

Dinàmica dels micronutrients en la caiguda i descomposició de la virosta de tres sistemes forestals del Montseny

Antònia Caritat^{1*} i Jaume Terradas²

¹ Laboratori d'Ecologia. Facultat de Ciències. Universitat Autònoma de Barcelona. 08193 Bellaterra (Barcelona).

² Centre de Recerca Ecològica i d'Aplicacions Forestals. Universitat Autònoma de Barcelona. 08193 Bellaterra (Barcelona)

Key words: *Abies alba*, decomposition, *Fagus sylvatica*, iron, litterfall, manganese, micronutrients, zinc, *Quercus ilex*.

Abstract. *Micronutrient dynamics in the litterfall and in the decomposition process of three forests of Montseny. (NE Spain)* The dynamics of Mn, Fe and Zn has been studied in the litterfall and in the decomposition process in individual monospecific stands of holm oak (*Quercus ilex*), beech (*Fagus sylvatica*) and fir (*Abies alba*) in the Montseny mountains.

Usually, micronutrient concentrations in different litterfall fractions are higher than those in biomass due to the increase in dead organs. Beech is the forest with the highest manganese and iron return in litterfall. It has been observed that the maximum micronutrients concentrations usually coincide with litterfall peaks in each forest. These elements tend to accumulate in some steps of the decomposition process. Fe is the most immobilized nutrient. Mn is more readily released if the pH and wetness conditions are the right ones. In the whole, the three forests have important differences in micronutrient dynamics according to temperature, wetness and structural quality of litterfall fractions.

Resum. S'analitza la dinàmica del Mn, Fe i Zn en la caiguda de la virosta i durant el procés de descomposició d'un alzinar muntanyenc, una fageda i una avetosa del Montseny. En general, les concentracions de micronutrients en diferents fraccions de la virosta són més elevades que les de la biomassa a causa de l'augment de metalls pesats en els òrgans morts. La fageda és el bosc que aporta més quantitat de manganès i ferro, a través de la caiguda de virosta, tot i que no és el que presenta la caiguda anual més alta. Les fulles constitueixen la fracció que aporta més micronutrients (45-89 %) en els tres boscos. Mitjançant l'estudi de les variacions estacionals s'ha pogut apreciar que les concentracions màximes dels tres micronutrients solen coincidir amb els pics de caiguda de virosta. S'ha observat que aquests elements tendeixen a acumular-se, almenys en alguna part del procés de descomposició. El Fe és el que presenta major immobilització. El Mn pot alliberar-se amb més facilitat si les condicions de pH i humitat són adequades. En conjunt, els tres boscos presenten diferències importants, la interpretació de les quals és complexa, en funció de les diferències de temperatura, humitat i característiques estructurals de les fulles.

Introducció

La caiguda de virosta al sòl i la corresponent transferència dels elements que l'acompanyen constitueixen un dels fluxos més importants del cicle biogeoquí-

* Adreça actual: Laboratori del suro. Col·legi Universitari de Girona. Hospital, 6. 17071. Girona.

mic dels ecosistemes forestals. Representen el retorn de la biomassa vegetal aèria a la reserva edàfica. La caiguda de virosta presenta una periodicitat anual bastant marcada. Els màxims solen coincidir amb l'època de la caiguda de les fulles, ja que aquesta és la fracció més abundant de la virosta. Les aportacions de nutrients van lligades a aquesta pauta estacional. Les fraccions fotosintetitzadores i reproductores (fulles, esquates, inflorescència, fruits) són les que presenten una caiguda més regular, determinada sobretot per processos fisiològics de senescència i abscisió. En canvi, les fraccions estructurals (branquillons, escorça, tronc) tenen la caiguda més erràtica, produïda, principalment, per factors externs com el vent i les tempestes, encara que també hi ha un control fisiològic, tal com va observar Chistensen (1978) en la caiguda de fraccions llenyoses de *Quercus robur*.

Els micronutrients (Mo, Cu, Zn, Mn, Fe, B) tenen un destacat paper en determinats sistemes enzimàtics on actuen fonamentalment com a cofactors. S'ha demostrat que tant els nivells de concentració com les proporcions relatives de micronutrients afecten el creixement de les plantes (Epstein 1972). Existeix relativament poca informació sobre micronutrients en la virosta. Aquest compartiment de l'ecosistema representa un lloc d'acumulació i reserva d'aquests elements, els quals es fan gradualment disponibles per a les plantes a través del procés de descomposició (Heinrichs & Mayer 1980, Van Hook et al. 1977). Les fulles que cauen prematurament, per exemple durant les tempestes, tenen concentracions més altes dels elements mòbils, ja que a penes s'ha pogut produir retranslocació cap a d'altres parts de la planta. En canvi, en el cas dels elements poc mòbils com són la majoria dels micronutrients, es produeix l'efecte contrari, ja que aquests nutrients s'acumulen a les fulles amb el temps i, així, a les que cauen abans d'hora, hi ha concentracions baixes (Gosz et al. 1972).

En considerar el contingut de micronutrients a la virosta, hem de tenir present l'efecte del rentat degut a la pluja. La majoria de micronutrients es renten amb dificultat; dels elements estudiats el Mn és el més llixiviable. Durant la descomposició es produeix una pèrdua de substàncies i un canvi de la composició química que sol anar acompanyat d'un procés de fragmentació. Els canvis es poden atribuir a l'efecte de tres processos: la llixiviació per l'aigua de pluja, el catabolisme per acció bacteriana i fúngica i la fragmentació.

L'objectiu del present treball és el coneixement de la dinàmica del Mn, Fe i Zn en la caiguda de la virosta i durant el procés de descomposició d'un alzinar, una fageda i una avetosa, situats al massís del Montseny. En concret, s'analitzen els continguts de micronutrients en diferents fraccions de la virosta en relació amb els de la biomassa, les fluctuacions estacionals dels aportats d'aquests nutrients i l'evolució dels continguts durant la descomposició, amb la intenció de comparar possibles diferències en el funcionament dels tres boscos, relacionades amb les diferents formes de vida de les espècies dominants o amb d'altres característiques.

Àrea d'estudi

Els treballs d'aquest article es van realitzar dins d'una parcel·la experimental per a cada un dels tres boscos estudiats, situats al massís del Montseny, el qual es troba a 40 km al NNE de Barcelona.

