecceta del supramonte di Orgosolo III contributo: Produzione primaria, produzione secondaria (erbivori) condizione attuali e possibilità di conservazione. CEDAM. Casa Editrici Dott. Antonio Milani.
- TERRADAS, J., LL. FERRES, L. LÓPEZ SORIA, F. RODA y A. C. VERDÚ (1980). Estructura y funcionalismo de un encinar montano en el Montseny: I. Planteamiento del estudio y descripción del área experimental. *Mediterránea* 4: 11-22.
- VERDÚ, A. M. C., LL. FERRES, F. RODA y J. TERRADAS (1980). Estructura y funcionalismo de un encinar montano en el Montseny: IV Producción de hojarasca. *Mediterránea* 4: 51-68.
- VERSTRATEN, J. M. (1977). Chemical erosion in a forested watershed in the Oesling, Luxembourg. *Earth Surface Processes* 2: 175-184.
- VITOUSEK, P. M. y W. A. REINERS (1975). Ecosystem succession and nutrient retention: a hypothesis. *Bio Science* 25: 376-381.