La parcel·la d'alzinar (41° 46' N, 2° 21' E) té 0.23 ha i es troba a la vall de la Castanya, a 665 m s.n.m. És al peu d'un vessant abrupte (30°). El pendent dins la parcel·la és molt més suau, i varia de 7 a 23°. L'orientació es W i NW. La roca mare és una pissarra filita metamòrfica. El sòl és una terra bruna molt pedregosa, de textura franca. Es van analitzar quatre mostres de sòl de la parcel·la; dos entre 0 i 25 cm de profunditat i dos entre 25 i 50 cm. Es va trobar un pH en aigua de 4.7-5.2, un contingut de matèria orgànica del 3.4-6.5 %, una relació C/N de 8.5-13.0, i una capacitat d'intercanvi catiònic de 0.19-0.26 eq kg⁻¹ (Servei d'Investigació Agrària de la Generalitat). La precipitació anual és de 900 mm, i la temperatura mitjana anual és de 9-10° C. L'estrat arbori és dens i està constituït exclusivament per *Quercus ilex*. L'àrea basal era de 26.6 m² ha⁻¹ el 1979. Hi ha 2010 peus ha⁻¹ de diàmetre normal més gran de 15 cm. Els arbres dominants tenen una alçada de 9-12 m, i la seva edat s'estima en 60-90 anys. Els estrats arbustiu i herbaci són escassos. La vegetació es pot dir que correspon a un *Quercetum mediterraneo-montanum*.

La parcel·la de fageda (41° 46' N, 2° 28' E) té 0.12 ha i es troba a la Vall de Santa Fe, a 1165 m s.n.m. És situada en un interfluvi d'escàs pendent (5°). La roca mare és una granodiorita, profundament alterada. El sòl és una terra bruna lixiviada, amb un pH en aigua de 4.5-5.0, un contingut de matèria orgànica del 1.0-5.3 %, una relació C/N de 6.1-11.3 i una capacitat d'intercanvi catiònic de 0.16-0.24 eq kg⁻¹ (Servei d'Investigació Agrària de la Generalitat). La precipitació anual és d'uns 1200 mm (Rodà 1983) i la temperatura mitjana anual és de 8-9°. L'estrat arbori és dens i està format per *Fagus sylvatica*, amb algun exemplar aïllat d'*Illex aquifolium*. L'àrea basal era de 26.7 m² ha⁻¹ el 1980. Hi ha 1460 peus ha⁻¹ de diàmetre normal més gran de 5 cm i 625 peus ha⁻¹ de diàmetre normal més gran de 15 cm. Els arbres dominants tenen una alçada de 16-20 m i una edat de 50-70 anys. L'última aclarida es va realitzar fa 15-30 anys. La vegetació correspon a un *Helleboro-Fagetum*, amb tendència, a les zones més pendents, a passar cap a un *Luzulo-Fagetum*.

La parcel·la d'avetosa (41° 47' N, 2° 27' E) forma part de l'avetosa de Passavets. Té 0.12 ha i es troba en un pendent de 29° orientada al NNW, a una altitud de 1355 m. La roca mare és una corneana. El sòl és molt pedregós, i correspon a un rànker. La precipitació mitjana anual és de 1200 mm. L'estrat arbori és dens i està format només per *Abies alba* Mill. L'àrea basal era de 42.4 m² ha⁻¹ el 1980. Hi ha 567 peus ha⁻¹ de diàmetre normal més gran de 5 cm i 467 peus ha⁻¹ de diàmetre normal més gran de 15 cm. Els avets dominants tenen una alçada de 21-25 m i una edat de 120-160 anys.

Material i mètodes

Es va dividir la caiguda de virosta en dues grans fraccions: la fina i la gruixuda. La fracció gruixuda és formada per fusta de més de 40 cm de llargada i de diàmetre superior a 0.5 cm. El mostreig d'ambdues fraccions va ser diferent, i fou realitzat per Verdú (1984). Per capturar la fracció fina de la virosta que cau, es van utilitzar trampes del tipus cònic que foren descrites en detall per Verdú (1984). Les trampes consisteixen en un cercol d'alumini de 0.25 m² aproximadament sota del qual s'instal·la un con de xarxa plàstica (de 2 mm de malla). El conjunt es manté enlairat (entre 40 i 100 cm de la superfície del sòl) sobre un trípede d'alumini. Hi havia 16 trampes a cada parcel·la. A l'alzinar, la recollida de fullaraca va tenir lloc del 1978 al 1981 i la periodicitat va ser quinzenal en els dos primers anys, i mensual el tercer any. A la fageda i a l'avetosa les recollides foren mensuals i van tenir lloc del 1979 al 1981. La unitat de mostreig de la fracció gruixuda va ser un rectangle de 8 a 10 m² segons la parcel·la. Es col·locaren unes estructures rectangulars d'alumini i xarxa plàstica i se n'instal·laren quatre a l'atzar a cada parcel·la.

Hem mesurat la descomposició amb el mètode de les capsas. Aquest mètode consisteix a deixar fulles acabades de caure dels arbres dins d'unes capsas especials, sense fons, per tal de seguir la seva evolució durant la descomposició. Prèviament es van retirar les diferents capes de virosta. Les capsas que es van utilitzar eren formades per quatre parets de fusta i una xarxa de 3 mm de malla subjecta a la fusta per una de les bases. Aquesta xarxa impedia l'entrada de noves fulles. Es van col·locar dotze capsas a cada parcel·la experimental. Es deixaren una mitjana de 30 g de fulles acabades de caure. El seguiment de la descomposició en els tres boscos durà un any.

Els oligoelements estudiats—Mn, Fe i Zn— en la virosta i la descomposició van ser analitzats per absorció atòmica, després de la digestió àcida. La virosta era assecada a 80° C fins a obtenir un pes constant en una estufa de circulació forçada d'aire. Posteriorment, es trituraven les diferents fraccions de la virosta. Per a l'anàlisi del Mn, Fe i Zn es va seguir el mètode descrit per Allen *et al.* (1974) i per Duque Macias (1971). L'aparell d'absorció atòmica utilitzat era un Pye Unicam SP-1900 del servei d'Espectroscòpia de la Universitat de Barcelona.

Resultats i discussió

Continguts de micronutrients a la virosta dels tres boscos

En general, les concentracions de micronutrients a la virosta acabada de caure són més elevades que les de la biomassa. Com han observat diferents autors (Nilsson 1972, Tyler 1972), hi ha un augment del contingut de metalls pesants en els òrgans morts. En els tres boscos del Montseny estudiats, s'ha observat aquest fenomen, sobretot a la fageda i a l'avetosa (Taules 1 i 2). A l'alzinar, s'han observat concentracions de Mn a les fulles, a les inflorescències i a les

glans, més baixes que les de la biomassa. Aquest fet fa pensar en l'existència de translocació d'aquest element abans de la caiguda de virosta.

Les concentracions més elevades de Mn s'han observat a la fageda i les inferiors, a l'avetosa. Aquesta pauta coincideix amb la de molts macronutrients, els quals presenten proporcions més elevades en els caducifolis. Els ni-

Taula 1. Concentracions de Mn, Fe i Zn en ppm observades en diferents fraccions de la caiguda de virosta als tres boscos del Montseny estudiats.

Fraccions	Fageda			Alzinar			Avetosa		
	Mn	Fe	Zn	Mn	Fe	Zn	Mn	Fe	Zn
Fulles	1897	422	28	1024	218	59	570	165	49
Branquillons	1005	269	52	339	236	51	309	805	69
Escorça	—	—	—	538	489	72	380	1144	104
Inflorescències	1014	635	30	533	262	55	63	636	39
Fruits	1164	124	15	233	23	15	51	76	24
Miscel·lània	1157	2364	68	559	1241	97	240	2330	123

Taula 2. Concentracions mitjanes de Mn, Fe i Zn en ppm en diferents fraccions de la biomassa dels tres boscos estudiats.

Fraccions	Mn	Fe	Zn
Alzinar			
Fulles de l'any	667	120	29
Fulles d'1 any	1137	183	34
Fulles de 2 anys	1498	203	42
Brots de l'any	575	191	30
Brots d'1 any	489	281	34
Brots de 2 anys	445	226	29
Fusta de Ø 0-1 cm	281	131	22
Fusta 1-5 cm	85	42	12
Fusta de Ø > = 5 cm	57	106	7
Escorça	447	186	33
Inflorescències	614	144	42
Glans	551	42	14
Avetosa			
Branques d'1 any	312	257	50
Branques de 5 anys	295	463	48
Fulles d'1 any	202	113	31
Fulles de 5 anys	421	198	46
Fusta de tronc	21	15	10
Fageda			
Fulles	618	212	36
Fusta de tronc	139	48	28
Brots	196	124	43

vells més elevats de Mn s'observen a les fulles, igual que passava en la biomassa, on aquest element té un important paper en la fotosíntesi. A la fageda, les fraccions reproductives també presenten valors elevats de Mn. En els altres dos boscos, a més del contingut d'aquest element a les fulles, hi destaca el de l'escorça.

Les concentracions més elevades de Fe en els tres boscos les trobem a la miscel·lània. A continuació, vénen les de l'escorça a l'alzinar i a l'avetosa. També destaca el contingut de Fe de les inflorescències de la virosta de l'alzinar i de la fageda. Les fraccions llenyoses de l'avetosa presenten valors elevats. De fet, aquest resultat ja era previsible si tenim en compte que aquest element s'acumula molt en òrgans morts i que les branques de moltes coníferes, a més de tenir concentracions altes d'aquest micronutrient, romanen dalt de l'arbre durant molt de temps, de manera que quan cauen ja s'hi ha pogut acumular en gran quantitat.

El comportament del Zn, pel que fa als continguts a la virosta, s'assembla al del Fe; els valors més alts es donen a la miscel·lània. També cal destacar els valors observats a l'escorça i als branquillons. Com en el cas del Fe, les proporcions més àltes d'aquest nutrient s'observen a les fraccions llenyoses de l'avetosa.

Cal destacar la presència d'una inversió de les concentracions de Fe i Mn en diferents fraccions de la virosta. Això s'havia trobat també en la biomassa, cosa que fa pensar en una dinàmica oposada entre aquests dos nutrients (Sutcliffe & Baker 1979).

La concentració de Mn a la virosta de La Castanya, així com a la biomassa, és superior a l'observada en altres alzinars mediterranis (Lossaint & Rapp 1971), possiblement a causa de la riquesa d'aquest element en el sòl de la nostra zona d'estudi i el seu pH relativament baix. Les concentracions dels altres dos elements són força semblants a les dels altres alzinars. Els valors de Mn i Fe observats a la fageda de Morou coincideixen molt amb els trobats en fagedes europees (Ulrich 1971, Staff 1980). La proporció de Zn, en canvi, és inferior.

Podem veure, en el cas de les fulles, la preponderància de la fageda pel que fa al Mn i al Fe. Els nivells de Zn a les fulles de la virosta de l'alzinar i l'avetosa són pròxims entre ells i superiors als de l'espècie caducifòlia. Com sabem, les coníferes actuen per a diverses fraccions com a acumuladors de Zn.

Pel que fa als branquillons, la situació canvia respecte de les fulles de la virosta, com passava també a la biomassa. L'avetosa és el bosc amb nivells més elevats de Fe i Zn a causa de l'alt contingut d'aquest nutrient en les fraccions llenyoses mortes. La fageda continua predominant pel contingut de Mn en aquesta fracció.

Aports de micronutrients per la caiguda de virosta

Dels tres boscos, la fageda és el que aporta més manganès i ferro a través de la virosta (Taula 3), malgrat que no és el bosc que presenta la caiguda anual de

Taula 3. Aportacions mitjanes anuals de Mn, Fe i Zn en $\text{mg m}^{-2} \text{any}^{-1}$ en diferents fraccions de la part fina de la caiguda de virosta als tres boscos durant el període estudiant.

Fraccions	Mn	Fe	Zn
Alzinar			
Fulles	333.65	75.12	16.83
Branques	25.35	22.11	4.05
Glans	3.64	1.04	0.53
Glans avortades	6.78	0.79	0.26
Inflorescències	3.74	2.23	0.37
Escorça	0.45	0.46	0.06
Miscel·lània	12.46	27.66	2.16
Cúpules	4.02	4.47	0.22
Total	390.10	133.88	24.47
Fageda			
Fulles	554.65	123.36	8.14
Esquames	3.75	3.20	0.16
Fruits	31.22	12.26	1.20
Branquillons	11.26	3.01	0.58
Inflorescències	6.04	3.78	0.18
Altres fulles	4.30	0.57	0.15
Llavors	30.80	3.30	0.40
Miscel·lània	4.01	6.09	0.18
Total	645.43	155.59	11.00
Avetosa			
Fulles	164.90	39.16	11.67
Branquillons	12.75	27.76	2.33
Inflorescències	0.31	3.10	0.18
Fruits	1.75	1.39	0.91
Escorça	1.42	4.12	0.44
Miscel·lània	1.71	9.05	0.97
Altres fulles	1.58	0.62	0.12
Total	184.43	85.184	16.62

virosta més alta. Aquesta observació coincideix amb el model general segons el qual els caducifolis aporten més nutrients a través de la caiguda de virosta que els perennifolis (Cole & Rapp 1981). En canvi, les aportacions de Zn a la fageda són inferiors a les dels altres boscos. La virosta de la fageda és la que conté el tant per cent més alt de Mn respecte dels tres nutrients. La proporció relativa de Fe i Zn més elevada es dona a l'avetosa.

El major aport de Mn, per la caiguda de fulles, es troba a l'avetosa (89 %), mentre que els de Fe i Zn més elevats es detecten a la fageda (79 i 72 %). Les fulles representen la fracció principal pel que fa a les aportacions

dels tres nutrients (del 45 al 89 %). Els branquillons aporten una proporció relativament gran d'aquests elements a l'avetosa i a l'alzinar. A l'avetosa, els branquillons arriben a aportar el 32 % de Fe. A la fageda, destaquen els fruits com a fracció aportadora de micronutrients. Les aportacions de Mn a l'alzinar de La Castanya són superiors a les dels altres alzinars estudiats. Les de Fe són semblants a les observades a Le Rouquet i Madelaine (Lossaint & Rapp 1971). A la fageda de Morou, aquestes aportacions són similars a les de la majoria de fagedes europees que creixen en sòl àcid.

Variacions estacionals dels continguts de micronutrients a la virosta

Cada tipus de bosc presenta variacions de les concentracions de micronutrients al llarg de les estacions (Figs. 1, 2 i 3), les quals, en alguns casos, són molt regulars. La majoria de micronutrients presenten variacions estacionals, en gran part oposades a les dels macronutrients. Això és a causa del fet que els micronutrients solen anar acumulant-se en augmentar l'edat de les fulles.

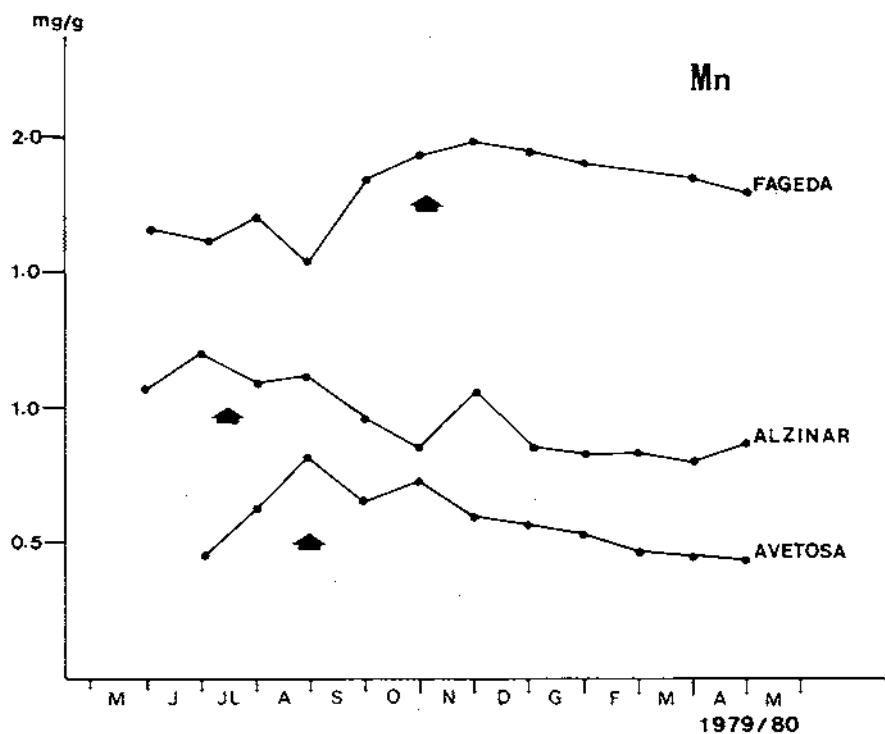


Figura 1. Variacions de les concentracions de manganès observades a les fulles de virosta caiguda al llarg del període de 1979/80, a l'alzinar, a la fageda i a l'avetosa. S'indiquen els pics de màxima caiguda als tres boscos.

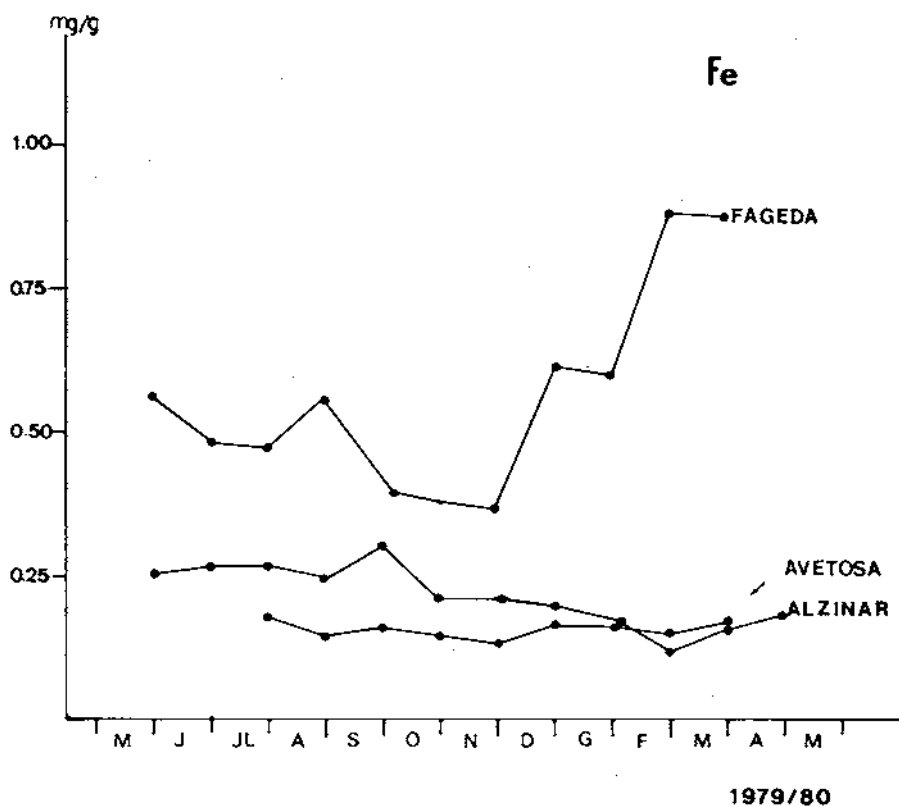


Figura 2. Variacions de les concentracions de ferro observades a les fulles de virosta caiguda al llarg del període de 1979/80, a l'alzinar, a la fageda i a l'avetosa.

A l'alzinar, s'observa una bona correspondència entre les corbes dels tres metalls en les fulles de la virosta. S'hi troben valors elevats durant l'època de la caiguda majoritària de fulles, al juny, i el màxim coincideix amb aquest mes o bé amb el juliol o l'agost. Els mínims solen coincidir amb els mesos d'hivern. A la tardor, s'observen descensos produïts pel rentat de les pluges o per la caiguda de fulles verdes. L'evolució de les concentracions de micronutrients en els branquillons és força erràtica, però s'observa que als mesos d'estiu hi ha concentracions més altes que a l'hivern.

A la fageda, s'observa, durant l'any estudiat, que les concentracions de Mn de les fulles que cauen prematurament són relativament baixes i després tendeixen a augmentar. Durant la caiguda de les fulles les concentracions són altes, tal com cal esperar amb elements que tenen baixa retranslocació. El mes de febrer, es va observar una forta disminució deguda possiblement a les pluges de la segona quinzena d'aquest mes. La corba de Fe presenta un sorprenent descens des del mes d'agost fins al novembre. En el cas del Zn, s'observa un descens durant el mes de juliol, i després, la tendència és d'augmentar fins

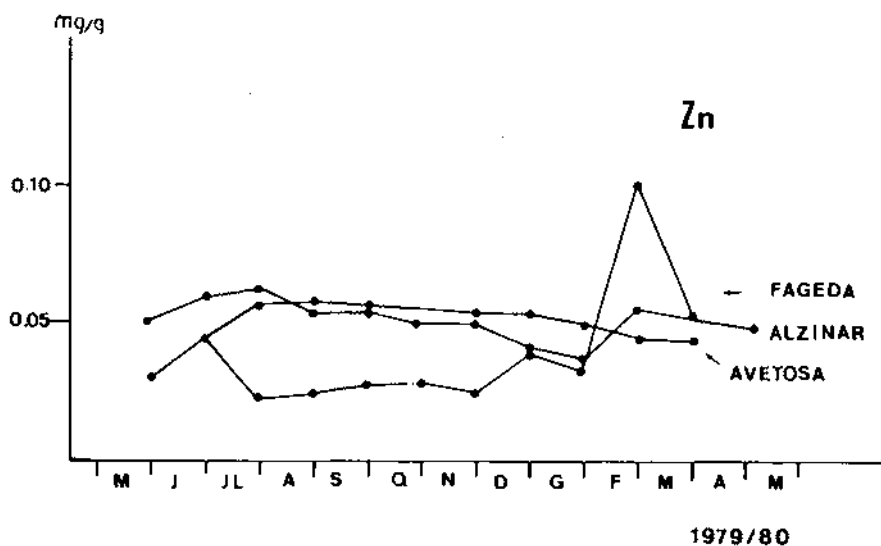


Figura 3. Variacions de les concentracions de zinc observades a les fulles de la virosta caiguda al llarg del període 1979/80, a l'alzinar i a l'avetosa.

que es produeix la caiguda de les fulles. A partir del mes de novembre, els valors observats són molt elevats tant per al Zn com per al Fe. Això possiblement és produït pel fet que les fulles que es recullen després de la caiguda són les poques que resten mortes a dalt de l'arbre i que tenen l'oportunitat d'acumular elements poc mòbils, com són el ferro i el zinc.

Les variacions, al llarg de l'any, de les aportacions dels tres nutrients per la caiguda de virosta segueixen les fluctuacions generals de la matèria orgànica pròpia de cada bosc. Es presenten, però, lleugeres diferències segons l'any, a causa de les incidències climàtiques (Fig. 4). Les aportacions màximes de micronutrients a l'alzinar es donen al juny. El primer any es va observar un pic al desembre: durant aquell mes es van observar les aportacions màximes de Mn en branquillons, glans i cúpules; de Fe, en glans i cúpules; i de Zn, en branquillons i glans. El segon any no apareix cap pic al desembre i les aportacions més elevades dels tres micronutrients, degudes a la caiguda de branquillons i cúpules, es van observar amb retard respecte de l'any anterior.

A la fageda, les aportacions d'aquests elements presenten, com és d'esperar, un màxim a l'octubre. Durant l'any estudiat, les aportacions més grans de micronutrients, degudes a la caiguda d'inflorescències, es van produir al mes de maig; les de fruits, al setembre, i les de branquillons, al desembre.

A l'avetosa, les aportacions més elevades d'oligoelements corresponen al mes d'agost, quan es produeix la caiguda majoritària de fulles. També cal destacar un pic al desembre del primer any i un al gener del segon, deguts a la restitució màxima de branquillons que té lloc a l'hivern. Les aportacions més

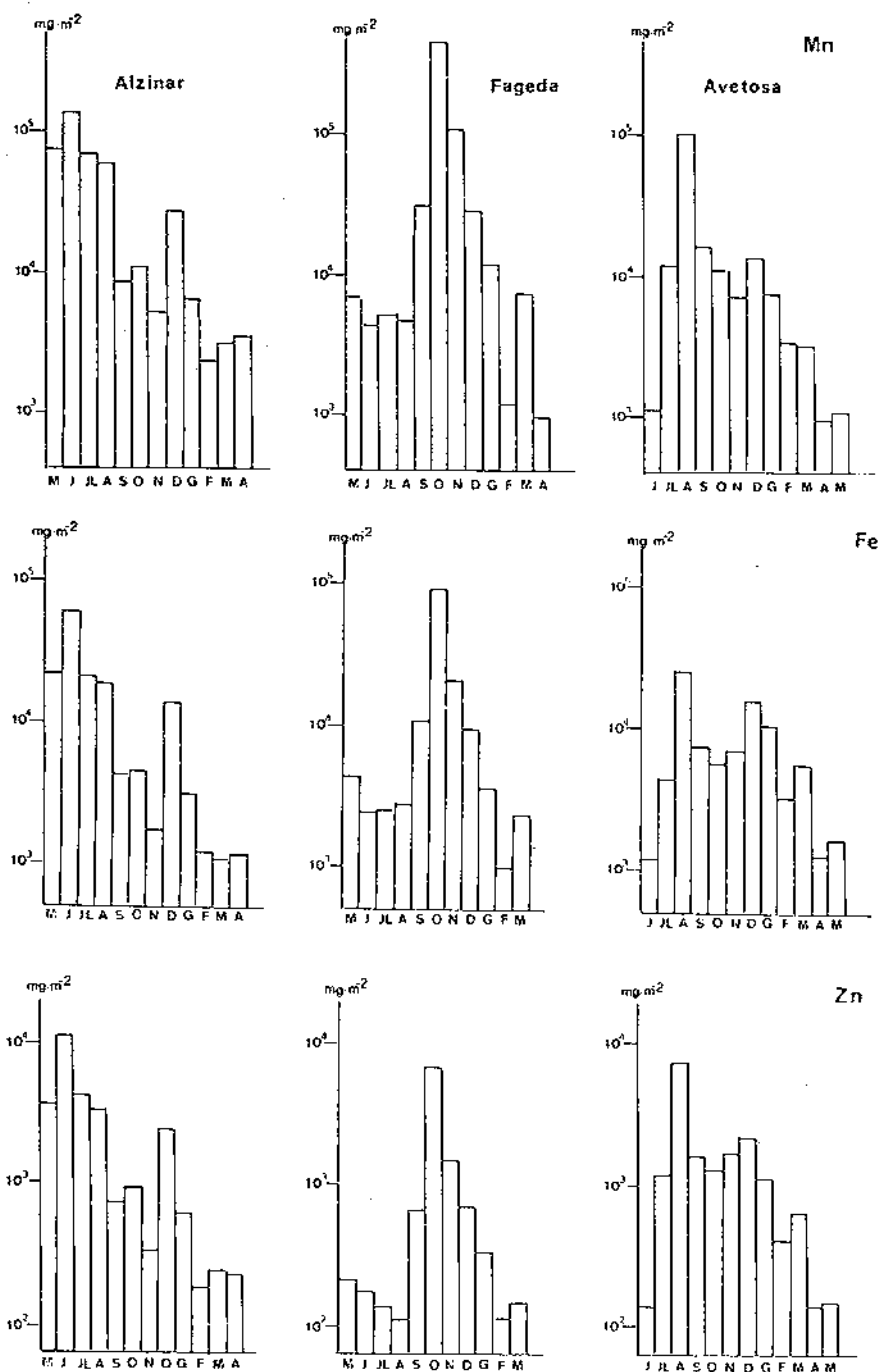


Figura 4. Aportacions mensuals de Mn, Fe i Zn per la caiguda de virosta als tres boscos.

elevades degudes a les inflorescències es van registrar a l'agost per al Mn, al setembre per al Fe, i a l'octubre per al Zn. Les dels fruits es van observar al mes de novembre.

Dinàmica dels micronutrients en la descomposició de les fulles de la virosta

Tal com hem comentat anteriorment, els micronutrients tendeixen a acumular-se, almenys en alguna part del procés de descomposició. Dels tres elements estudiats, el Fe és el que presenta més immobilització durant aquest procés, tal com han apreciat diferents autors (Brinson 1977, Gosz *et al.* 1972, Staff 1980). El Fe de les plantes és molt immòbil i es presenta complexat a proteïnes insolubles (Sailsbury & Ross 1969), cosa que pot explicar la seva retenció. A més, sovint es produeix un transport de partícules minerals per animals del sòl o com a resultat de l'esquitx per gotes de pluja que fan augmentar el contingut d'aquest metall (Staff 1980). Aquest element pot oxidar-se, i passar de la forma ferrosa a la fèrrica, que és insoluble per l'acció de determinats bacteris o bé per un increment del pH. El Mn, que actua com a catalitzador i és present en forma soluble, és capaç d'alliberar-se amb relativa facilitat, sempre que el pH sigui baix i la humitat elevada (Larcher 1977). L'alliberament del Zn es veu molt influït pel pH i la seva complexació a la matèria orgànica; la seva capacitat d'acumulació és intermèdia respecte del Fe i el Mn.

L'alzinar presenta la velocitat de descomposició (expressada en % de pèrdua de pes sec) més alta, i la fageda, la més petita (Verdú 1984). Com s'ha vist a l'apartat sobre l'àrea d'estudi, les temperatures més elevades corresponen a l'alzinar, cosa que podria justificar taxes més elevades de descomposició. Les diferències en precipitació són probablement poc significatives ja que els tres boscos presenten una humitat edàfica força elevada. L'estructura dels tres boscos és prou tancada, i fa pensar que aquest factor deu tenir poca transcendència en les condicions de la virosta. Finalment, la taxa de descomposició és determinada també per les característiques del material, i és possible que aquest sigui, en definitiva, el factor essencial en les diferències observades entre els tres boscos. És ben conegut que el faig és una espècie caracteritzada per una velocitat de descomposició de les fulles més aviat baixa, segurament a causa de l'elevat contingut de lignina i tanins (Gloaguen & Touffet 1980, Lemée & Bichaut 1973).

Observem una pèrdua neta del contingut de Mn al llarg del període d'estudi a l'alzinar i a l'avetosa, mentre que a la fageda se n'adverteix una lleugera acumulació (Figs. 5, 6 i 7).

El Fe s'acumula fortament en els tres boscos, especialment a la fageda. A l'alzinar s'hi observa un descens inicial del contingut de Fe, degut probablement a la lixiviació d'alguns compostos orgànics solubles i que són portadors de Fe. El Zn també presenta una acumulació neta en els tres boscos, especialment a la fageda. L'acumulació més feble és la de l'alzinar.

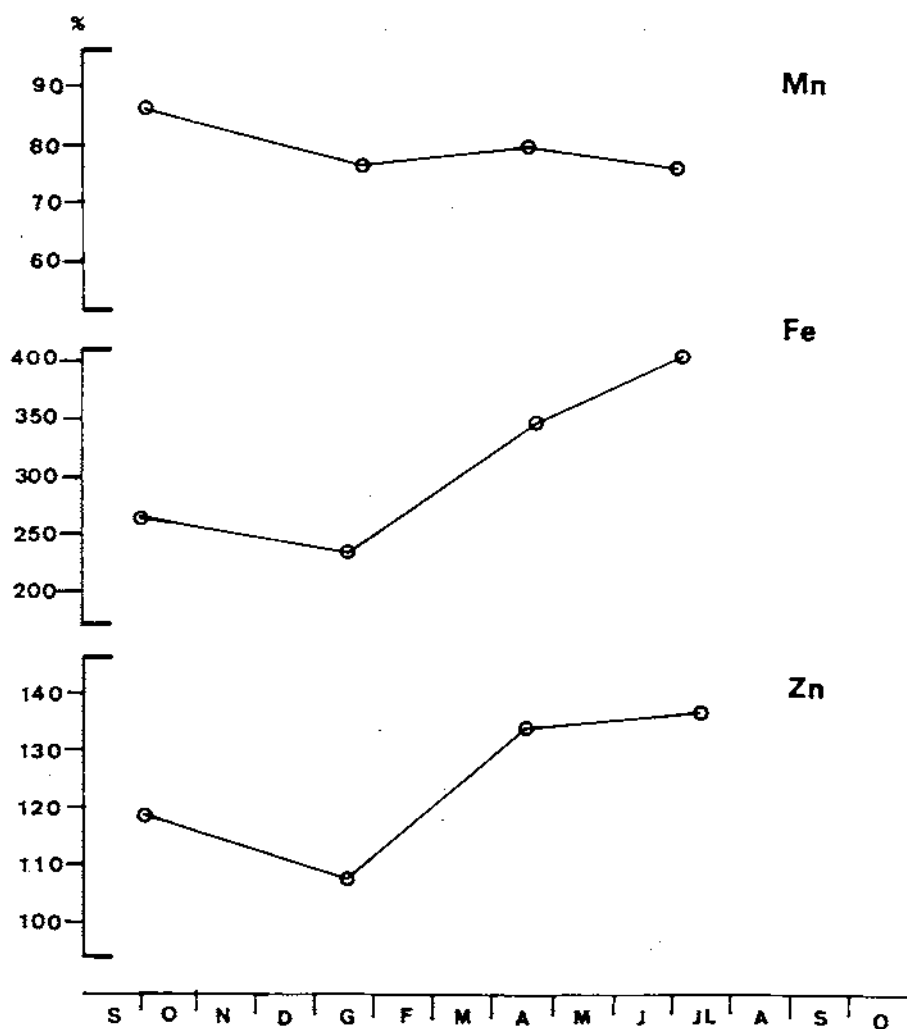


Figura 5. Descomposició de les fulles d'alzina (procediment de les capsas) a l'alzinar de La Castanya: variació del contingut de Mn, Fe i Zn en % de l'inicial.

Conclusions

El contingut de micronutrients a la virosta és relativament elevat a causa de la baixa retranslocació i de l'acumulació en els òrgans morts. En el cas de les fulles i òrgans reproductors s'observa una major riquesa de Mn i Fe en la fageda.

L'avetosa és el bosc amb nivells més elevats de Fe i Zn en les fraccions estructurals, fet que s'explica per la major permanència de parts llenyoses

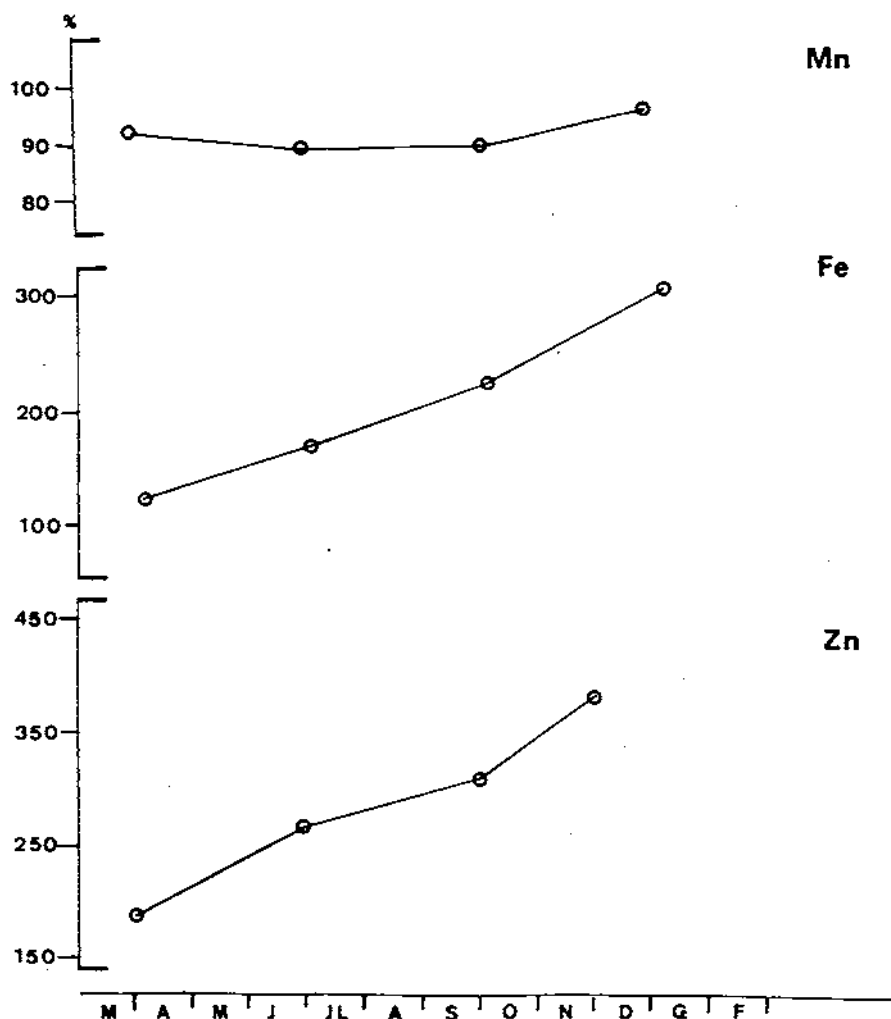


Figura 6. Descomposició de les fulles de faig (procediment de les capsas) a la fageda de Morou: variació del contingut de Mn, Fe i Zn en % de l'inicial.

mortes dalt de l'arbre, amb la possibilitat d'acumulació dels elements més immòbils. La fageda és el bosc on es dona una major aportació anual de Mn i Fe, mentre que l'alzinar és el que aporta més Zn. L'avetosa sembla tenir una elevada eficiència en l'ús d'aquests nutrients, com és habitual en les coníferes, en contraposició als caducifolis.

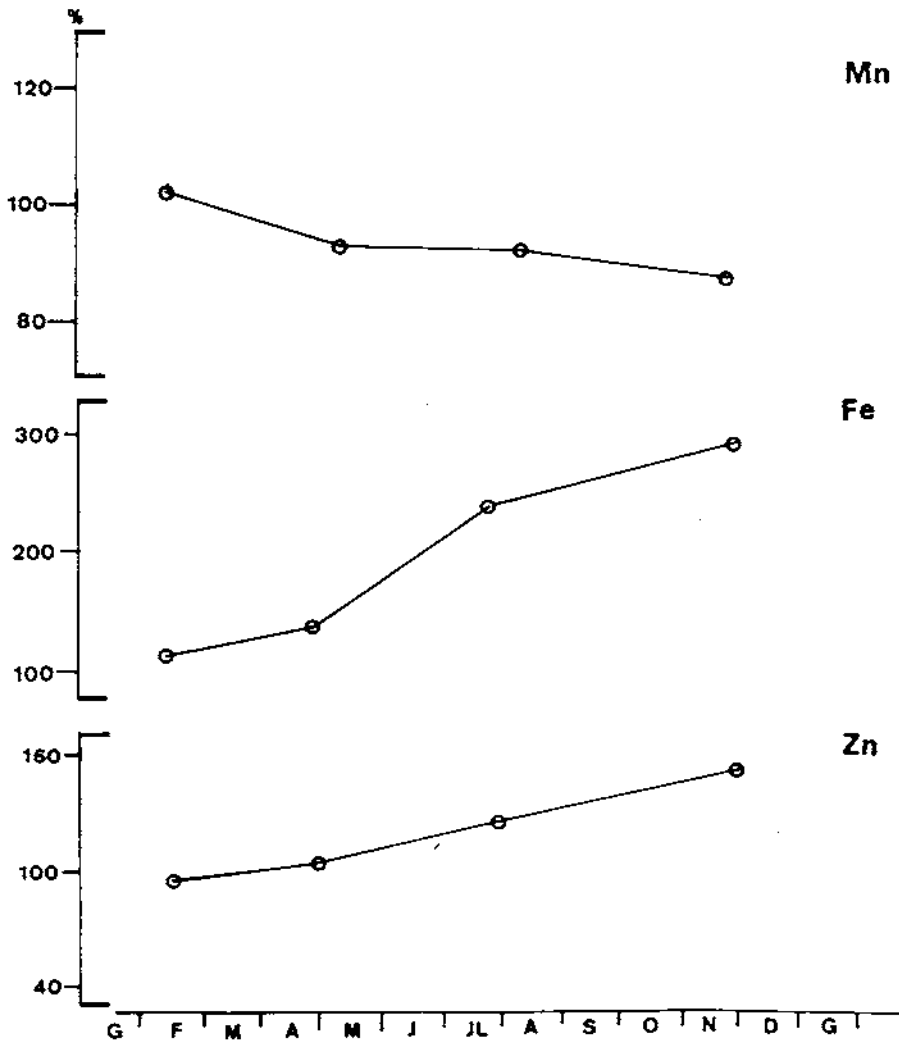


Figura 7. Descomposició de les fulles d'abet (procediment de les capsces) a l'avetosa de Passavets: variació del contingut de Mn, Fe i Zn en % de l'inicial.

Les pautes estacionals dels aports de micronutrients per la virosta coincideixen bastant amb la caiguda de matèria orgànica, segons la fenologia de cada bosc. Les aportacions màximes es donen al juny a l'alzinar i a l'octubre a la fageda, abans del període hivernal; a l'avetosa, les aportacions més elevades són a l'estiu. En general, els tres elements estudiats tendeixen a acumular-se, almenys en una part del procés de descomposició. El Fe és el que presenta una major immobilització, mentre que el Mn és el que s'allibera amb més faci-

litat. En els tres boscos s'observa un augment dels nivells de Fe i Zn, si bé a l'alzinar i a l'avetosa s'aprecia un cert rentat en la primera fase. Els nivells de Mn baixen en aquests dos boscos, a diferència del que passa a la fageda.

Des d'un punt de vista més general, els majors aportats de Mn a la virosta de la fageda i la més lenta descomposició indiquen un reciclatge poc efectiu d'aquest bosc, enfront dels dos perennifolis, potser per una major disponibilitat dels recursos. No hem trobat pautes clares similars per als altres dos elements. És notable la riquesa de micronutrients a les branques i escorça de l'avetosa, cosa que constitueix una reserva interna que contrasta amb l'acumulació externa observada a la fageda.

Agraïments

Volem manifestar el nostre agraïment a la CICYT pel finançament atorgat, a la Direcció del Medi Natural de la Generalitat de Catalunya, per permetre'ns l'ús de l'Estació Biològica, al Servei de Parcs Naturals de la Diputació de Barcelona i al Servei d'Espectroscòpia de la Universitat de Barcelona. També agraïm l'ajuda de C. Verdú i F. Rodà per diversos aspectes d'aquest treball.

Bibliografia

- Allen, S.E., Grimshaw, H.M. & Parkinson, J.A. 1974. *Chemical Analysis of Ecological Materials*. Blackwell, Oxford.
- Brinson, M.M. 1977. Decomposition and nutrient exchange of litter in an alluvial swamp forest. *Ecology* 58: 601-609.
- Caritat, A. 1986. Cicles de micronutrients en tres ecosistemes forestals del Montseny. Tesi de doctorat. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Christensen, O. 1978. The dynamics of wood litter fall in a Danish oak forest. *Natura Islandica* 20:155-162.
- Cole, D.W. & Rapp, M. 1981. Elemental cycling in forest ecosystems. In: D.E. Reichle (ed.). *Dynamic Properties of Forest Ecosystems*. Cambridge University Press. Cambridge, pp. 301-409.
- Duque Macias, F. 1971. Determinació conjunta de fòsforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, cobre y zinc en plantas. *Anales de Edafología y Agrobiología* 30: 207-229.
- Epstein, E. 1972. *Mineral nutrition of plants: principles and perspectives*. Wiley. New York.
- Gloaguen, J.C. & Touffet, J. 1980. Vitesse de décomposition et évolution minérale des litières sous climat atlantique. *Acta Oecologica Oecol. Plant.* 15:3-26.
- Gosz, J.R., Likens, G.E. & Bormann, F.H. 1972. Nutrient Content of litter fall on de Hubbard Brook experimental forest, New Hampshire. *Ecology* 53: 769-783.
- Heinrichs, H. & Mayer, R. 1980. The role of forest vegetation in the biogeochemical cycle of heavy metals. *J. Environ. Qual.* 9: 111-118.
- Larcher, W. 1977. *Ecofisiología vegetal*. Omega. Barcelona.
- Lemée, G. & Bichaut, N. 1973. Recherches sur les écosystèmes des réserves biologiques de la forêt de Fontaineblau. II. Décomposition de la litière de feuilles des arbres et libération des bioéléments. *Oecol. Plant.* 8: 153-174.

- Lossaint, P. & Rapp, M. 1971. Répartition de la matière organique, productivité et cycles des éléments minéraux dans des écosystèmes forestiers. In: P. Duvigneaud (ed.). Productivity of forest ecosystems. UNESCO. Paris. pp. 597-618.
- Nilsson, I. 1972. Accumulation of metals in spruce needles and needle litter. *Oikos* 23: 132-136.
- Olson, J.S. 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology* 44: 331-332.
- Rodà, F. 1983. Biogeoquímica de les aigües de pluja i de drenatge d'alguns ecosistemes forestals del Montseny. Tesi de doctorat. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Saisbury, F.B. & Ross, C. 1969. Plant physiology. Wadsworth. Belmont.
- Staaf, H. 1980. Release of plant nutrients from decomposing leaf litter in a South Swedish beech forest. *Holarctic Ecology* 3: 129-136.
- Sutcliffe, J.F. & Baker, D.A. 1979. Las plantas y las sales minerales. Omega. Barcelona.
- Tyler, G. 1972. Heavy metals pollute nature and may reduce productivity. *Ambio* 1: 52-59.
- Ulrich, B. 1971. Investigations on cycling of bioelements in forests of central Europe (preliminary results of the Solling project). In: P. Duvigneaud (ed.). Productivity of forest ecosystems. UNESCO. Paris. pp. 501-503.
- Van Hook, R.I., Harris, W.K. & Henderson, G.S. 1977. Cadmium, lead, and zinc distributions and cycling in a mixed deciduous forest. *Ambio* 6: 281-286.
- Verdú, A.M.C. 1984. Circulació de nutrients en ecosistemes forestals del Montseny: caiguda de virosta i descomposició de les fulles. Tesi de doctorat. Universitat Autònoma de Barcelona.

Manuscrit rebut l'abril de 1989.